

О ФИЗИКЕ И АСТРОФИЗИКЕ

Гинзбург В. Л.

1992

ББК 22.3

Г49

УДК 53(091)

Гинзбург В. Л.

О физике и астрофизике: Статьи и выступления. — 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. — 528 с. — (Наука. Мировоззрение. Жизнь). — ISBN 5-02-014777-X

В ч. I сделана попытка составить список наиболее интересных и фундаментальных физических и астрофизических проблем, кратко пояснить и прокомментировать их содержание, современное состояние соответствующих исследований, их возможную роль для использования в технике и т.п. В ч. II вошли статьи и выступления, касающиеся методологии науки, а также некоторые другие. Ч. III содержит в основном очерки и воспоминания, посвященные памяти выдающихся физиков. В новом издании (1-е изд. — 1985 г.) переработана ч. I, добавлен ряд статей в ч. II и III.

Для физиков и астрофизиков — преподавателей физики средней и высшей школы, инженеров и научных работников, интересующихся путями развития науки.

Табл. 4. Библиогр.: около 400 назв.

© «Наука». Физматлит, 1985;
с изменениями, 1992.

Оглавление

От автора	6
I	8
Важные проблемы физики и астрофизики	9
Предисловие	9
Введение	12
Список «особенно важных и интересных» проблем	15
Макрофизика	17
§ 1. Управляемый ядерный синтез	17
§ 2. Высокотемпературная сверхпроводимость. Сверхдиамагнетизм	21
§ 3. Новые вещества (проблема создания металлического водорода и некоторых других веществ)	26
§ 4. Некоторые проблемы физики твердого тела	28
§ 5. Фазовые переходы второго рода и близкие к ним переходы (критические явления). Интересные примеры таких переходов	30
§ 6. Физика поверхности	34
§ 7. Жидкие кристаллы. Изучение очень больших молекул	36
§ 8. Поведение вещества в сверхсильных магнитных полях	37
§ 9. Разеры, гразеры и новые типы сверхмощных лазеров	38
§ 10. Сильнонелинейные явления (нелинейная физика). Солитоны. Хаос. Странные аттракторы	42
§ 11. Сверхтяжелые элементы (далекие трансураны). «Экзотические» ядра	44
Микрофизика	46
§ 12. Что понимать под микрофизикой?	46
§ 13. Спектр масс. Кварки и глюоны. Квантовая хромодинамика	48
§ 14. Единая теория слабого и электромагнитного взаимодействий. W^\pm - и Z^0 -бозоны. Лептоны	53
§ 15. Великое объединение. Распад протона. Масса нейтрино. Магнитные монополи. Суперобъединение. Суперструны	55
§ 16. Фундаментальная длина. Взаимодействие частиц при высоких и сверхвысоких энергиях	59
§ 17. Несохранение СР-инвариантности. Нелинейные явления в вакууме в сверхсильных электромагнитных полях. Фазовые переходы в вакууме. Несколько замечаний о развитии микрофизики	63
§ 18. О микрофизике вчера, сегодня и завтра	69
Астрофизика	74
§ 19. Экспериментальная проверка общей теории относительности	74
§ 20. Гравитационные волны	77

§ 21. Космологическая проблема. О сингулярностях в общей теории относительности и космологии. Связь между космологией и физикой высоких энергий	80
§ 22. Нейтронные звезды и пульсары. Черные дыры	83
§ 23. Квазары и ядра галактик. Образование галактик. Проблема скрытой массы (темной материи). Нужна ли «новая физика» в астрономии?	92
§ 24. Происхождение космических лучей и космического гамма- и рентгеновского излучения	100
§ 25. Нейтринная астрономия	106
§ 26. О современном этапе развития астрономии	109
Заключительные замечания	111
§ 27. Несколько замечаний о характере развития науки	111
§ 28. Вместо заключения	114
Список литературы	117

II 121

Как развивается наука? 122

Предисловие	122
§ 1. О содержании книги Т. Куна	123
§ 2. Общая оценка	124
§ 3. О принципе соответствия и о возможной законченности теории в области ее применимости	125
§ 4. Элементы антиисторизма	127
§ 5. Об экспоненциальном законе развития науки и некоторых его следствиях	129
§ 6. О чертах «неоднородности» и «ограниченности» в развитии науки	131
Заключительные замечания	134

Как и кто создал теорию относительности 136

Предисловие	136
Рецензия	136
Комментарии	142
§ 1. Что такое специальная теория относительности?	142
§ 2. Как и кто создал СТО?	144
§ 3. Замечания о приоритете	148
§ 4. Об источнике научного знания	152
§ 5. Наука и нравственность	153

Нужна ли «новая физика» в астрономии? 156

Введение	156
§ 1. В чем состоит вопрос и как на него отвечают?	157
§ 2. Нужна ли «новая физика» в физике и в астрономии?	159
§ 3. О возможной полноте физической теории в области ее применимости	162
§ 4. Еще раз о «новой физике» в астрономии	164
Заключительные замечания	167
Дополнение	168
Примечание к настоящему изданию	169
Список литературы	169

Законы физики и проблема внеземных цивилизаций 171

Дополнение	174
------------	-----

Широта взглядов и информированность — важные условия...	176
Дополнение	178
Ответы на вопросы журнала «Изобретатель и рационализатор»	179
Беседа с корреспондентом журнала «Вестник АН СССР» (1982 г.)	181
Нестареющая физика	188
Пять лет спустя	192
О научно-популярной литературе и еще кое о чем...	194
Каковы возможности научно-популярной литературы?	195
Можно ли в популярных статьях использовать алгебру?	197
Как проверить теорию и какова здесь роль «научного общественного мнения»?	198
Список литературы	199
К трехсотлетию «Математических начал...» Исаака Ньютона	200
До Ньютона	201
«Начала»	203
«Начала» и метод принципов. Природа тяготения	208
Критика механики Ньютона и ее дальнейшее развитие	211
О Ньюtone. Заключительные замечания	218
Список литературы	221
Заметки по поводу юбилея	223
О чем пойдет речь	224
Школа	225
Физический факультет	227
Специализация. теоретики и экспериментаторы	228
Зависимость продуктивности научных работников от возраста (до 60 лет)	231
О распределении научных работников по возрасту	233
После 60 (о научных работниках старших возрастов)	234
«Ничего так не следует остерегаться в старости, как лени и безделья» (Цицерон)	237
Вместо заключения	240
Примечание к настоящему изданию	240
Опыт научной автобиографии	242
1. Введение	242
2. Классическая и квантовая электродинамика	243
3. Излучение равномерно движущихся источников (эффекты Вавилова — Черенкова и Доплера, переходное излучение и родственные явления)	244
4. О характере настоящей статьи	247
5. Высшие спины	248
6. Распространение электромагнитных волн в плазме (ионосфере). Радиоастрономия	249
7. Астрофизика космических лучей. Гамма-астрономия. Некоторые астрофизические работы	252
8. Рассеяние света. Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии	253
9. Теория сегнетоэлектрических явлений. Мягкая мода. Границы применимости теории фазовых переходов Ландау	254
10. Сверхтекучесть гелия II вблизи λ -точки. Другие работы по сверхтекучести	257
11. Теория сверхпроводимости	260
12. Заключительные замечания	264
Список литературы	265

III	271
Об Игоре Евгеньевиче Тамме	272
Один совет Леонида Исааковича Мандельштама	280
К 90-летию со дня рождения Николая Дмитриевича Папалекси	283
О Льве Давидовиче Ландау. Замечательный физик	285
Дополнение	288
Памяти Александра Александровича Андропова	299
Об Александре Львовиче Минце	302
Памяти Сергея Ивановича Вавилова	307
О Григории Самуиловиче Ландсберге	309
Памяти Евгения Константиновича Завойского	314
О Матвее Самсоновиче Рабиновиче	316
Впечатления со стороны (о Мстиславе Всеволодовиче Келдыше)	318
Об Альберте Эйнштейне	321
Памяти Нильса Бора	323
О Ричарде Фейнмане — замечательном физике...	331
Примечание к настоящему изданию	335
Курс (памяти Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица)	336
Об астрофизике высоких энергий (к 80-летию Яна Оорта)	344
Примечание к настоящему изданию	352
Список литературы	352
Библиографическая справка	354

ОТ АВТОРА

В книгах серии «Наука. Мировоззрение. Жизнь» представляется возможной публикация довольно разнородного материала. Автор этим воспользовался, в результате чего книга оказалась состоящей из трех частей.

Часть I представляет собой, по сути дела, новое переработанное издание статьи «Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными?». Подробнее о характере этой статьи здесь можно не писать, поскольку это сделано в предисловии к ч. I настоящей книги.

Часть II содержит статьи, относящиеся к истории и методологии науки. Там же помещен и некоторый материал родственного типа, а также статьи «Заметки по поводу юбилея» и «Опыт научной автобиографии».

Часть III составляют статьи и заметки, посвященные памяти ряда выдающихся советских и иностранных физиков (И. Е. Тамма, Л. И. Мандельштама, Н. Д. Папалекси, Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшица, А. А. Андропова, А. Л. Минца, С. И. Вавилова, Г. С. Ландсберга, Е. К. Завойского, М. С. Рабиновича, М. В. Келдыша, А. Эйнштейна, Н. Бора и Р. Фейнмана). Здесь же помещена статья, написанная по случаю 80-летия голландского астрофизика Я. Оорта.

Почти весь материал, содержащийся в ч. II и III, публиковался ранее; в настоящее издание вносились лишь незначительные изменения. Как правило, характер изменений и дополнений ясен из текста, а также из библиографической справки, помещенной в конце книги. По сравнению с предыдущим (первым) изданием этого сборника (М.: Наука, 1985), помимо переработки ч. I, одна статья исключена и четыре статьи добавлены в ч. II; в ч. III помещено дополнение к статье о Л. Д. Ландау и добавлены еще семь статей (заметок).

Нужно отметить, что книга не свободна от повторений. К сожалению, избавиться от них не представилось возможным, поскольку в ней собраны многие статьи, написанные в разное время и по различным поводам. К числу недостатков книги можно также отнести употребление личных местоимений (я, мне, меня...), не принятое в научной литературе на русском языке. Однако в статьях научно-популярного и публицистического жанров, а также в воспоминаниях строго придерживаться безличного стиля не удастся. Кроме того (и это даже более существенно), в воспоминаниях о других слишком часто фигурирую я сам. Между тем тот, кто читает, скажем, об И. Е. Тамме, хочет побольше узнать о нем, а не об авторе воспоминаний. Удовлетворительно справиться с возникшими трудностями мне так и не удалось. Хотя оговорки и извинения не очень-то помогают, но я надеюсь, что благожелательный читатель сумеет отобрать интересное для себя, а представляющееся ему неинтересным или излишним опустит без раздражения. Тут нужно также иметь в виду, что часто разным людям совсем не одни и те же моменты и замечания кажутся нужными или ненужными, любопытными или недостойными внимания. Таково мое мнение, основанное на немалом опыте, его я и придерживался при составлении настоящего сборника.

В заключение хочу поблагодарить Т. А. Иванчик, Л. П. Русакову и С. В. Шихманову за помощь разного рода, способствовавшую выходу книги в свет.

Кроме того, я благодарен ряду коллег за советы, которыми воспользовался в первую очередь при переработке статьи, составляющей ч. I книги (имена не названы, чтобы не возложить на других, хотя бы и косвенно, ответственность за содержание и недостатки статей).

1990 г.

I

КАКИЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ И АСТРОФИЗИКИ ПРЕДСТАВЛЯЮТСЯ СЕЙЧАС ОСОБЕННО ВАЖНЫМИ И ИНТЕРЕСНЫМИ?

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние десятилетия физика неимоверно разрослась и разветвилась. Этот процесс нашел отражение, в частности, в появлении таких названий, как астрофизика, биофизика, геофизика, радиофизика, химическая физика, кристаллофизика, металлофизика и т.п. Дифференциация тем не менее не привела (быть может, правильнее сказать: еще не привела) к потере физикой известного единства — речь идет о единстве фундамента, общности многих принципов и методов, а также о наличии связей между различными отраслями и направлениями. Разветвление и специализация все более затрудняют вместе с тем возможность увидеть здание физики в целом и, несомненно, приводят к известной разобщенности.

В какой-то мере такая разобщенность, видимо, неизбежна, но вполне оправданно также стремление как-то нейтрализовать ее последствия. Особенно это необходимо в отношении молодых физиков, в том числе студентов. Наблюдения показывают, что даже для лучших выпускников физических (или родственных им) факультетов наших вузов характерны отсутствие широты, незнание того, что же сейчас делается в физике вообще, а не только в какой-то ее более или менее узкой области. Разумеется, широта взглядов или хотя бы разносторонность знаний приходят не сразу, и далеко не все здесь можно сделать в студенческие годы. Но буквально поражает какая-то диспропорция, несоответствие. Скажем, человек знает тонкие современные методы квантовой теории поля и квантовой статистики, но не представляет себе механизма сверхпроводимости и природы сегнетоэлектричества, не слышал об экситонах и металлическом водороде, совсем не знаком с современными проблемами, связанными с нейтронными звездами, «черными дырами», гравитационными волнами, космическими и гамма-лучами, нейтринной астрономией и т.д. и т.п.

Дело здесь, как я убежден, вовсе не в ограниченности человеческих возможностей или в отсутствии времени. Для того чтобы составить себе общефизическое представление, познакомиться «без формул» (или, во всяком случае, с использованием лишь самых простых формул и количественных понятий) со всеми перечисленными вопросами и им подобными, времени и сил студенту нужно, вероятно, даже меньше, чем на подготовку только к одному серьезному экзамену. Трудность совсем в другом: студент не знает, с чем же ему следовало бы ознакомиться и как это сделать. Недостаточно, чтобы отдельные вопросы фигурировали в одной из многочисленных программ или книг. К тому же многие проблемы, которые как раз сегодня находятся в центре внимания на физических конференциях

или в оригинальной физической литературе, вообще еще не успели попасть на страницы учебников и в учебные программы.

Вряд ли нужно развивать эти довольно очевидные замечания. Выводы также представляются достаточно ясными. Если ограничиться только благими пожеланиями или требованием улучшать и часто пересматривать программы, то нужный результат достигнут не будет. Самое разумное, по-видимому, систематически и по заранее объявленному плану читать дополнительные лекции (восемь — десять в год), не входящие ни в один официальный курс. Каждая лекция должна читаться специалистом в соответствующей области. Темы лекций — это, конечно, не учебный материал, каждая лекция должна представлять собой доступный, но вполне современный обзор какой-то определенной области или проблемы. Именно такой цикл лекций был организован кафедрой проблем физики и астрофизики Московского физико-технического института¹. Этот цикл требовал, однако, общего введения, т.е. его должен предварять какой-то «взгляд и нечто» — поневоле фрагментарное и беглое перечисление многих проблем, попытка осветить современную физическую проблематику в целом.

Такая задача представляется весьма трудной и в известном смысле неблагодарной, поскольку ее решение редко оказывается достаточно успешным, а потому обычно и не может принести чувства удовлетворения. По тем или иным причинам, но подобных лекций обычно вообще не читают. Мне же такая лекция, как сказано, казалась необходимой для успеха всего цикла, и поэтому пришлось ее подготовить. Эта лекция была прочитана затем несколько раз в различных аудиториях. И то, как она проходила, реакция слушателей не оставляют сомнений по крайней мере в том, что подобные лекции нужны и вызывают интерес, причем не только у студентов. На основе этой лекции была написана статья «Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными?», опубликованная в разделе «Физика наших дней» журнала «Успехи физических наук» в 1971 г. В дальнейшем эта статья в измененном и дополненном виде превратилась в небольшую книжку «О физике и астрофизике», публиковавшуюся в 1971, 1974 и 1980 гг. Затем статья вошла в первое издание настоящего сборника (1985 г.). Таким образом, помещаемый здесь вариант статьи может считаться ее пятым изданием. О тех изменениях, которые статья претерпела при ее переработках, будет сказано ниже. На содержании же статьи здесь нет нужды останавливаться: предварительное представление о нем можно составить, ознакомившись хотя бы с ее оглавлением.

Зачем, однако, статье предпослано столь длинное предисловие? Причина в том, что ее содержание, характер и стиль, видимо, несколько необычны и, во всяком случае, не говорят сами за себя. Я писал статью, адресованную в первую очередь молодым физикам и астрономам, подчеркивал условность и субъективность выделения каких-то «особенно важных и интересных» вопросов, отмечал неизбежную в таких случаях спорность оценок и вместе с тем полное отсутствие тенденции или претензии поучать читателей, навязывать им свое мнение. К счастью, насколько удалось установить, именно так статью и поняло большинство читателей, особенно тех, кому она предназначалась. Но пришлось услышать и совсем иные мнения. Одни отрицательно отнеслись к самой идее статьи. Другие сочли ее недостаточно объективной и односторонней, особенно в отношении микрофизики. Третьи обвиняли меня в нескромности и других подобных грехах, выразившихся в попытках судить, что важно и что не важно, а также в слишком частом появлении фамилии автора в списке литературы, приложенном к статье и имевшем лишь сугубо вспомогательное значение. Отвечать на все эти упреки и обвинения было бы здесь неуместно, тем более что они, к сожалению, нигде не опубликованы. Но упомянуть о них стоит, чтобы предупредить читателей и тем самым побудить их относиться к статье критически. Сам автор, пере-

¹Подробнее см. в статье «Широта взглядов и информированность — важные условия успеха в работе». (Настоящий сборник, с. 267.)

рабатывая статью, в частности для настоящего издания, также старался так поступать. Но внимание к критике совсем не означает, что следует убоиться «криков беотийцев» и отказаться от дела, которое кажется тебе полезным.

Да, это «дело» как в самом начале, так и до сих пор представляется мне полезным. Разумеется, автор не вправе судить о качестве своего труда. Но и независимо от того, насколько статья оказалась удачной, интерес к такого рода литературе совершенно несомненен. Об этом свидетельствует, в частности, появление переводов статьи (в основном в виде отдельной книжки) на английский, французский, немецкий, польский, словенский и болгарский языки.

Очень важной особенностью настоящей статьи, ясной уже из ее названия, является то обстоятельство, что она должна отражать современное состояние затрагиваемых проблем. Вместе с тем за годы, прошедшие после появления первого издания (1971 г.), в физике и астрофизике сделано очень многое, появилось немало нового. Поэтому при подготовке каждого издания, в том числе, конечно, и настоящего, приходилось вносить в статью изменения и дополнения. Это достаточно очевидно, но подчеркнуто здесь вот по какой причине. Наличие предыдущих изданий как-то связывает. При этом с каждым разом переделывать статью все труднее, причем возрастает чувство неудовлетворенности. Причин здесь несколько, среди них: появление огромного числа новых публикаций, какая-то «привязанность» к ранее написанному тексту, понимание всей условности выделения одних проблем при умолчании о других. Что же касается затронутых вопросов, то уделяемое им место далеко не всегда отвечает их объективной значимости — здесь сказались и не могли не сказаться вкусы автора и степень его информированности.

В предыдущем издании статьи (сборник «О физике и астрофизике». — М.: Наука, 1985. — С. 7—193; ниже цитируется как [I]) я еще пытался, как и в предшествовавших изданиях, не только делать ряд пояснений, но и приводить некоторые последние данные (например, о параметрах токамаков), давать довольно много ссылок на литературу. По указанным выше причинам поступать таким образом становится все труднее и труднее. Кроме того, кое-что устаревает за время нахождения рукописи в печати, не говоря уже о последующем периоде. Кстати сказать, за пять лет, отделяющих настоящее издание от предыдущего, изменилось многое — я был даже удивлен, сколь значительные перемены потребовались бы для достижения прежнего уровня полноты и подробности изложения. Поэтому в настоящем издании стиль несколько изменен — приводится меньше конкретного материала и сильно сокращен список литературы, которая для большинства читателей все равно была трудно доступна. Почти по каждому из затрагиваемых вопросов читатели найдут материал в «Успехах физических наук», в «Природе», в «Мире науки» (русский перевод журнала «Scientific American»), а иногда и в «Науке и жизни». Кроме того, хочу отметить, что в ежемесячном журнале американского физического общества «Physics Today», помимо большого количества сведений о новых результатах, каждый год публикуется сводка достижений за год. В «Успехах физических наук» тоже собирались так поступить, но, к сожалению, благие порывы слишком часто ни к чему не приводят, следовало хотя бы переводить американскую сводку.

Замечу, что приоритетных вопросов я совершенно не касаюсь. Появление многочисленных фамилий или даже только соответствующих ссылок помешало бы чтению. Кроме того, приходилось убеждаться в том, что принятые в литературе приоритетные утверждения часто оказывались неточными или даже несправедливыми. Предпринимать же чуть ли не специальное историческое исследование по многочисленным приоритетным вопросам было бы здесь совершенно неуместно.

В связи со всем сказанным хочу лишний раз подчеркнуть также, что никогда не рассматривал настоящую статью как нечто выходящее за пределы сочинения научно-популярного типа. Предъявление в таком случае претензий, быть может, уместных в отношении

программных документов или философских трактатов, указывает, во всяком случае, на потерю чувства меры. Видимо, я и сам его потерял, запальчиво отвечая на критику, которую считал необоснованной. Сейчас я по-прежнему считаю, что при всех сделанных оговорках вполне допустимо выделять «особенно важные и интересные» проблемы, можно и нужно спорить о месте и роли тех или иных научных направлений, а автор подобной статьи вовсе не обязан думать о возможных взглядах начальства или узких интересах тех или иных своих коллег. С другой стороны, вся эта полемика уже как-то «отзвучала», и, в конце концов, дабы не раздражать критиков, можно было бы сгладить некоторые углы и, скажем, писать о «некоторых важных и интересных» проблемах вместо «особенно важных и интересных». Таким образом, если бы статья писалась заново, то выглядела бы несколько иначе. Однако я не стал делать соответствующих изменений и сохранил все общие рассуждения и замечания, иногда довольно спорные. Как сказано, это не новая статья, и к тому же автору уже нечего терять, для читателей же некоторая острота или даже запальчивость в дискуссии может сделать статью более интересной.

Наконец, последнее замечание. Сожаление вызывает тот факт, что, несмотря на неоднократные призывы, в последние годы, насколько мне известно, никто другой не публиковал своего «списка ключевых проблем» с соответствующими комментариями к ним. Между тем если бы это произошло, то можно было бы и поспорить и, главное, читатели получили бы более полное и разностороннее представление о состоянии и путях развития физики и астрофизики. Причины, в силу которых соответствующие статьи или книги не появились, остаются недостаточно ясными, и хотелось бы надеяться, что положение еще изменится. Пока же отсутствие других статей такого типа позволяет автору с несколько меньшим беспокойством отнестись к возможным оценкам настоящей публикации.

ВВЕДЕНИЕ

Физики и астрофизики заняты в настоящее время изучением огромного количества различных вопросов. В подавляющем большинстве случаев это поиски решения вполне разумных задач и попытки если не разгадать загадки природы, то все же найти нечто новое. О любых таких вопросах трудно сказать, что они не интересны или не важны. Да и вообще нелегко сколько-нибудь последовательным образом определить, что значит «не важно» и (или) «не интересно» в науке. Вместе с тем фактически иерархия проблем и задач, безусловно, существует. Она действует на практике и отражается на всей научной (а иногда и не только научной) жизни. Нередко выделение «особенно важных» физических проблем происходит в силу их потенциального технического или экономического эффекта, часто связано с особой загадочностью вопроса или с его фундаментальным характером, но иной раз является данью моде или осуществляется под действием каких-то непонятных или случайных факторов (вопросы, относящиеся к последней категории, мы, разумеется, постараемся не обсуждать).

Составление списков «важнейших проблем» и комментариев к ним уже не раз предпринималось. В таких случаях нередко созываются совещания или создаются специальные комиссии, которые заседают и порождают довольно объемистые документы. Не берусь делать обобщений, но могу констатировать, что не видел, чтобы эти записки о важнейших проблемах читали с большим интересом. Видимо, специалистам в них нет особой нужды, а представителям более широкой публики они не кажутся привлекательными (другое дело, что такие документы могут оказаться необходимыми при решении вопросов организации науки и ее финансирования).

Между тем может ли физиков и астрономов, особенно начинающих, не интересовать простой вопрос: где сейчас «горячо» в физике и астрофизике? Или, другими словами,

какие проблемы физики и астрофизики представляются в данный момент особенно важными и интересными?

Исходя из предположения, что такие вопросы действительно интересны для достаточно широкого круга читателей, и сделана попытка ответить на них в настоящей статье. Таким образом, это не плод работы комиссии и даже не результат каких-либо специальных разысканий, как выражаются литературоведы, а лишь «частное мнение» автора. Поэтому можно по крайней мере избежать сухости и строгости более или менее официальных документов.

Ниже перечисляются проблемы, которые мне кажутся сейчас относящимися к категории особенно важных и интересных. Но одного перечисления, конечно, недостаточно, и поэтому поясняются суть той или иной проблемы, состояние, в котором находится ее исследование, и т.д. Составление «списка проблем» и соответствующих комментариев в той форме, как это здесь делается, представляет собой в первую очередь некоторый педагогический прием. Именно на таком пути удобно познакомить читателей с рядом интересных вопросов. Вместе с тем я не стремился как-то подробнее определять понятия «важное» и «интересное» и, главное, мотивировать характер отбора и включения тех или иных проблем в «список».

Каждый вправе иметь собственное мнение на этот счет и ни с кем не обязан его «согласовывать» до тех пор, пока не делается какая-либо попытка объявить свое мнение апробированным или лучшим, чем другие возможные суждения. Никаких таких попыток, не говоря уже о предложениях организационного типа, автор заведомо не предпринимает и, желая подчеркнуть «личный» характер изложения, не стремится даже, как это принято в научной литературе, избегать употребления местоимений «я», «мне» и т.п.

Было бы любопытно, а быть может, и полезно сравнить списки «важнейших проблем физики и астрофизики», составленные разными лицами, о чем уже упоминалось выше. К сожалению, соответствующие, достаточно широкие и открытые опросы научного общественного мнения, насколько известно, не производились. Поэтому я могу лишь высказать предположение, что в большинстве таких списков было бы очень много общего, если бы только удалось (а это нелегко) договориться об одном: что называть «физической проблемой» в отличие, скажем, от конкретных задач или объектов физических исследований. Не углубляясь в дефиниции, замечу, что называю проблемой такой вопрос, характер (содержание) ответа на который остается в значительной мере неясным. Речь должна идти не о технических разработках, необходимости провести ряд измерений, вычислений и т.п., а о раскрытии какой-то подлинной тайны (скажем, причины или механизма нарушения комбинированной четности при распаде К-мезонов), о выяснении вопроса о границах применимости теории (например, общей теории относительности), о самой возможности создания какого-то вещества с необычными свойствами (например, о создании «комнатно-температурного» сверхпроводника или металлического водорода). По этим соображениям ниже почти не упоминаются квантовая электроника (включая большинство применений лазеров), многие задачи исследования полупроводников (включая задачу миниатюризации схем и приборов), нелинейная оптика и голография, а также ряд других интересных направлений современной оптики, задачи вычислительной техники (включая вопрос о создании электронно-вычислительных машин нового типа) и многое другое.

Большое значение всех упомянутых направлений и обилие различных (не только технических, но и физических) вопросов, с ними связанных, не вызывают никаких сомнений. Но принципиальной физической проблемы или, если угодно, какой-то существенной неопределенности, касающейся физики дела, здесь в настоящее время не видно (правильнее было бы, конечно, сказать, что «я этого не вижу» или «я об этом не знаю»). До создания, скажем, первого лазера такая неопределенность существовала, хотя принципы, положенные впоследствии в основу конструкции лазера, и были ясны. Повышение же

мощности или изменение других параметров лазера, как и любого другого прибора, — дело нужное, трудное и почтенное, но явно качественно отличное от задачи создания устройства или прибора, основанного на новых принципах.

Вместе с тем уже на подобном примере видна довольно типичная условность границ между физическими задачами принципиального и технического характера. Так, если речь идет о повышении мощности лазера на много порядков величины, а такая задача, несомненно, очень актуальна и важна, то ее никак нельзя отнести просто к технике или какой-то «непринципиальной» физике. То же можно сказать и о создании разеров и гразеров — аналогов лазеров в области рентгеновских и гамма-лучей. Еще в предыдущем издании (1985 г., см. [I]) было сказано, что разеры и гразеры не только не построены, но и недостаточно ясно, как это сделать и даже можно ли это сделать; поэтому речь здесь идет о типичной «важной и интересной проблеме», если применять используемый нами же принцип отбора. К 1989 г. разеры, работающие в области очень мягких рентгеновских лучей, уже созданы, но это обстоятельство в общем не изменяет ситуации (см. § 9). И так почти в каждой области — существенный, резкий выход за пределы уже достигнутого почти всегда составляет проблему. Но не все такие проблемы созрели, достижение не всех рекордов кажется соблазнительным, иерархия проблем все равно на деле существует.

Вместе с тем само собой разумеется, что нельзя заниматься лишь отдельными проблемами, сколь бы значительными они ни были, игнорируя огромное число других задач и проблем, не удостоенных ранга «особенно важных и интересных». Более того, эти «другие» задачи могут оказаться и очень трудными, и очень интересными, по крайней мере для тех, кто ими занимается. В качестве примера приведу задачи, относящиеся к теории излучения источников, движущихся в среде (излучение Вавилова — Черенкова, переходное излучение и переходное рассеяние и др.). Мне лично этот круг вопросов очень дорог и близок, я им занимаюсь в течение всей своей научной жизни [1]. Но нельзя же не видеть, что подлинная тайна не покрывает черты таких электродинамических задач, и они в этом отношении принципиально отличаются, скажем, от проблемы высокотемпературной сверхпроводимости или вопроса о кварках и их «удержании» в связанном состоянии. Естественно поэтому, что в нашем списке нет переходного излучения, как и целого ряда других вопросов, которые интересовали или интересуют автора книги. Таким образом, если наш выбор «особенно важных и интересных» проблем и является в известной мере условным и субъективным, то это все же никак не означает отбора по принципу «особенно важно и интересно в первую очередь то, чем занимался или занимается автор» (думаю, что это замечание не является излишним, ибо довольно часто встречаются люди, руководствующиеся именно указанным принципом).

Выше было высказано предположение, что «научное общественное мнение», если его попытались бы выяснить, отличалось бы большой общностью взглядов на то, какие проблемы сегодня «особенно важны и интересны». Но, несомненно, возникли бы и существенные расхождения, особенно в вопросе об очередности разных задач в плане концентрации усилий и средств. Сказанное видно, в частности, из некоторых статей, цитируемых в [I].

Вопрос о средствах и очередности связан, однако, с целым рядом обстоятельств, выходящих за пределы чисто научной стороны дела. Например, создание гигантских ускорителей, несомненно, имеет большой научный интерес, но дискуссии ведутся в первую очередь в том плане, нужны ли соответствующие затраты ценой ограничения масштабов работы в других научных направлениях. Касаться влияния экономических и социальных факторов на развитие науки мы совсем не будем, сконцентрировав внимание только на самой научной проблематике.

Но и при таком «упрощении» и ограничении встречаются резкие расхождения во мнениях. Так, например, в качестве важнейших принципиальных проблем физики твердого тела ниже будут упомянуты: высокотемпературная сверхпроводимость, сверхдиамагне-

тизм, создание металлического водорода и некоторых других веществ с необычными свойствами, некоторые вопросы, которые можно отнести к физике полупроводников, поверхностные явления и теория критических явлений (в частности, теория фазовых переходов второго рода). Между тем в литературе можно встретить совсем другие проблемы, именуемые «самыми фундаментальными» (один такой пример приведен в [I]). Что же отсюда следует? Видимо, только одно: никакого безусловного списка важнейших проблем предложить нельзя, да и не нужно. А вот думать над тем, что важно и что не важно, спорить на эту тему, не бояться высказывать свое мнение и его отстаивать (но не навязывать!) нужно и полезно. Хотелось бы просить читателей относиться к последующему изложению именно в таком духе.

Итак, субъективная окраска и спорность наших замечаний очевидны и читатели об этом предупреждены (другое дело, что никакие предупреждения и оговорки обычно не помогают). До того, как перейти к существу дела, остается отметить, что деление статьи на три части (макрофизика, микрофизика, астрофизика) также в достаточной мере условно. Так, проблема сверхтяжелых ядер считается макрофизической, хотя ее можно было бы считать и микрофизической. Далее, вопросы общей теории относительности отнесены к астрофизике, а не к макрофизике, но лишь в силу того, что общая теория относительности используется в основном в астрономии (мы уже не говорим о том, что различие между астрофизикой и, скажем, макрофизикой, по сути, носит иной характер, чем между микро- и макрофизикой).

Наконец, подчеркнем, что ниже мы практически не касаемся биофизики, не говоря уже о менее важных, смежных с физикой и астрофизикой направлениях. Между тем именно связь физики с биологией, проникновение в биологию физических методов и идей оказались особенно плодотворными и исключительно важными для развития биологии, а потенциально также для медицины, сельского хозяйства и т.д. Тем более грубой ошибкой со стороны физиков отгораживаться от задач с «биологическим уклоном» на том основании, что это «не физика».

Кроме того, связь физики с биологией, попытки решения некоторых биологических проблем будут обогащать саму физику, подобно тому как обращение к физике служило и служит источником вдохновения и новых идей для многих математиков. Тем самым тот факт, что в статье связь физики с биологией не нашла должного отражения, ни в коей мере не является результатом недооценки роли этого направления. Дело здесь, с одной стороны, в недостаточном знакомстве автора с биофизикой и вообще биологией и, с другой — в необходимости не стремиться объять необъятное и все же как-то ограничить обсуждаемую область естествознания.

СПИСОК «ОСОБЕННО ВАЖНЫХ И ИНТЕРЕСНЫХ» ПРОБЛЕМ

Приведу список проблем, которые хотел бы выделить (нужно ли еще и еще раз подчеркивать всю условность и субъективность такого выделения?!).

МАКРОФИЗИКА

1. Управляемый ядерный синтез
2. Высокотемпературная сверхпроводимость. Сверхдиамагнетизм
3. Новые вещества (проблема создания металлического водорода и некоторых других веществ)

4. Некоторые проблемы физики твердого тела
5. Фазовые переходы второго рода и близкие к ним переходы (критические явления). Интересные примеры таких переходов
6. Физика поверхности
7. Жидкие кристаллы. Изучение очень больших молекул
8. Поведение вещества в сверхсильных магнитных полях
9. Разеры, гразеры и новые типы сверхмощных лазеров
10. Сильнонелинейные явления (нелинейная физика). Солитоны. Хаос. Странные аттракторы
11. Сверхтяжелые элементы (далекие трансураны). «Экзотические ядра»

По сравнению с предыдущим изданием [I] здесь изменено название лишь проблемы 4. Раньше заглавие было таким: «Металлическая экситонная (электронно-дырочная) жидкость в полупроводниках. Некоторые другие проблемы физики полупроводников». На сегодняшний день (1989—1991 гг.) и, вероятно, это можно будет сказать и в дальнейшем (хотя новые интересные аспекты вполне могут выявиться) металлическая экситонная жидкость в полупроводниках уже в общем хорошо изучена. Поэтому соответствующую проблему можно было бы даже удалить из списка. Во всяком случае ее нельзя оставить в качестве, так сказать, «ведущей» в физике полупроводников. На авансцену вышел ряд других проблем физики твердого тела: переходы металл — диэлектрик, волны зарядовой плотности, неупорядоченные полупроводники, спиновые стекла, квантовый эффект Холла. Об этом еще будет упомянуто ниже (§ 4), но уже здесь скажу, что под «проблемой 4» понимается целая совокупность интересных и важных вопросов, которые могли бы занять и несколько «номеров» в нашем списке. Но именно обилие материала и недостаточное знакомство с ним автора побуждают, ограничившись этой оговоркой, как-то выделить «некоторые проблемы физики твердого тела» в качестве общей темы, которой не будет уделено должного внимания (остается надеяться на то, что это сделают другие).

МИКРОФИЗИКА

12. Спектр масс. Кварки и глюоны. Квантовая хромодинамика
13. Единая теория слабого и электромагнитного взаимодействий. W^\pm - и Z^0 -бозоны. Лептоны
14. Великое объединение. Распад протона. Масса нейтрино. Магнитные монополи. Суперобъединение. Суперструны
15. Фундаментальная длина. Взаимодействие частиц при высоких и сверхвысоких энергиях
16. Несохранение СР-инвариантности. Нелинейные явления в вакууме и в сверхсильных магнитных полях. Фазовые переходы в вакууме

Проведенное здесь деление микрофизической тематики на пять частей (пункты 12—16) имеет особенно условный характер. Однако необходимо было хотя бы перечислить проблемы и объекты, находящиеся в центре внимания современной микрофизики. Осветить же эти вопросы адекватным образом я в целом не могу и считаю, что раздел «Микрофизика» — самый слабый в настоящей статье. Надеюсь тем не менее, что информация и некоторые замечания, содержащиеся в § 12—18, не покажутся излишними.

АСТРОФИЗИКА

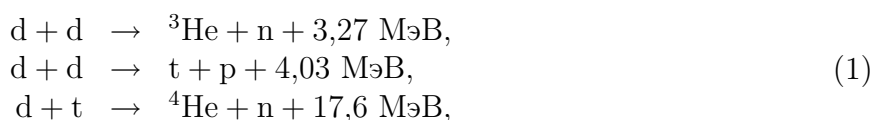
17. Экспериментальная проверка общей теории относительности
18. Гравитационные волны
19. Космологическая проблема. Связь между космологией и физикой высоких энергий
20. Нейтронные звезды и пульсары
21. Черные дыры
22. Квазары и ядра галактик. Образование галактик. Проблема скрытой массы (темной материи) и ее детектирования
23. Происхождение космических лучей и космического рентгеновского и гамма-излучения. Гамма-астрономия сверхвысоких энергий
24. Нейтринная астрономия

Ниже в отношении перечисленных проблем будут сделаны некоторые пояснения и замечания.

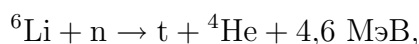
МАКРОФИЗИКА

§ 1. Управляемый ядерный синтез

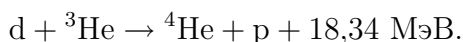
Проблема управляемого ядерного синтеза будет считаться решенной, если удастся использовать для нужд энергетики ядерные реакции синтеза. Основные реакции, о которых идет речь, таковы:



(d и t — ядра дейтерия и трития, т.е. дейтроны и тритоны, p — протон, n — нейтрон). Важную роль играет также реакция



позволяющая воспроизводить тритий, отсутствующий в природе. Ряд других реакций также может оказаться полезным; среди них укажем лишь на реакцию



Нужно заметить, что вместо управляемого ядерного синтеза в литературе чаще говорят о термоядерном синтезе. Дело в том, что наиболее популярен вариант управляемого синтеза при высоких температурах. Однако имеются пути осуществления управляемого ядерного синтеза и в холодном веществе. Тем не менее и мы сконцентрируем внимание на термоядерном варианте, представляющемся сейчас наиболее перспективным с точки зрения возможности его реального осуществления.

В том, что энергию ядерного синтеза каким-то образом удастся использовать, сомневаться трудно — достаточно упомянуть о «тривиальной» возможности применения подземных взрывов. С другой стороны, управляемым термоядерным синтезом активно интересуются уже около сорока лет, однако еще не достигнут «выход» термоядерной энергии, превышающей внутреннюю энергию плазмы. Правда, сейчас уже созданы установки, на

которых в 90-е годы предполагается продемонстрировать прообраз реального термоядерного реактора. Создание же коммерческого термоядерного реактора в некоторых прогнозах относят на конец этого или начало следующего столетия.

Для того чтобы выход термоядерной энергии превышал потери плазмы на излучение, должно быть выполнено условие $n\tau > A$, где n — концентрация ядер в плазме¹ при температуре $T \sim 10^8$ К, а τ — характерное время удержания энергии в плазме, и можно считать, например, что τ равно времени, в течение которого из плазмы теряется энергия, равная по порядку величины внутренней энергии плазмы. Что касается постоянной A , то она характеризует ядерное горючее (и долю атомов примесей). Для чистого дейтерия $A \sim 10^{16}$ см⁻³·с, а для смеси, состоящей из 50% дейтерия и 50% трития, $A \sim 2 \cdot 10^{14}$ см⁻³·с (величина A может быть уменьшена почти в 10 раз, если нейтроны, образованные при термоядерном синтезе, использовать для деления урана). Таким образом, для работы реактора (для того чтобы он давал больше энергии, чем необходимо затратить на создание и поддержание высокотемпературной плазмы) должно соблюдаться неравенство (при $T \sim 10^8$ К)

$$n\tau > 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}, \quad (2)$$

причем имеется в виду «чистый» реактор, в котором не используются делящиеся элементы (уран и др.). Физический смысл требования (2), известного как неравенство Лоусена, достаточно очевиден: чем дольше длится процесс, тем менее бурно может протекать реакция горения (ее скорость пропорциональна n^2). В настоящее время, правда, используются более информативные критерии, в явном виде содержащие температуру плазмы. Однако и критерий (2) дает представление о сути дела.

Самым простым по идее мог бы быть плазменный реактор с магнитным удержанием плазмы. Из реакторов такого типа в настоящее время представляются наиболее прогрессивными (или во всяком случае наиболее популярными) тороидальные магнитные ловушки — токамаки.

Уже построенные токамаки, не говоря уже о проектируемых, огромны. Так, у вступившего в строй в 1983 г. в США токамака ТФТР (TFTR) большой радиус тора $R = 250$ см, а малый радиус тора (т.е. радиус его сечения) $a = 86$ см. Напряженность магнитного поля $H \lesssim 40$ кЭ, $n \lesssim 5 \cdot 10^{13}$ см⁻³. Советский токамак Т-15 по размерам близок к ТФТР. Разрабатываются проекты международных установок (токамаков) с еще большими размерами, которые очень дороги (речь идет о гигантских затратах).

Магнитное поле термоядерного реактора должно создаваться сверхпроводящими катушками. В противном случае нет оснований ожидать достижения благоприятного энергетического баланса. Такие токамаки со сверхпроводящими катушками уже построены. Однако многие физические и технические проблемы, связанные с работой реактора, до сих пор еще не решены. К ним относится проблема стойкости первой стенки реактора, подверженной мощному потоку нейтронов. Не полностью решена и проблема эффективного нагрева плазмы. Дело в том, что для нагрева плазмы одного омического нагрева недостаточно. Проходят проверку методы нагрева потоками «нейтралей» (атомов дейтерия с энергией 20—100 кэВ) или СВЧ-волнами. Не все ясно и с поведением в токамаке атомов примесей, а также неясны причины, приводящие к высокой электронной теплопроводности.

Некоторые успехи достигнуты на «прямых» магнитных ловушках, в которых используются магнитные «пробки». На них получена плазма с термоядерными параметрами $T \sim 10^8$ К, $n \sim 10^{14}$ см⁻³. Однако достигнутое время жизни τ в прямых системах пока

¹При высоких температурах, которые нужны для работы реактора ($T \gtrsim 10^8$ К), плазма, конечно, полностью ионизована и концентрация электронов примерно равна концентрации ионов дейтерия и трития. Мы говорим о примерном равенстве, так как в плазме неизбежно присутствует некоторая доля атомов примесей — углерода, кислорода и т.д. Подробнее о термоядерном синтезе см., например, в [2].

что мало — порядка 0,01 с, в силу чего мало и значение $n\tau$ — порядка $10^{12} \text{ см}^{-3}\cdot\text{с}$. Это связано с тем, что обычно в прямой ловушке уже одно соударение ионов выводит один из них из системы. Быть может, удержание плазмы в прямых ловушках удастся тем не менее улучшить путем создания более совершенных «пробок» на концах ловушки.

Отмеченные трудности, которые могут оказаться еще большими при переходе к действующему реактору, вполне оправдывают обсуждение других подходов к решению задачи. Поэтому помимо токамаков и прямых ловушек предложены и другие методы и системы — стеллараторы, высокочастотный разряд в плазме, сжимающиеся оболочки, создающие магнитное поле порядка 10^8 Э, и др.

Привлекают к себе внимание также исследования возможности осуществления термоядерного синтеза с инерционным удержанием плазмы. По сути дела, в этом методе предполагается использовать микровзрыв, сопровождающийся выделением энергии до 10^8 Дж (например, при полном сгорании дейтерий-тритиевой частицы, имеющей диаметр около миллиметра, выделяется энергия порядка $3 \cdot 10^8$ Дж, что отвечает взрыву примерно 50 кг тринитротолуола). Разрушающее действие такого взрыва относительно мало из-за малости массы взрывающегося вещества и, следовательно, малости импульса. Поскольку время жизни плазмы, образующейся при взрыве, порядка 10^{-8} — 10^{-9} с, мощность нагрева должна быть велика.

Такой мощный нагрев надеялись осуществить лазерным пучком либо пучками электронов или тяжелых ионов. В соответствии с этим говорят о лазерном, электронном и ионном (или пучковом) термоядерном синтезе. Конечно, механизмы поглощения в мишени (термоядерном горючем) лазерного излучения, электронов или ионов различны. Но, если отвлечься от этого, можно легко заметить сходство упомянутых методов. В самом деле, в лазерном методе, как и при использовании для нагрева электронных или ионных пучков, осуществляется нагрев (по возможности со всех сторон) твердых сферических крупнок водорода (точнее, дейтерия или смеси дейтерия с тритием) с начальной концентрацией ядер $n \sim 5 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ (именно такова концентрация ядер в твердом водороде при атмосферном давлении). Ядерное горючее покрывают рядом оболочек, носящих название поршней и абляторов. Верхняя оболочка (аблятор), испаряясь, создает давление на горючее порядка 10^{12} атм, которое сжимает ядерное вещество в 1000 и более раз. Строение оболочек и мишеней-крупнок выбирают, естественно, таким образом, чтобы наиболее эффективно сжать ядерное горючее. Особенно важно, чтобы образующиеся в термоядерном горючем α -частицы застревали в мишени и поддерживали горение. При этом надо учитывать, что при увеличении концентрации пропорционально ей уменьшается длина свободного пробега, тогда как радиус крупинки изменяется значительно меньше (пропорционально $n^{1/3}$). Главный вопрос при реализации инерционного синтеза состоит в получении большого значения величины Q , равной отношению выделившейся термоядерной энергии к подведенной к крупинке энергии света, электронных или ионных пучков.

По расчетам величина Q может достигать значений 100—1000. При этом учитывается частичное «разгорание» из центра мишени за счет самоподдерживающейся реакции, т.е. за счет нагрева α -частицами. Кроме того, предполагается примерно десятикратное усиление энергетического выхода за счет использования окружающих дейтерий-тритиевую мишень делящихся материалов. Поэтому требования к КПД лазера не столь критичны. Значительно более серьезными представляются трудности, связанные со стойкостью лазерных материалов, оптических элементов, стабильностью работы и т.д. Так, лазер, пригодный для термоядерного реактора, должен обеспечить порядка 10^8 импульсов излучения (без замены элементов или юстировки). В настоящее время не существует такого лазера, который мог бы удовлетворить всем техническим требованиям, предъявляемым к лазеру для реактора. Его создание может потребовать многих лет. Целый ряд трудностей стоит и на пути создания нужных мишеней (неустойчивости в оболочках, генерация быстрых электронов и т.п.). Тем не менее предполагается, что скоро удастся осуществить

демонстрационный эксперимент (демонстрационным экспериментом называют термоядерную реакцию с $Q = 1$, в которой тепловой выход термоядерной энергии равен энергии, затраченной на нагрев). Для этой цели нужно иметь не меньше 100—200 кДж в падающем на мишень световом импульсе. Сейчас известны установки, доставляющие на мишень «только» десятки килоджоулей лазерной (световой) энергии в импульсе, но в уже строящихся установках планируется достигнуть в импульсе как раз 200—250 кДж. Это и дает основания полагать, что в новых установках удастся достичь упомянутого порога $Q = 1$. Основные задачи, которые ставятся перед этими установками, — моделирование будущих мишеней для реального реактора, когда $Q \gg 1$ (при этом энергия в лазерном импульсе должна достигать величины порядка 1 МДж). Насколько я знаю, интерес к «лазерному термояду» в последнее время значительно уменьшился, электронный термояд признан неперспективным, а возможности ионного пучкового термояда продолжают обсуждаться.

Как для создания термоядерных реакторов с магнитным удержанием плазмы, так и для реализации «лазерного термояда» или других установок взрывного типа нужно еще преодолеть огромные трудности. Тем не менее в настоящее время в отличие от сравнительно недавнего прошлого царит в общем оптимистическое настроение и принципиальная возможность создать какой-нибудь термоядерный реактор представляется вполне реальной. Особенно это относится к токамакам. Но какие еще трудности нужно будет преодолеть, остается недостаточно ясным. К тому же речь здесь идет о столь значительных трудностях, что их нельзя считать техническими. Поэтому, несомненно, создание управляемых термоядерных реакторов должно быть отнесено к числу важнейших физических проблем. Кроме того, соревнование (мы имеем в виду здоровую конкуренцию, а не создание взаимных помех!) различных методов при решении проблемы термоядерного синтеза представляется совершенно необходимым.

На примере проблемы управляемого термоядерного синтеза четко выявляется, кроме того, одно общее обстоятельство: почти любая крупная физическая проблема не изолирована, а тесно связана с целыми направлениями или областями физики. Поэтому особенно большие усилия, затрачиваемые на решение данной проблемы, оказываются плодотворными и в более широком плане: они стимулируют многочисленные исследования, порождают новые методы, подходы и т.п. Так, плазмой немало занимались и интересовались и до того, как в самом начале 50-х годов стала разрабатываться проблема управляемого термоядерного синтеза. Но, с другой стороны, трудно переоценить, сколь важным оказалось внимание к этой проблеме для развития физики плазмы и в других направлениях — в применении к газовой плазме, твердотельной плазме и плазме в космосе.

Уже инерциальный ядерный синтез можно было бы отнести не к термоядерному, а к «холодному» варианту синтеза, так как исходная крупинка дейтериево-тритиевой смеси не нагрета. Но в общем это было бы игрой в слова, поскольку затем все же происходит микровзрыв. Известны, однако, и подлинно «холодные» варианты синтеза; в первую очередь имеется в виду так называемый мюонный катализ. Попадая в смесь трития и дейтерия μ^- -лептоны (отрицательно заряженные мюоны) образуют с дейтронами и тритонами водородоподобные атомы малого радиуса $a_\mu \sim \hbar^2/(m_\mu e^2) \sim 2 \cdot 10^{-11}$ см¹. К такой маленькой нейтральной системе другой дейтрон или тритон может приблизиться на столь малое расстояние, что реакции (1) идут уже с достаточно большой вероятностью. Беда одна — мюоны неустойчивы (в покое их среднее время жизни $\tau \sim 2 \cdot 10^{-6}$ с). Поэтому каждый μ^- -мюон до распада может катализировать лишь ограниченное число реакций. Для того чтобы мюонный ядерный катализ был энергетически эффективен, т.е. на этом принципе

¹Напомним выражение для боровского радиуса атома водорода: $a_0 = \hbar^2/(me^2) \sim 5 \cdot 10^{-9}$ см, где m — масса электрона. Если электрон заменить на частицу с массой m_μ , то как раз и получается проведенная оценка для a_μ (масса мюона $m_\mu = 207m$).

можно было бы создать ядерный реактор, нужно обеспечить катализ одной μ^- -частицей сотен $d + t$ -реакций. Быть может, такой выход реакций достигим [3].

В марте 1989 г. возникла сенсация. Две американские группы авторов объявили об осуществлении холодного ядерного синтеза в палладии. Давно известно, что палладий (а также, например, титан) может «поглощать» (растворять) очень большое количество водорода, как легкого, так и тяжелого. Авторы работы [3] утверждали, что в определенных условиях (при электролизе) в насыщенном дейтерием палладии в заметном количестве идут $d + d$ -реакции (1). Однако многочисленные проверки не подтвердили этих результатов (во всяком случае, на таком пути нельзя рассчитывать на возможность создания энергетических установок [105]).

Наконец, одно общее замечание. Еще в 1985 г. проблема управляемого ядерного синтеза представлялась мне «особенно важной и интересной», главным образом в связи с ее перспективностью как практически неиссякаемого источника энергии (по-видимому, такое мнение было всеобщим или почти всеобщим). Авария в Чернобыле (1986 г.) заставила задуматься о проблеме ядерной энергетики в целом. Разумеется, вопрос особенно остро стоит в отношении безопасности и отходов для ядерных реакторов с делящимися элементами. Однако и термоядерные реакторы небезопасны. В известных их вариантах должен использоваться радиоактивный тритий, а создаваемое реактором нейтронное излучение, даже если не применять с целью повышения КПД «бланкетов» из делящихся элементов, приводит к наведенной радиоактивности [106]. Кроме того, в известных вариантах термоядерные реакторы (речь идет о токамаках) должны быть крайне громоздкими и сложными. Все это побуждает обратить еще большее внимание на альтернативные источники энергии (в первую очередь на использование энергии Солнца). На этот счет сделано также замечание на с. 292 настоящего сборника. Но, как бы там ни было, проблема управляемого ядерного синтеза все равно не может быть исключена из нашего «списка».

§ 2. Высокотемпературная сверхпроводимость.

Сверхдиамагнетизм

Высокотемпературные сверхпроводники были открыты (или, лучше сказать, созданы) лишь в 1986—1987 гг. Поэтому об этом факте в [I] (т.е. в предыдущем издании сборника) речи быть не могло. Проблемой высокотемпературной сверхпроводимости я занимаюсь с 1964 г., это мой «научный фаворит». Поэтому, естественно, в [I] этот вопрос был освещен более подробно, чем другие. Представляется целесообразным (и, если угодно, занимательным) в настоящем издании сначала полностью повторить текст [I] (за исключением ряда ссылок на литературу), отражающий состояние вопроса на 1985 г., а уже затем сделать дополнительные замечания.

Текст 1985 г. (см. [I])

Сверхпроводимость была открыта в 1911 г. и долгие годы оставалась не только необъясненным явлением (пожалуй, самым загадочным в области макрофизики), но и не находила почти никакого практического применения. Последнее объясняется в первую очередь тем, что сверхпроводимость вплоть до настоящего времени наблюдается только при низких температурах. Так, у первого по времени обнаружения сверхпроводника — ртути — критическая температура $T_c = 4,15$ К. Одно из наивысших известных значений $T_c = 21$ К имеет сплав Nb—Al—Ge, изученный лишь в последние годы. В 1973 г. было установлено, что для Nb₃Ge критическая температура $T_c = 23,2$ К (более известно соединение Nb₃Sn с $T_c = 18,1$ К, сверхпроводимость которого была обнаружена в 1954 г.). При температурах, близких к T_c (но, конечно, меньших ее, так как по определению при $T > T_c$ металл перестает быть сверхпроводящим), использовать сверхпроводник особенно трудно. Достаточно

сказать, что в этой области критическое магнитное поле H_c и критический ток I_c (т.е. поле и ток, разрушающие сверхпроводимость) весьма малы (при $T \rightarrow T_c$ значения H_c и I_c стремятся к нулю). В силу сказанного в настоящее время сверхпроводники используют, лишь применяя в качестве охладителя гелий (точка кипения при атмосферном давлении $T_k = 4,2$ К), поскольку жидкий водород (точка кипения $T_k = 20,3$ К) при $T_n = 14$ К уже затвердевает (твердое же вещество использовать в качестве охладителя, вообще говоря, и нелегко, и неудобно).

Еще лет тридцать пять назад и гелия мало добывали (его дефицит, впрочем, ощущается и сейчас), и техника ожижения была несовершенной. В результате во всем мире имелось лишь небольшое число маломощных гелиевых ожижителей. Применение сверхпроводников для создания сверхпроводящих магнитов (а это до сих пор важнейший прибор, в котором используются сверхпроводники) в не меньшей степени ограничивалось также низкими значениями H_c и T_c для известных ранее материалов (для ртути поле $H_c \approx 400$ Э даже при $T \rightarrow 0$).

В самом начале 60-х годов положение, однако, радикально изменилось. Получить жидкий гелий из газообразного теперь не проблема. Там, где это дело налажено, ожижителей в лабораториях и институтах вообще не устанавливают, а по телефону заказывают у специальной фирмы нужное количество жидкого гелия. Преодолен и «магнитотокковый барьер» — получены сверхпроводящие материалы, из которых можно делать магниты с полем H_c , достигающим сотен килоэрстед (у упомянутого сплава ниобия, алюминия и германия с $T_c \approx 21$ К сверхпроводимость исчезает лишь в поле $H_c \approx 400$ кЭ; рекордное зафиксированное значение H_c достигает 600—700 кЭ). У используемых на практике материалов пока, правда, критические поля и токи не столь велики, чтобы построить магнит на 300—400 кЭ. Но это, видимо, лишь дело технологии, техники. По-видимому, нет никаких обстоятельств принципиального характера, мешающих созданию при гелиевых температурах магнитов, скажем, на 300 кЭ¹. Напротив, принципиальный и неясный момент — крайне соблазнительная возможность создания высокотемпературных сверхпроводников, т.е. металлов, остающихся сверхпроводящими при температурах жидкого азота (для азота температура кипения $T_k = 77,4$ К), а еще лучше и при комнатной температуре.

Автор уже подробно останавливался на современном состоянии проблемы высокотемпературной сверхпроводимости в гл. 1 сборника [4]. Поэтому ограничимся лишь несколькими замечаниями, тем более что радикально нового за последние годы в обсуждаемой области не произошло (некоторые оговорки на этот счет — в конце параграфа).

Сверхпроводимость возникает, если электроны в металле вблизи поверхности Ферми притягиваются друг к другу, в силу чего они образуют пары, которые претерпевают нечто подобное бозе-эйнштейновской конденсации. Критическая температура для сверхпроводящего перехода T_c пропорциональна энергии связи электронов в паре и, грубо говоря, определяется двумя факторами — силой притяжения (связи), которую можно характеризовать неким параметром g , и шириной $k\Theta$ той области энергий вблизи поверхности Ферми, где еще имеет место притяжение между электронами. При этом

$$T_c \sim \Theta e^{-1/g}. \quad (3)$$

Описанная модель — это модель, исследованная Бардиным, Купером и Шриффером (БКШ) в 1957 г.

Для большинства известных сверхпроводников $g \lesssim 1/3 \div 1/4$ (формула (3) непосредственно применима как раз при $g \ll 1$). Температура Θ в (3) зависит от механизма,

¹Получение сверхпроводников с высокими значениями H_c и I_c стало возможным в основном вследствие большой экспериментальной и технологической работы. Теория здесь — особенно если говорить о больших критических токах — не играла определяющей роли. Ряд других достижений в области изучения сверхпроводимости был, напротив, инициирован теоретическими соображениями. К успеху, таким образом, ведут в разных случаях совершенно различные пути.

приводящего к притяжению между электронами. В известных сверхпроводниках этот механизм, видимо, определяется взаимодействием электронов с решеткой. В этом случае $\Theta \sim \Theta_D$, где Θ_D — дебаевская температура, физический смысл которой ясен из того, что $k\Theta_D$ — энергия самых коротковолновых фононов в твердом теле ($k = 1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/К — постоянная Больцмана). Длина волны таких фононов $\lambda \sim a \sim 3 \cdot 10^{-8}$ см (a — постоянная решетки) и $k\Theta_D \sim \hbar\omega_D$ ($\omega_D \sim u/a \sim 10^{13} \div 10^{14}$ с $^{-1}$, где $u \sim 10^5 \div 10^6$ см/с — скорость звука). Таким образом, $\Theta_D \sim 10^2 \div 10^3$ К.

При $\Theta_D = 500$ К и $g = 1/3$ согласно формуле (3) $T_c \sim \Theta_D e^{-3} = 25$ К, а вообще для фононного механизма $T_c \lesssim 30 \div 40$ К (к такому же выводу приводит и значительно более тщательный анализ [4]). Тем самым, с одной стороны, возможности повышения T_c традиционными методами (создание новых сплавов, их обработка) еще, видимо, далеко не исчерпаны (мы уже не говорим о веществах типа металлического водорода; см. § 3). С другой стороны, представляется понятным, почему трудно, а скорее всего и невозможно, создание на основе фононного механизма подлинно высокотемпературных сверхпроводников с $T_c \gtrsim 80 \div 300$ К (здесь опять оставляем в стороне металлический водород).

Надежды на получение высокотемпературных сверхпроводников связываются в первую очередь с использованием экситонного механизма притяжения между электронами. Суть дела состоит в том, что в твердом теле помимо волн решетки (или на квантовом языке — фононов) могут существовать возбуждения электронного типа — экситоны. В молекулярных кристаллах наглядным образом таких экситонов является возбужденное состояние молекулы, «перескакивающее» с молекулы на молекулу и, следовательно, бегущее по кристаллу. В полупроводниках экситоны в простейшем случае — это электрон и дырка, связанные друг с другом кулоновскими силами и образующие поэтому квазиатом, аналогичный атому позитрония. Энергия возбуждения (связи), отвечающая таким экситонам (речь идет об экситонах электронного типа; экситонами иногда называют и другие возбуждения), лежит обычно в пределах от сотых долей электронвольта до нескольких электронвольт. Обмен экситонами, подобно обмену фононами, может приводить к притяжению между электронами проводимости. В этом случае, однако, в формуле типа (3) температура $\Theta \sim E_\epsilon/k \sim 10^3 \div 10^5$ К (здесь E_ϵ — энергия экситона; энергии $E_\epsilon \sim 1$ эВ отвечает температура $\Theta \sim 104$ К). Поэтому если бы удалось обеспечить за счет обмена экситонами достаточно сильное притяжение между электронами ($g \gtrsim 1/4 \div 1/5$), то значения критической температуры оказались бы большими. Известно несколько путей решения проблемы, на которых можно надеяться использовать экситонный механизм. Один из них, на который я довольно долгое время (начиная с 1964 г.) возлагал наибольшие надежды, связан с применением слоистых соединений и «сэндвичей» — тонких металлических слоев с диэлектрическими обкладками.

Весьма интересные сверхпроводящие слоистые соединения действительно обнаружены [4], но высокая критическая температура у таких соединений, как и в случае «сэндвичей», не достигнута. Не удалось создать сверхпроводники с большими критическими температурами и при других подходах к решению проблемы. Из них мне сейчас наиболее обещающим представляется использование так называемых полуметаллов (или легированных полупроводников), обладающих структурными фазовыми переходами (см. [4, гл. 5]). Правда, масштаб и уровень соответствующих исследований никак не назовешь впечатляющими, особенно по сравнению с усилиями, которые тратятся на создание моделей термоядерных реакторов или на постройку ускорителей. Причина, по-видимому, заключается в том, что теория не в состоянии выдвинуть вполне конкретных и простых рекомендаций, где искать высокотемпературные сверхпроводники, и, главное, не в состоянии дать каких-то гарантий успеха.

С другой стороны, для создания высокотемпературных сверхпроводников, быть может, вовсе не нужен какой-то сверхсложный синтез новых веществ и не исключена возможность добиться успеха сравнительно скромными (хотя и современными) средствами.

Поэтому я не очень удивился бы, если бы прочел о создании высокотемпературного сверхпроводника в очередном номере физического журнала (другое дело, что в этом случае, по всей вероятности, возникла бы сенсация, и о новостях мы узнали бы из газет или радиопередач). Но не менее вероятно, что высокотемпературные сверхпроводники создать очень трудно, а в принципе и невозможно. Поэтому, как обычно в подобных условиях, наряду с оптимистическими оценками ситуации встречаются и весьма пессимистические.

Имея в виду период после 1977 г., отмечу следующее. Теоретически удалось показать [4, 5], что выдвигавшееся возражение общего характера против возможности достижения больших значений T_c не является правильным. В общем можно сказать, что нам в настоящее время неизвестны какие-либо препятствия или возражения принципиального характера, опровергающие оценку $T_c \lesssim 300$ К и, следовательно, «закрывающие» возможность создания высокотемпературных сверхпроводников. Вместе с тем становится все более ясным, что достижение этой цели, если и возможно, то все же в весьма специальных условиях.

В области эксперимента нужно особо отметить, пожалуй, открытие металлической проводимости (и сверхпроводимости с $T_c \approx 0,3$ К) в полимерном нитриде серы $(\text{SN})_x$, не содержащем, очевидно, атомов металла. Тем самым доказано, что отличной от нуля проводимостью при $T \rightarrow 0$ (т.е. по определению этого термина — металлической проводимостью) могут обладать вещества значительно более широкого класса, чем ранее предполагалось.

Интересно искать новые металлические проводники и сверхпроводники среди веществ, содержащих легкие атомы (в частности, среди органических соединений), поскольку для таких веществ имеются причины ожидать повышения T_c [4]. В 1980 г. органические сверхпроводники действительно удалось создать. Правда, в первом наблюдавшемся случае — в кристалле $(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$ (полное название ditetramethyltetraselenafulvalene) — металлическая фаза при достаточно низких температурах существует лишь при давлениях около 10 кбар и критическая температура сверхпроводящего перехода $T_c \sim 1$ К. Вскоре была обнаружена сверхпроводимость ряда других кристаллов типа $(\text{TMTSF})_2\text{X}$, причем в случае $\text{X} = \text{ClO}_4$ сверхпроводящая фаза имеется и при отсутствии давления. Изучение органических сверхпроводников происходит бурными темпами, и уже в 1982 г. этой проблеме были посвящены целые обзоры. Несомненно, соответствующий круг вопросов очень интересен даже независимо от возможности получения вещества с большими значениями T_c . Вместе с тем органические сверхпроводники по-прежнему привлекают к себе внимание и в плане создания высокотемпературных сверхпроводников.

Не останавливаясь, естественно, на некоторых опровергнутых сообщениях об обнаружении сверхпроводимости при довольно высоких температурах, упомянем об одной из сенсаций 1978 г. — сообщениях об обнаружении «сверхдиамагнетизма»¹ в соответствующим образом приготовленном и находящемся под давлением в несколько килобар хлориде меди CuCl . При этом эффект («сверхдиамагнетизм») наблюдался при температурах, достигающих 150–200 К.

В 1980 г. аналогичное поведение было обнаружено в некоторых образцах сульфида кадмия CdS . С тех пор было опубликовано еще несколько статей, в которых подтверждается наличие диамагнитных аномалий в CuCl и CdS в случае наличия примесей и при каких-то иных, еще недостаточно ясных условиях. Довольно широко, по-видимому, распростране-

¹В толщу идеального сверхпроводника достаточно слабое магнитное поле не проникает (это свойство называют эффектом Мейсснера). Формально можно сказать, что при эффекте Мейсснера магнитная восприимчивость, как и в случае идеального диамагнетика, равна $\chi_{id} = -1/(4\pi)$. В обычных диамагнитных веществах $\chi \sim -(10^{-4} \div 10^{-6})$. Сверхдиамагнетиками я называю (думаю, это уместно) вещества, для которых χ сравнимо с $\chi_{id} = -1/4\pi$, скажем, если $\chi \sim -(0,01/4\pi \div 0,1/4\pi)$. Как ясно из текста, сверхпроводники являются сверхдиамагнетиками, но обратное утверждение может быть и несправедливо. Ссылки на соответствующую литературу приведены в [I] и в статье [6].

но мнение, что речь идет о каких-то экспериментальных ошибках, т.е. что подлинный сверхдиамагнетизм не наблюдался. Автору это кажется маловероятным, но, несомненно, пролить свет на истинное положение вещей могут лишь дальнейшие эксперименты.

Если бы сверхдиамагнетизм в CuCl и CdS действительно наблюдался, то он мог бы оказаться следствием появления высокотемпературной сверхпроводящей фазы, возникновение которой возможно в принципе при переходе в сверхпроводящее состояние некоторых полупроводников или полуметаллов (см. [4, гл. 5]). Возможны в принципе и другие типы высокотемпературных сверхпроводников (поверхностная сверхпроводимость, «сэндвичи» и т.д.), которые могли бы реализоваться в CuCl и CdS.

Возникла, однако, и совсем иная гипотеза: могут существовать полупроводники с магнитной структурой, конкретно — со спонтанными токами орбитального типа, обладающие сверхдиамагнетизмом (т.е. значениями $\chi \sim -(10^{-2} \div 10^{-3})$ и даже близкими к $\chi_{id} = -1/(4\pi)$). Такие сверхдиамагнетики родственны антиферромагнетикам орбитального типа (в которых намагничение подрешеток обусловлено не упорядочением спинов, а орбитальными токами), но отличаются от них конфигурацией орбитальных токов. Эта конфигурация такова, что при отсутствии внешнего магнитного поля магнитный момент спонтанных токов равен нулю, но имеется так называемый тороидный момент (примером такой токовой конфигурации может служить ток в соленоиде, свернутом в тор, причем с такой обмоткой, что азимутальный ток отсутствует и поле полностью сосредоточено внутри тора). В таких веществах, помещенных во внешнее магнитное поле, доминирует диамагнитное намагничение, причем может наблюдаться сверхдиамагнетизм [5, 11]. Возможно, что именно так и обстоит дело в случае упомянутых образцов CuCl и CdS.

Изучение сверхдиамагнетиков, этого нового класса веществ, несомненно, представляет большой физический интерес, причем совершенно независимо от проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Как было сказано, еще не исключено, что в CuCl и CdS все же наблюдалась высокотемпературная сверхпроводимость. Но если в соответствующих экспериментах был обнаружен другой эффект (сверхдиамагнетизм полупроводников) или даже были допущены какие-то экспериментальные ошибки, это ни в какой мере, конечно, не способно опровергнуть возможность существования высокотемпературных сверхпроводников. Вопрос открыт, и попытки ответить на него представляются исключительно увлекательными.

Дополнительные замечания (1990 г.)

Текст издания 1985 г. был, как уже сказано, воспроизведен выше без изменений, поскольку это позволяет помимо прочего сохранить историческую перспективу. Впрочем, в своей собственной работе и, как следствие, в [I] я упустил из виду, недооценил важный результат, впервые опубликованный еще в 1975 г. Именно уже тогда было обнаружено, что проводящая керамика с составом $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ становится сверхпроводящей, причем максимальное значение $T_c \approx 13$ К достигается при $x = 0,25$. Подобная, сравнительно высокая критическая температура для плохопроводящей в нормальном состоянии металлокерамики не является ординарной и привлекла значительное внимание. Забегая вперед, заметим, что в 1988 г. было показано, что для металлокерамики $\text{Ba}_{0,6}\text{K}_{0,4}\text{BiO}_3$ критическая температура $T_c = 30$ К, но «высокотемпературный бум» начал зарождаться раньше: после обнаружения в 1986 г. того факта, что для керамики типа La—Ba—Cu—O при некоторых концентрациях инградиентов $T_c \approx 30 \div 40$ К. Правда, в первых опытах [7] не было показано, что сопротивление в предполагаемой сверхпроводящей фазе действительно равно нулю, т.е. наблюдалась именно сверхпроводимость. Но вскоре выяснилась реальность открытия высокотемпературной сверхпроводимости с $T_c \approx 30 \div 40$ К (с тех пор и до настоящего времени и такие сверхпроводники, а не только материалы с $T_c > 77$ К называют высокотемпературными). Типичный пример, исследованный в начале 1987 г., это сплав

$\text{La}_{1,8}\text{Sr}_{0,2}\text{CuO}_4$, для которого $T_c = 36,2 \text{ K}$ (фактически T_c зависит от количества кислорода, и поэтому часто пишут не O_4 , а O_{4-y} ; мы не будем входить в эти детали). Любопытно, что керамика точно такого состава (в числе многих других) была получена и исследована в СССР еще в 1978 г. [8]. Однако авторы не имели под рукой жидкого гелия и, так или иначе, не измеряли сопротивление своих образцов при гелиевых температурах (или хотя бы в жидком неоне, который при атмосферном давлении кипит при $T_k = 27,2 \text{ K}$). Поэтому, конечно, сверхпроводимость обнаружена не была (хороший урок на будущее!). В начале 1987 г. была наконец открыта «настоящая» высокотемпературная сверхпроводимость с $T_c \approx 80 \div 90 \text{ K}$ для керамики с составом $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$. Главное здесь — замена La на Y. Отсылая за некоторыми подробностями к [6, 9], заметим, что с февраля—марта 1987 г. и начались лихорадочные поиски все новых высокотемпературных сверхпроводников. При этом помимо керамики $\text{Ba}_{0,6}\text{K}_{0,4}\text{BiO}_3$, к тому же обладающей относительно небольшим значением T_c , все остальные известные высокотемпературные сверхпроводники содержат Cu и O, причем являются слоистыми, сильно анизотропными материалами. К началу 1991 г. наивысшей температурой $T_c \approx 124 \text{ K}$ обладают соединения типа Tl—Ba—Ca—Cu—O . Правда, есть сообщения о получении обычно неустойчивых и невоспроизводимых соединений и с еще большими T_c . Главные интригующие всех вопросы заключаются сейчас в том, необходимо ли для достижения больших T_c присутствие Cu и какие максимальные значения T_c могут быть достигнуты. Конкретно, могут ли быть получены «комнатнотемпературные» сверхпроводники? Вопрос о природе полученных высокотемпературных сверхпроводников остается неясным. Возможно, а по моему мнению, и весьма вероятно, что речь идет о модели типа БКШ, правда, с весьма небольшими парами. Но появились или, лучше сказать, вновь привлекли внимание и некоторые другие модели — в особенности модель Шафроса (очень маленькие пары, претерпевающие бозе-эйнштейновскую конденсацию) и модель «резонансной валентной связи». В этой последней модели «сверхпроводит» некоторая «спиновая жидкость». Как сказано, думаю все же, что правильна в основном модель БКШ, причем при $T_c > 77 \text{ K}$ роль играет экситонный механизм [4, 6]. Однако неясности остаются. Здесь нет никакой возможности останавливаться на этих вопросах подробнее (см. [10]), но, несомненно, проблема высокотемпературной и тем более комнатнотемпературной сверхпроводимости остается одной из важнейших в нашем списке.

§ 3. Новые вещества (проблема создания металлического водорода и некоторых других веществ)

На Земле существует в природных условиях или получено искусственно огромное количество различных веществ (химических соединений, сплавов, растворов, полимеров и т.д.). Создание новых веществ, вообще говоря, относится к области химии или технологии, но не составляет физической проблемы. Однако это не так, когда речь заходит о совсем необычных (если угодно, экзотических) веществах. К этим веществам до 1986—1987 гг. можно было причислять высокотемпературные сверхпроводники, а сейчас отнести к ним «комнатнотемпературные» сверхпроводники и, например, гипотетические кристаллы с плотноупакованными структурами, которые обладали бы (если бы их удалось создать!) исключительно высокими механическими и термическими свойствами. Так, плотноупакованный углерод («сверхалмаз») обладал бы твердостью (модулем упругости), на порядок превосходящей твердость алмаза. К сожалению, автор не знает современного состояния этой проблемы и в какой мере она реальна (т.е. может ли она считаться физической проблемой; см., однако, [107]). Но заведомо имеется одно «новое вещество», создание и изучение которого составляет важную и интересную проблему; кстати, она привлекает к себе большое внимание. Речь идет о металлическом водороде.

Как известно, в обычных условиях (скажем, при атмосферном давлении) водород состоит из молекул, кипит при температуре $T_k = 20,3$ К и затвердевает при температуре $T_n = 14$ К. Плотность твердого водорода $\rho = 0,076$ г/см³, и он является диэлектриком. Однако при достаточно сильном сжатии, когда внешние атомные оболочки оказываются раздавленными, все вещества должны переходить в металлическое состояние. Грубую оценку плотности металлического водорода можно получить, если считать, что в нем расстояние между протонами порядка боровского радиуса $a_0 = \hbar^2(me^2) = 0,529 \cdot 10^{-8}$ см. Отсюда $\rho \sim Ma_0^{-3} \approx 10$ г/см³ (здесь $M = 1,67 \cdot 10^{-24}$ г — масса протона). Расчеты, хотя и не вполне надежные, приводят к меньшей плотности; например, согласно одной из работ молекулярный водород находится в термодинамическом равновесии с металлическим водородом при давлении $\rho = 2,60$ Мбар, когда плотность металлического водорода $\rho = 1,15$ г/см³ (плотность молекулярного водорода при этом $\rho = 0,76$ г/см³). Возможно, металлический водород является сверхпроводящим, причем с высоким значением T_c , достигающим 100—300 К (для металлического водорода дебаевская температура $\Theta_D \sim 3 \cdot 10^3$ К; поэтому по формуле (3) при параметре $g < 1/2$ температура $T_c \lesssim 500$ К).

Получение такого простейшего в некотором отношении металла, как металлический водород, и определение для него критической температуры T_c представляют не только очевидный физический интерес, но могут иметь актуальное астрофизическое значение (достаточно сказать, что большие планеты, такие, как Юпитер и Сатурн, в значительной своей части должны содержать металлический водород). Но еще несравненно важнее то, что металлический водород может оказаться устойчивым (хотя, конечно, и метастабильным) даже при атмосферном давлении. Существование подобных, вполне устойчивых метастабильных модификаций общеизвестно (примером может служить алмаз, который при низких температуре и давлении обладает более высокой свободной энергией, чем графит). В отношении металлического водорода вопрос о его устойчивости в отсутствие давления, как свидетельствуют некоторые расчеты, также решается положительно, но остается неясным, будет ли это состояние жить достаточно долго.

Независимо от вопроса об устойчивости и длительности существования метастабильного состояния теоретическое исследование возможной структуры металлического водорода привело к интересным и неожиданным результатам; так, согласно некоторым расчетам, при низком давлении металлический водород должен иметь нитевидную структуру без упорядочения вдоль нитей, т.е. должен обладать только двумерной периодичностью (нити образуют треугольную решетку в перпендикулярной к ним плоскости). Под давлением водород может перейти в жидкое состояние еще до достижения равновесного давления (давления, при котором сосуществуют металлический и молекулярный водород); в этом случае, очевидно, твердый молекулярный водород будет под давлением переходить в жидкий металлический водород. Возможно, однако, что жидкому состоянию отвечают давления, большие равновесного. В других работах получены, правда, иные выводы, и в целом вопрос о структуре металлического водорода остается открытым (отметим возможность существования жидкой сверхпроводящей фазы).

Дальнейшее продвижение в области изучения металлического водорода вряд ли возможно без эксперимента — без попыток его создать (впрочем, необходимо также точнее определить параметры молекулярного водорода при высоком давлении). Может оказаться интересным и исследование различных сплавов металлического водорода с более тяжелыми элементами. Так, было отмечено, что можно надеяться на снижение давления металлизации молекулярного водорода как раз в результате добавления некоторых примесей, а также создания электронно-дырочных пар путем лазерного облучения или каким-либо иным методом. Так или иначе, проблема металлического водорода, как легкого, так и тяжелого (т.е. дейтерия), принадлежит к числу особенно актуальных. В случае же «удачи», если металлический водород окажется достаточно устойчивым (долгоживущим) при

малом давлении, да к тому же еще и сверхпроводящим, получение и исследование металлического водорода станет одной из основных задач в области макроскопической физики.

К сожалению, попытки получить металлический водород в квазиравновесных условиях связаны с необходимостью создания в некотором объеме давлений, превосходящих 1–2 Мбар. Известные же материалы, включая алмаз, не выдерживают, вообще говоря, таких нагрузок, и поэтому очень трудно сделать камеру, в которой водород сжимался бы до нужного давления (тем не менее именно создание таких камер — anvil cells — оказалось наиболее прогрессивным методом). Один из путей преодоления этой трудности состоит в получении сверхвысоких давлений в области небольшого контакта между заостренной (конусообразной) и плоской «наковальнями», сделанными из алмаза или на основе алмаза. Применялись и применяются и другие методы, однако в целом задача ни в коей мере не решена, и, когда будет получен «кусочек» металлического водорода, сказать трудно. Недавно в этой области были достигнуты успехи с помощью как раз алмазной камеры (anvil cell), причем предполагается получить давление до 3 Мбар. Пока же достигнуто лишь меньшее давление (не подтвердилось) указание [101] на металлизацию водорода.

Создание или использование веществ с невиданными свойствами — одна из излюбленных тем для авторов фантастических романов. В этом случае, видимо, все возможно. Но не подтвердившиеся в дальнейшем сообщения об открытии совсем необычных веществ появлялись и на страницах вполне серьезных научных журналов (примером может служить утверждение о существовании полимерной, или сверхплотной, воды). Объясняется это, с одной стороны, тем, что во многих случаях очень трудно выяснить состав и свойства вещества, получаемого в крайне малых количествах, на очень короткое время (например, при взрыве) или, скажем, под очень высоким давлением. С другой стороны, сказывается, конечно, стремление авторов «не упустить» великое открытие. Существующие примеры поучительны, в частности, как напоминание о необходимости любое открытие считать окончательно установленным лишь после многократной и всесторонней проверки.

§ 4. Некоторые проблемы физики твердого тела

В разделе «Список «особенно важных и интересных» проблем» уже шла речь о том, что за последние годы в физике твердого тела, даже если не касаться сверхпроводимости (см. § 2), произошли очень большие изменения (в общем они назревали и ранее). Поэтому в сочетании с нежеланием кардинально перерабатывать настоящую статью я отказался от попытки должным образом осветить соответствующую проблематику. Нужно было бы, пожалуй, остановиться: на переходах металл — диэлектрик; вопросе о спиновых стеклах, волнах зарядовой и спиновой плотности; на аномальном (квантовом) эффекте Холла; на проблеме неупорядоченных систем и особенностях низкоразмерных систем; на мезоскопике (на исследовании «образцов», можно сказать, промежуточных между макроскопическими и микроскопическими, — практически речь идет о микрометрах и долях микрометра); на физике сверхрешеток и кое о чем еще, например на твердых веществах с икосаэдрической симметрией [12]; на теоретических расчетах свойств твердых тел на основе минимума исходных предположений [13]. Все эти успехи сопровождаются (а частично являются) продуктом прогресса экспериментальной техники; примером могут служить сканирующие туннельные микроскопы и микроскопы, основанные на измерении атомных сил (atomic force microscope) [14]. Итак, мы оставляем за бортом целую область (ряд ссылок на литературу см. в [I]).

В предыдущем издании статьи некоторые из упомянутых проблем также перечислялись, но изложение было сосредоточено на электронно-дырочной жидкости в полупроводниках. Эта проблема, родившаяся 20 лет назад, сейчас в целом хорошо исследована [15] и как-то сошла с авансцены. Вместе с тем физика дела вполне любопытна, в силу чего я решил сохранить некоторые пояснения на этот счет, имевшиеся в предыдущем издании.

Если в полупроводнике имеются электроны и дырки (скажем, созданные в результате освещения), то при достаточно низкой температуре они должны соединиться в уже упоминавшиеся экситоны — в данном случае водородоподобные «атомы», родственные позитронию. В первом приближении энергия связи и радиус таких экситонов в основном состоянии таковы:

$$\begin{aligned} E_{0э} &\sim \frac{e^4 m_{эф}}{2\varepsilon^2 \hbar^2} = \frac{E_0 m_{эф}}{m\varepsilon^2}, \\ a_{0э} &\sim \frac{\hbar^2 \varepsilon}{m_{эф} e^2} = \frac{a_0 \varepsilon m}{m_{эф}}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $E_0 = e^4 m / (2\hbar^2)$ и $a_0 = \hbar^2 / (m e^2)$ — известные выражения Бора для энергии и радиуса атома водорода, $m_{эф}$ — эффективная масса электрона и дырки (здесь эти массы считаются равными, а анизотропия не учитывается), ε — диэлектрическая проницаемость полупроводника.

Поскольку в ряде случаев $\varepsilon \gtrsim 10$, а $m_{эф} \lesssim 0,1m$, становится ясным, что радиус экситонов $a_{0э} \gtrsim 10^{-6}$ см, а их энергия $E_{0э} \lesssim 10^{-2}$ эВ ~ 100 К¹. Очевидно, эти изменения параметров (по сравнению с атомом водорода) связаны с ослаблением кулоновского притяжения в ε раз, а также с малостью эффективной массы $m_{эф}$ (по сравнению с массой свободного электрона m ²).

Как уже упоминалось в связи с проблемой металлического водорода, критерий высокой плотности и металлизации, грубо говоря, сводится к тому, что размер электронной оболочки сравнивается с межъядерным расстоянием. В случае экситонов в полупроводнике это значит, что их совокупность является плотной при концентрации $n_{э} \sim a_{0э}^{-3} \sim 10^{18}$ см⁻³. Таким образом, высокая плотность, достигаемая для водорода при давлениях в миллионы атмосфер, для экситонов отвечает вполне обычной концентрации электронов и дырок в полупроводниках: $n \sim 10^{18}$ см⁻³. Уже одна такая возможность имитировать в полупроводниках сверхвысокие давления делает обсуждаемый вопрос достаточно важным. Это заключение оказывается еще более обоснованным, если задуматься над возможным поведением плотной системы экситонов в полупроводнике. Такая система должна становиться жидкой и образовывать капли. Скорее всего, эти капли представляют собой электронно-дырочный металл, т.е. подобны жидкому металлу, хотя и не исключена полностью возможность их «молекулярного» строения — тогда они аналогичны жидкому водороду, состоящему из молекул H₂ (роль молекул в молекулярной и, следовательно, диэлектрической экситонной «жидкости» играют биэкситоны — два соединившихся друг с другом экситона).

В электронно-дырочной (экситонной) жидкости может в принципе наблюдаться сверхпроводимость или сверхтекучесть. Коротко говоря, экситонная жидкость в полупроводниках должна обладать целым рядом интереснейших свойств и особенностей, зависящих, конечно, от характеристик используемого «контейнера» — полупроводника. В области исследования металлической экситонной жидкости многое уже сделано, особенно в применении к кремнию и германию [15]. Однако, насколько мне известно, еще не наблюдались (а это в принципе возможно) диэлектрическая экситонная жидкость и ее сверхтекучесть, а также сверхпроводимость металлической экситонной жидкости. Заметим также, что, работая с экситонами в полупроводниках, можно моделировать не только сверхвысокие плотности (давления), но и действие сверхсильных магнитных полей. Об этом речь еще пойдет в § 8. Далее, интересно исследование экситонов в двумерных и одномерных системах —

¹Здесь энергия выражена как в энергетических, так и в температурных единицах: $E = 1$ эВ $\sim 10^{-12}$ эрг $\sim kT \sim 10^4$ К, где $k = 1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/К — постоянная Больцмана.

²В интересующих нас случаях радиус экситона $a_{0э} \gg a_0 \sim 5 \cdot 10^{-9}$ см, и именно поэтому взаимодействие между электроном и дыркой можно, вообще говоря, описывать законом Кулона с учетом влияния среды (как известно, в этом случае энергия взаимодействия зарядов $-e$ и $+e$ отвечает притяжению и по абсолютному значению равна $e^2/(\varepsilon r)$, где r — расстояние между зарядами).

на поверхности твердого тела (двумерная или квазидвумерная система) и в различных квазиодномерных образованиях (в длинных полимерах, на границе пересечения граней кристалла, «в усах», или вискерсах, — тонких кристаллических нитях, в дислокациях). В таких системах также могут, вообще говоря, образовываться электронно-дырочные «атомы», причем условие высокой плотности теперь уже будет иметь вид $n_{\text{э}} \sim a_{0\text{э}}^{-2}$ (двумерный случай) или $n_{\text{э}} \sim a_{0\text{э}}^{-1}$ (одномерный случай). Это значит, что в двумерном случае переход к «жидкости» будет происходить уже при концентрации экситонов $n_{\text{э}} \sim 10^{12} \text{ см}^{-3}$ (при $a_{0\text{э}} \sim 10^{-6} \text{ см}$). Кроме того, вопрос о поверхностных экситонах представляет большой интерес с других точек зрения, в частности для проблемы высокотемпературной сверхпроводимости.

Сказанное позволяет думать, что проблема экситонной жидкости в твердых телах, несмотря на уже достигнутое, остается интересной и перспективной. Но, несомненно, сегодня в области физики твердого тела имеются и другие «особенно важные и интересные проблемы», которые были перечислены выше.

§ 5. Фазовые переходы второго рода и близкие к ним переходы (критические явления). Интересные примеры таких переходов

Сверхпроводящий переход, превращение гелия I в сверхтекучий гелий II, возникновение ферромагнитного состояния из парамагнитного, многие сегнетоэлектрические (ферроэлектрические) переходы, ряд превращений в сплавах — таковы широко известные примеры фазовых переходов второго рода. При таких переходах отсутствует выделение (или поглощение) скрытого тепла, нет скачка объема или скачка параметров решетки, т.е. в известном смысле превращение можно считать непрерывным. Вместе с тем в точке перехода наблюдаются скачки теплоемкости, сжимаемости и других величин, а вблизи точки перехода многие из этих величин ведут себя аномальным образом. Так, теплоемкость для перехода гелий I \rightleftharpoons гелий II и для некоторых других переходов неплохо описывается законом $C \sim \ln |T - T_c|$, где T_c — температура перехода (температура λ -точки). Магнитная и диэлектрическая проницаемости в случае соответственно ферромагнитного и сегнетоэлектрического переходов при $T \rightarrow T_c$ стремятся к бесконечности и часто приближенно описываются законом Кюри: $\chi \sim |T - T_c|^{-1}$ (точнее, при $T_c \neq 0$ такая зависимость называется законом Кюри — Вейсса).

Фазовым переходам второго рода близки некоторые переходы первого рода, лежащие на p - T -диаграмме вблизи критической точки, или, как чаще говорят в последнее время, вблизи трикритической точки [16]. Суть дела состоит в том, что при изменении ряда параметров (например, давления) переходы второго рода могут стать переходами первого рода (точка, на p - T -диаграмме, в которой переходят друг в друга фазовые кривые для переходов таких типов, и называется трикритической точкой). К числу таких переходов относятся, например, некоторые сегнетоэлектрические превращения, сверхтекучий переход в смесях ^4He с ^3He . Наконец, переходам второго рода аналогичны критические точки жидкость — пар (газ) и некоторые другие.

Решение проблемы фазовых переходов второго рода (и близких им переходов) состоит, очевидно, в достижении достаточно полного понимания и количественного описания различных явлений вблизи точек перехода. В частности, речь идет о нахождении температурной зависимости всех величин, т.е. их зависимости от разности $T - T_c$.

Непрерывный характер переходов второго рода делает естественным их рассмотрение на основе разложения термодинамических величин (например, термодинамического потенциала) в ряд по некоторому параметру η , обращающемуся при равновесии фаз в нуль, если $T > T_c$. Коэффициенты A, B, C, \dots в соответствующем разложении

$$\Phi = \Phi_0 + A\eta^2 + B\eta^4 + C\eta^6 + \dots \quad (5)$$

в свою очередь разлагаются в ряд по степеням $(T - T_c)$, так что вблизи типичного перехода второго рода $A = A'(T - T_c)$ и $B = B_0 = \text{const.}$ Такой подход, восходящий к Д. У. Гиббсу и И. Д. Ван-дер-Ваальсу, был систематически развит Л. Д. Ландау.

В рамках теории Ландау для восприимчивостей получается закон Кюри $\chi \sim |T - T_c|^{-1}$; спонтанное намагничение M или спонтанная электрическая поляризация P при $T < T_c$ изменяются по закону $M \sim \sqrt{T_c - T}$, $P \sim \sqrt{T_c - T}$ и т.д. Вместе с тем в теории Ландау, в общем, не находит объяснения аномальный температурный ход теплоемкости и других величин при $T \rightarrow T_c$. Кроме того, более детальные измерения показали, что закон Кюри и другие аналогичные соотношения неточны в непосредственной близости к точке перехода, где $\chi \sim |T - T_c|^{-\gamma}$ и $M \sim |T - T_c|^\beta$, причем $\gamma \neq 1$ и $\beta \neq 1/2$.

Теория Ландау приводит к тем же результатам, что и модельные теории (типа ферромагнетизма Вейсса), в которых используется метод самосогласованного (или, как иногда говорят, молекулярного) поля. Ограничения теории Ландау связаны с пренебрежением флуктуациями (это ясно из самой этой теории и из характера приближения самосогласованного поля). Так, в этой теории рассматривается среднее значение, например, намагничения M . Вместе с тем при $T \rightarrow T_c$ эта средняя величина $M \rightarrow 0$, тогда как флуктуации M не только не исчезают, но, напротив, сильно возрастают. Понятно поэтому, что область применимости теории Ландау, различная для разных переходов, есть область сравнительно малости флуктуации [16]. В окрестности же точки перехода, т.е. при достаточной малости разности $|T - T_c|$, необходимо учитывать флуктуации, что и приводит к аномальному ходу теплоемкости, отклонениям от закона Кюри $\chi \sim |T - T_c|^{-1}$ и т.п.

Последовательная теория фазовых переходов второго рода для трехмерных систем еще полностью не построена (см., однако, ниже), хотя на решение этой задачи были затрачены чрезвычайно большие усилия¹. Но они все же отнюдь не пропали даром — в последние годы был получен целый ряд важных результатов. К их числу в первую очередь относятся законы подобия [16], позволившие связать температурные зависимости различных величин вблизи точки перехода T_c . В силу этих законов и при учете некоторых экспериментальных данных удастся, например, предсказать, что при $T \rightarrow T_c$ в ряде случаев магнитная восприимчивость $\chi \rightarrow |T - T_c|^{-\gamma}$, где $\gamma = 4/3$ (вместо $\gamma = 1$ согласно теории Вейсса или Ландау). Более того, так называемые критические индексы (β , γ и т.д.) для систем различных типов удастся довольно точно вычислить и без привлечения опытных данных².

Создание последовательной теории фазовых переходов второго рода и родственных им переходов с учетом отличий, характерных для различных превращений, а также обобщение всех результатов на кинетические процессы вблизи T_c остаются одной из центральных проблем физики твердого тела. Существует, правда, мнение, что главное здесь уже сделано, но это — спорное утверждение. Возможность совершенно точного вычисления, скажем, критических индексов для справедливости такого утверждения, конечно, вовсе не обязательна: в области физики конденсированного состояния сколько-нибудь точное вычисление тех или иных констант или коэффициентов является исключением, а не правилом. Но, безусловно, от теории можно требовать, чтобы она давала возможность единым образом рассматривать все термодинамические и кинетические процессы и явления вблизи точки перехода. При этом некоторые коэффициенты в соответствующих уравнениях могут подбираться на основе экспериментальных данных. Если подойти к теории фазовых переходов даже с такими несколько ограниченными требованиями, то ее нельзя не признать еще далекой от завершения. Даже в термодинамике (не говоря уже о кинетике)

¹Л. Д. Ландау как-то сказал мне, что ни на одну задачу он не потратил столько сил, сколько на попытки решить проблему фазовых переходов второго рода.

²Любопытно, что неприменимость самосогласованной теории типа теории Ван-дер-Ваальса (или теории Ландау в соответствии с более распространенной в настоящее время терминологией) вблизи критической точки в

при использовании критических индексов часто остаются без ответа вопросы об области применимости тех или иных предельных законов при удалении от точек перехода¹. Главное же, обычно ограничиваются рассмотрением однородных сред, между тем как интерес представляют также многочисленные задачи, в которых имеются границы или дефекты, присутствуют неоднородные внешние поля и т.д. Наконец, существует ряд кинетических и динамических задач (течение в жидких кристаллах и в жидком гелии, распространение звука, релаксация ряда величин), которые нужно решать и вблизи точки фазового перехода и которые, более того, приобретают особый интерес именно вблизи этой точки. В свете подобных естественных требований незавершенность теории фазовых переходов выступает вполне выпукло.

Итак, проблема фазовых переходов сохраняет свою выделенность и значимость еще и в плане развития общей теории. Но, кроме того, к этой проблеме, понимаемой в широком смысле, в той или иной мере относят как конкретные переходы, так и некоторые явления вблизи точек перехода.

В качестве примеров приведем две более конкретные задачи, выбор которых из числа других в значительной мере диктуется лишь интересами автора.

Первый пример — поведение гелия II вблизи λ -точки. В теории сверхтекучести Ландау плотность сверхтекучей компоненты гелия ρ_s считается некоторой заданной функцией, скажем, температуры T и давления p . Но в рамках общей теории фазовых переходов второго рода плотность ρ_s нельзя задавать, она должна сама определяться из условия минимума термодинамического потенциала. Такой подход приводит к интересным следствиям — зависимости T_λ и теплоемкости C от толщины пленки гелия II, к неоднородности ρ_s вблизи твердой стенки или вблизи оси вихря в гелии II и т.п. По-видимому, все эти выводы отвечают действительности, но в целом создание теории сверхтекучести гелия II вблизи λ -точки и ее экспериментальная проверка еще далеко не завершены [18].

Второй пример — рассеяние света вблизи точек фазового перехода второго рода, в частности вблизи точки $\alpha \rightleftharpoons \beta$ -превращений в кварце. Поскольку при приближении к T_c флуктуации возрастают, в этой области можно ожидать увеличения интенсивности рассеяния рентгеновских лучей, нейтронов и света. Подобное явление (критическая опалесценция) давно уже известно для случая критической точки жидкость — пар. Резкое повышение интенсивности рассеянного света наблюдается и в кварце вблизи происходящего при температуре $T_c = 846$ К перехода из α - в β -модификацию. Казалось, здесь все в принципе ясно, но в дальнейшем выяснилось, что картина сложнее и не описывается простой теорией (ссылки на литературу см. в [I]).

Сейчас это представляется не столь уж странным, поскольку в первоначальном варианте теории «для простоты» не учитывалось такое отличие твердого тела от жидкости, как возможность существования сдвиговых деформаций. В некоторых случаях (точнее, при изучении ряда эффектов) изотропные твердые тела (например, стекла) и даже кристаллы действительно ведут себя почти так же, как жидкости. Но, разумеется, подобный подход оправдан далеко не всегда. Так, в жидкости поперечные звуковые волны сильно затухают и, можно сказать, не могут распространяться; в твердом же теле «поперечный» звук распространяется, вообще говоря, не хуже «продольного».

Рассеяние света в твердом теле и особенно аномалии этого рассеяния вблизи точек фазовых переходов, как выяснилось, обязательно должны рассматриваться с учетом сдвиговых деформаций [19]. Однако учет этого обстоятельства, позволяющий понять ряд наблюдающихся особенностей при рассеянии света в кристаллах, еще отнюдь не объясняет

¹Например, плотность сверхтекучести компоненты гелия II вблизи λ -точки, которой отвечает температура $T_c = T_\lambda$, записывают в виде $\rho_s(T) = \text{const} \cdot (T_\lambda - T)^{2\beta}$, где критическое значение β близко к $1/3$ (из опытных данных следует, что $2\beta = 0,67 \pm 0,01$). Но какова точность такого выражения для $\rho_s(T)$, особенно при удалении от λ -точки?

автоматически картины рассеяния при $\alpha \rightleftharpoons \beta$ -переходе в кварце. В этом случае (и, видимо, в ряде других родственных случаев) ситуация усложняется в результате появления в узком интервале температур вблизи точки перехода какой-то неоднородной фазы. Вопрос о рассеянии в области $\alpha \rightleftharpoons \beta$ -перехода остается в целом недостаточно ясным как теоретически, так и на опыте. Тем интереснее дальнейшее изучение рассеяния света вблизи точек фазовых переходов в твердых телах, жидких кристаллах и жидкостях (в частности, в жидком гелии). В плодотворности этого направления трудно сомневаться, учитывая уже широкое его развитие и те достижения, которые связаны с изучением рассеяния света в жидкостях и твердых телах вне области фазовых переходов.

Приведенные примеры касаются все же, можно сказать, обыденных, или классических, фазовых переходов. В последнее же время все большее внимание привлекают к себе более «экзотические» переходы, такие, например, как фазовый переход жидкого ^3He в сверхтекучее состояние [20], фазовый переход в атомарном водороде [21], фазовые переходы в экситонном «веществе» в полупроводниках (см. § 4), переход в сверхтекучее состояние в молекулярном жидком водороде [22], переходы на границе кристаллов твердого ^4He и сверхтекучего ^4He и в квантовых кристаллах [23], фазовые превращения в сверхплотном веществе, в частности в нейтронных звездах (см. § 21), и др.

Упомянем также о фазовых переходах в неквантовых жидкостях — в жидких кристаллах, в магнитных веществах (в принципе возможны ферро- и антиферромагнитные переходы в жидкой фазе), о сегнетоэлектрическом переходе в жидкости, о фазовых переходах в твердых телах с образованием «несоизмеримых» (неоднородных) фаз, о фазовых переходах при наличии дефектов, переходах на поверхности и, наконец, о фазовых переходах или различных аномалиях (таких, например, как изменение температурной зависимости магнитной восприимчивости, возникающее в некоторой «точке» T_a) в квазидвумерных и квазиодномерных системах [108]. Каждому из вопросов можно и нужно посвятить отдельную статью. Не буду поэтому даже пытаться что-то пояснить в применении ко всем перечисленным случаям и ограничусь (см., однако, § 6) несколькими замечаниями о жидком ^3He и атомарном водороде.

Возможность того, что в жидком ^3He могут (подобно тому, как это имеет место в сверхпроводниках) образовываться «пары» из двух атомов ^3He , обладающие целым спином, обсуждалась уже довольно давно. Образование пар с целым спином и их последующая бозе-эйнштейновская конденсация должны приводить к сверхтекучести, аналогичной сверхпроводимости (как известно, сверхпроводимость можно считать сверхтекучестью заряженной электронной жидкости в металлах или протонной жидкости в нейтронных звездах). Однако надежно теоретически оценить температуру сверхтекучего перехода в свое время не удалось, и экспериментальные результаты оказались в значительной мере неожиданными.

Так, в 1972 и 1973 гг. выяснилось [20], что в жидком ^3He (правда, под давлением, достигающим 34 атм) происходит даже не один, а два фазовых перехода соответственно при температурах, равных приблизительно $2,6 \cdot 10^{-3}$ и $2,0 \cdot 10^{-3}$ К. Затем было установлено, что при этом имеет место переход в сверхтекучие состояния, отличающиеся друг от друга полным моментом импульса пар.

Притяжение, приводящее к образованию пар, является, по-видимому, в основном обменным (силы такого же типа приводят к ферромагнетизму). Исследования сверхтекучести и других эффектов в жидком ^3He (кстати сказать, этот изотоп является весьма редким — его распространенность в природе на несколько порядков величины меньше распространенности изотопа ^4He) поражают своей тонкостью и размахом [20]. Речь ведь идет о работе в области температур, меньших $3 \cdot 10^{-3}$ К, и об объекте (сверхтекучем ^3He), отличающемся большой сложностью (по сравнению со сверхтекучим ^4He), обусловленной наличием орбитального и спинового моментов. Я склонен думать, что в области физики

конденсированных сред успехи в изучении жидкого ^3He являются, если не говорить об открытии высокотемпературных сверхпроводников, пожалуй, самыми впечатляющими за последние двадцать лет.

Остановимся также на возможном сверхтекучем переходе в газе из атомарного водорода, так как этот пример довольно любопытен [21], хотя и имеет, по-видимому, гораздо меньшее общезначимое значение, чем переходы в ^3He . Газ из атомарного водорода, если его как-то создать, в обычных условиях быстро превратится в газ из молекулярного водорода (H_2). Однако при низкой температуре ($T \lesssim 1 \text{ K}$) в сосуде, стенки которого покрыты сверхтекучим гелием II, газ из атомарного водорода «живет» много минут. Если же, кроме того, поместить газ в достаточно сильное магнитное поле, то стабильность атомарного водорода повышается, и, по-видимому, в достижимых условиях с его рекомбинацией можно не считаться (причина здесь хорошо известна — в молекуле H_2 спины электронов направлены противоположно друг другу; в сильном магнитном поле спины всех электронов направлены в одну сторону, и для образования молекулы H_2 спинов в одном из атомов H необходимо перевернуть, что нелегко сделать). Атомы H с параллельными спинами в основном состоянии отталкиваются (точнее, на больших расстояниях между атомами существует некоторое вандерваальсово притяжение, но оно слабо). Поэтому такой газ при атмосферном давлении не сжижается вплоть до температуры абсолютного нуля. В то же время в бозе-газе атомов H при низкой температуре, зависящей от его плотности, должна произойти бозе-эйнштейновская конденсация, причем образующаяся фаза должна быть сверхтекучей (здесь существенно, что газ не является идеальным, а учет соответствующего взаимодействия как раз и приводит к сверхтекучести). Проблема фазовых переходов, несомненно, остается одним из магистральных направлений в физике.

§ 6. Физика поверхности

Физика поверхности и различных процессов и явлений на поверхности привлекает внимание и развивается не одно десятилетие. Уже из весьма общих соображений ясно, что атомы и электроны на поверхности и вблизи нее находятся в других условиях по сравнению с атомами и электронами в объеме, и поэтому имеются основания думать, что на поверхности возможно существование новых фаз, различных переходов между этими фазами, новых типов и ветвей возбуждений и т.п. При этом под новыми понимаются фазы и возбуждения, отличные от тех, что существуют в объеме. Например, на поверхности (относим сюда и тонкий приповерхностный слой) кристаллическая решетка может иметь другую структуру и (или) параметры, в поверхностном слое может существовать магнитное упорядочение, отсутствующее в объеме при данной температуре, и т.д. Известна и возможность распространения различных поверхностных волн (акустических волн, поляритонов, магнонов). Сюда же примыкают свойства тонких пленок и слоев, в частности мономолекулярных, а также вопрос о поведении на поверхности отдельных атомов, молекул, дефектов и неоднородностей.

В первых трех изданиях настоящей статьи отдельного параграфа «Физика поверхности» не было. Оправдано ли было такое недостаточное внимание (в плане этой статьи) к физике поверхности, является, разумеется, спорным вопросом. Это, впрочем, относится и к ряду других выделенных здесь проблем. Но, так или иначе, в настоящее время особое подчеркивание роли физики поверхности представляется совершенно необходимым. Причина в общем в том, что в последние годы то, что казалось только возможным, становится реальным благодаря прогрессу техники эксперимента. Научились, по крайней мере в ряде случаев, получать очень чистую поверхность и контролировать ее состояние (степень шероховатости и т.п.), появились вновь или были заметно усовершенствованы методы исследования поверхности, приповерхностного слоя, атомов на поверхности

и неоднородностей поверхности (ступенек и т.д.). Упомянем такие методы, как LEED (low energy electron diffraction) — дифракция медленных электронов, ARPS (angle resolved photoemission spectroscopy) — фотоэмиссионная или фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением, неупругое рассеяние ионов с энергией порядка 1 МэВ, электронная микроскопия, туннельная микроскопия, изучение поверхностных акустических волн и поверхностных поляритонов (поверхностных электромагнитных волн). Известны и некоторые другие методы, связанные с использованием света, рентгеновских лучей и нейтронов.

Уже получено очень много результатов. Обнаружено поверхностное магнитное упорядочение. Особого упоминания заслуживают исследования инверсионных слоев на границе Si и SiO₂, свойств электронов на поверхности жидкого гелия и реконструкция ряда кристаллических поверхностей.

При этом под реконструкцией поверхности понимается изменение параметра решетки для атомов, расположенных на поверхности. Например, на поверхности Si (грань (111)) в определенных условиях параметр решетки в семь раз больше, чем в объеме. Возможно, что при рассмотрении явления реконструкции в ряде случаев существен учет роли поверхностных электронных уровней.

Впечатляющими как по масштабам, так и по значению являются исследования фазовых переходов в двумерных и квазидвумерных системах. Проблема эта, собственно, не очень новая, но, так сказать, все время набирает силу. Задачи здесь весьма разнообразны и, естественно, тесно связаны с физикой поверхности.

Упомянем лишь об одном классе таких задач — обнаружении и исследовании поверхностных аналогов объемного (обычного) ферромагнетизма, антиферромагнетизма, сегнетоэлектричества, жидкокристаллического состояния, сверхпроводимости и сверхтекучести. Правда, в двумерных системах некоторые фазовые переходы, в частности появление сверхтекучести и сверхпроводимости, по своему характеру отличны от переходов в трехмерных системах. Конкретно, в двумерной системе не может возникнуть сверхпроводящий или сверхтекучий, а в некоторых случаях и ферромагнитный дальний порядок, т.е. не может возникнуть упорядочение (например, отсутствует параллельность магнитных моментов на сколь угодно больших расстояниях). Однако для конечных, но еще весьма больших макроскопических поверхностей упорядочение возможно. Кроме того, например, сверхпроводимость и сверхтекучесть возможны и в отсутствие дальнего порядка (см. в [1] и [108]). Изучение упорядочения и различных связанных с ним явлений в двумерных, а также в одномерных системах (полимерные цепи, ребра граней и т.д.) привлекает к себе очень большое внимание как в общетеоретическом плане, так и в применении к разнообразным конкретным объектам и условиям. При этом представления о двумерных и одномерных системах не нужно понимать буквально, например как пленку или цепочку толщиной в один атом или молекулу (собственно, даже в таких случаях толщина пленки или цепочки, разумеется, отлична от нуля — она порядка 10^{-8} – 10^{-7} см, а для больших молекул еще больше). Действительно, для пленок толщиной в несколько атомов (например, для пленки, образованной несколькими слоями атомов, осажденными на некоторой «подложке») или даже для более толстого образца, но с подходящей слоистой или нитевидной структурой сохраняются определенные черты двумерных или одномерных систем — в таких случаях часто говорят о квазидвумерности и квазиодномерности. Ясно, что выше имелись в виду и такие системы (см., например, [4]). В общем речь идет и о чистых поверхностях массивных тел, и о различных пленках (в частности, находящихся на различных поверхностях), и о цепочках, ребрах граней и т.д. Нет сомнений в том, что физика поверхности в целом находится на крутом подъеме и принесет много нового.

§ 7. Жидкие кристаллы. Изучение очень больших молекул

В настоящем параграфе объединены две проблемы (точнее, два круга вопросов), на которых мне не хотелось бы подробно останавливаться, но упомянуть о которых представляется необходимым¹.

Жидкие кристаллы — многочисленный класс веществ, которые могут находиться в состоянии, одновременно жидком и анизотропном (в этом жидкокристаллическом состоянии вещество течет, но остается оптически анизотропным), — изучаются уже около 100 лет, но до сравнительно недавнего времени они рассматривались, скорее, как некоторая экзотика: вот ведь что бывает — одновременно и кристалл, и жидкость. В общем это понятно. До тех пор, пока оставались малоизученными простые вещества — твердые и жидкие тела, обладающие сравнительно несложным строением (химическим составом, структурой и т.п.), — было не так уж много надежды разобраться в строении значительно более сложных веществ. В случае жидких кристаллов долгое время не было и дополнительных стимулов, связанных с перспективой важных научно-технических приложений. Но ситуация коренным образом изменилась. «Простое» в области физики твердого тела, а частично и физики жидкостей уже более или менее выяснено, и концентрация внимания на простейших объектах и процессах все чаще может быть уподоблена ситуации, описанной в известном анекдотическом рассказе о поисках пропавших ключей под фонарем только на том основании, что в этом месте светло. К тому же выяснилась не только важность жидких кристаллов для биологии, но и возможность ряда существенных технических применений, связанных с резкой зависимостью ряда свойств этих веществ от температуры и от напряженности внешних электрического и магнитного полей. В результате число работ, посвященных жидким кристаллам, очень сильно возросло, причем они публикуются в самых распространенных и «серьезных» физических журналах, а не только в журналах по физической химии или специальном журнале «Молекулярные кристаллы и жидкие кристаллы», появление которого тоже достаточно симптоматично. Можно указать и на появление ряда обзоров (ссылки см. в [I]; см. также УФН). В физическом плане важно подчеркнуть, что в жидких кристаллах происходит ряд фазовых переходов, а жидкокристаллические пленки служат примером квазидвумерных систем. Поэтому исследование жидких кристаллов позволяет изучать некоторые довольно общие вопросы физики фазовых переходов в трехмерных и двумерных системах.

Во введении уже были упомянуты причины, в силу которых мы в этой статье в общем не касаемся биологических вопросов, несмотря на их исключительную важность. Упоминание об имеющих в основном биологическое значение очень больших, можно сказать гигантских, молекулах (белки, нуклеиновые кислоты), которое здесь все же имеется, связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, такие макромолекулы занимают некоторое промежуточное место между «обычными» молекулами и конденсированной средой или капельками и нитями из конденсированной среды. С известными оговорками к макромолекулам могут быть применимы понятия о фазовых переходах, упорядочении, зонах проводимости и т.д. (родственным является и вопрос о так называемых диссипативных структурах [24]). Во-вторых, насколько я могу судить, еще имеется большое отставание (по сравнению с некоторыми другими областями физики) в отношении разработки эффективных методов анализа строения гигантских молекул, в частности в условиях, когда их очень мало и они находятся в растворе или смеси с другими молекулами. Потенциальная

¹Последнее можно сказать и о такой старой или, скорее, даже древней проблеме, как природа шаровой молнии. Спектр предлагаемых объяснений этого явления чрезвычайно широк (плазменное образование, низкочастотный или высокочастотный разряд, антивещество, оптический обман или какой-то физиологический эффект в глазу, возникающий после вспышки молнии, и т.п. Уже отсюда ясно, что вопрос о природе шаровой молнии остается таинственным и открытым, хотя некоторые публикации (см. [I] и [117]) и позволяют надеяться на то, что круг возможных объяснений сильно сузился.

важность соответствующих исследований столь велика, что физики не должны об этом забывать.

§ 8. Поведение вещества в сверхсильных магнитных полях

Характерная разность энергий между уровнями атома водорода составляет

$$E_a \sim e^4 m / (2\hbar^2) \sim 10 \text{ эВ}. \quad (6)$$

Разность энергий между уровнями свободного нерелятивистского электрона в магнитном поле равна

$$E_H \sim e\hbar H / (mc) \sim 10^{-8} H \text{ (эВ)}, \quad (7)$$

где напряженность магнитного поля измеряется в эрстедах (или в гауссах, так как под H с равным успехом можно понимать магнитную индукцию B); оценка (7) относится как к уровням орбитального движения, так и к спиновым уровням (собственный магнитный момент электрона $\mu = e\hbar/(2mc)$, а разность энергий между уровнями, отвечающими состояниям со спином, направленным по полю и против поля, равна как раз $2\mu H = e\hbar H/(mc)$).

До последнего времени приходилось встречаться лишь с магнитными полями, слабыми по атомным масштабам, когда $E_H \ll E_a$, и, следовательно,

$$H \ll \frac{e^3 m^2 c}{\hbar^3} = \left(\frac{e^2}{\hbar c} \right)^2 \frac{mc}{e\hbar} mc^2 \sim 3 \cdot 10^8 \text{ Э}. \quad (8)$$

Для тяжелых атомов с атомным номером Z аналогичное условие слабости поля имеет вид $H \ll 3 \cdot 10^9 Z^2 \text{ Э}$, т.е. может нарушаться только в еще более грандиозных полях. Поэтому еще сравнительно недавно вопрос о сильных полях, когда

$$H \gtrsim 3 \cdot 10^9 Z^2 \text{ Э}, \quad (9)$$

считался довольно абстрактным и не привлекал к себе особого внимания. Но сейчас положение изменилось.

Открытые в 1967—1968 гг. пульсары представляют собой намагниченные нейтронные звезды, и, по оценкам, магнитное поле на их поверхности может достигать 10^{13} Э (см. § 22). Таким образом, вещество на поверхности пульсара и вблизи от нее находится в сильном поле, даже если учесть, что это вещество, возможно, состоит в основном из железа ($Z = 26$, $Z^2 \sim 700$). В сильных полях (см. (9)) и особенно в сверхсильных полях, когда $H \gg 3 \cdot 10^9 Z^2 \text{ Э}$, атомы совсем не похожи на те привычные образы, которые мы связываем с атомами в отсутствие поля или в слабых полях. Именно в сверхсильных полях электронная оболочка атома вытягивается в сравнительно узкую иглу, направленную по полю. В подобных условиях двум атомам (скажем, атомам железа) энергетически выгодно образовать молекулу Fe_2 с большой энергией связи. Совокупность подобных молекул образует, возможно, структуру полимерного типа также с большой энергией связи. Вопрос о строении вещества в сверхсильных полях имеет непосредственное отношение к нейтронным звездам и, конкретно, к свойствам вещества на их поверхности. Последнее весьма существенно для теории пульсаров, поскольку определяет характер эмиссии частиц с поверхности.

Пульсары находятся далеко от нас, что, конечно, крайне затрудняет изучение вещества в сверхсильных магнитных полях. Да и вообще большинство физиков интересуется земными условиями, и возможности, открывающиеся в астрофизике, их мало волнуют. Впрочем, и независимо от этого вполне естествен вопрос: а нельзя ли создать и применить сильные поля в лабораторных условиях? Перспективы в этом отношении, по-видимому, не представляются особенно обнадеживающими, даже если речь идет о полях, достижимых

в фокусе сверхмощных лазеров. Оценка ситуации, однако, полностью изменяется, если иметь в виду моделирование и, по сути дела, изучение действия сверхсильных полей в случае экситонов в полупроводниках. Действительно, как мы видели (см. (4)), энергия связи водородоподобного экситона меньше, чем у атома водорода, в $m\varepsilon^2/m_{\text{эф}}$ раз, т.е. в практических условиях, например, в 1000 раз. Энергия же электронов и дырок, связанная с их орбитальным движением в магнитном поле, определяется выражением типа (7) с заменой m на $m_{\text{эф}}$. Отсюда ясно, что действующее на экситон магнитное поле является сильным уже при

$$H \gtrsim 3 \cdot 10^9 \frac{m_{\text{эф}}^2}{m^2 \varepsilon^2} \approx 3 \cdot 10^5 \text{ Э (при } m_{\text{эф}} \sim 0,1m \text{ и } \varepsilon \sim 10).$$

Подобные поля — хотя обычно и в импульсном режиме — уже доступны для экспериментирования. Таким образом удастся, вероятно, изучить экситонное «вещество» в сильных и даже в сверхсильных магнитных полях.

Включение вопроса о поведении вещества в сильных магнитных полях в список «особенно важных и интересных» проблем может вызвать, как и в ряде других случаев, сомнения или возражения. По моему мнению, однако, эта проблема выделяется своим, если можно так выразиться, неожиданным звучанием — применением к нейтронным звездам и к экситонам.

§ 9. Разеры, гразеры и новые типы сверхмощных лазеров

Хотя увлечение лазерами иногда выглядит как дань моде, их огромное значение для развития науки и техники бесспорно. Было даже замечено (пусть и в шутку), что на смену атомному веку пришел лазерный век¹. Тем не менее по уже изложенным во введении причинам здесь нет основания специально останавливаться на развитии лазерной техники, а также на применении и использовании лазеров.

Но имеются исключения, без упоминания которых вряд ли может обойтись составитель любого списка особенно важных физических проблем. В работе по созданию новых лазеров и совершенствованию существующих можно выделить следующие наиболее интересные направления:

повышение мощности лазерного излучения как за счет увеличения энергии лазерного импульса, так и за счет сокращения его длительности;

повышение когерентности и стабильности частоты лазеров;

освоение коротковолнового диапазона — далеко ультрафиолетового и мягкого рентгеновского; создание рентгеновских и гамма-аналогов лазера.

Существенное увеличение энергии лазерного импульса необходимо, в частности, как мы видели в § 1, для создания лазерных термоядерных реакторов. В настоящее время

¹Заметим кстати, что сейчас нелегко понять, почему первый лазер заработал лишь в 1960 г., а не лет на сорок ранее, т.е. вскоре же после того, как Эйнштейн в 1916 г. ясно и на современном уровне ввел понятие об индуцированном излучении. По-видимому, дело в том, что долгое время ясна была лишь принципиальная возможность получить усиление излучения за счет индуцированного испускания. Но коэффициент усиления обычно невелик, и ключом к созданию лазера послужил переход от режима усиления к режиму генерации за счет многократного отражения луча от зеркал, ограничивающих рабочее вещество в лазере. Создание же генератора носило характер изобретения, которое было значительно легче сделать радиофизикам, чем оптикам. Справедливости ради нельзя не отметить, что это замечание является несколько односторонним. Слишком уж часто кажется, что то или иное крупное открытие или изобретение можно было сделать раньше, чем это фактически произошло (довольно ярким примером в этом отношении могут служить комбинационное рассеяние света и эффекты Вавилова—Черенкова и Мёссбауэра). Мы уже не говорим о том, что «задержка» с открытием или изобретением никак не может умалить заслуг тех, кто его наконец сделал.

созданы лазеры с энергией импульса 10^4 – 10^5 Дж при длительности импульса порядка наносекунды или сотен пикосекунд. Разработаны проекты лазеров с энергией импульса порядка 10^6 Дж. При энергии порядка 10^5 Дж и длительности порядка 10^{-9} с достигается мощность порядка 10^{14} Вт, или плотность мощности (при фокусировке в пятно размером несколько десятков микрометров и площадью $S \sim 10^{-5}$ см²) порядка 10^{19} Вт/см². Пределом фокусировки является площадь $S \sim \lambda^2 \sim 10^{-8}$ см², где $\lambda \sim 10^{-4}$ см — длина волны, характерная для известных мощных лазеров. В этом случае была бы достигнута плотность потока энергии электромагнитного поля $I \sim 10^{22}$ Вт/см². Мощность лазерного излучения и плотность мощности, которая, собственно, и представляет наибольший интерес для разнообразных нелинейных процессов, могут быть повышены не только за счет увеличения энергии лазерного импульса, но и за счет сокращения его длительности. Именно на этом пути в последние годы достигнут наибольший прогресс. Разработаны и успешно реализованы методы формирования субпикосекундных лазерных импульсов и импульсов с длительностью в десятки фемтосекунд. Ту же мощность 10^{14} Вт можно получить при энергии импульса 10 Дж и длительности 10^{-13} с. Формирование столь коротких лазерных импульсов, когда электромагнитное поле успевает совершить всего десяток колебаний, привело к новым физическим задачам, касающимся взаимодействия поля с нелинейной диспергирующей средой. В ближайшее время можно ожидать повышения плотности потока до значений порядка 10^{21} Вт/см². И уже подлинно физической проблемой является задача повышения плотности потока энергии I до значений порядка 10^{26} – 10^{27} Вт/см², требуемых для достаточно эффективного рождения электронно-позитронных пар в вакууме (см. § 17).

Повышение когерентности и стабильности частоты лазеров открывает путь их применения для решения целого ряда фундаментальных проблем физики и астрофизики. Уже сейчас активно ведутся работы по созданию лазерных интерферометров — сейсмографов для детектирования гравитационных волн (см. § 20); разрабатываются проекты космических лазерных детекторов гравитационных волн; обсуждаются проекты космических оптических интерферометров с большой базой — порядка десятков и сотен метров, — которая должна контролироваться с помощью высокостабильных по частоте лазеров. Создание таких инструментов имеет исключительно важное значение для астрофизики.

В настоящее время созданы лазерные устройства с относительной стабильностью частоты $\Delta\omega/\omega \sim 10^{-11} \div 10^{-15}$ (мы не касаемся здесь некоторой условности термина «стабильность частоты» — она бывает кратковременная, долговременная и т.д.). Ведутся работы по достижению значений $\Delta\omega/\omega \sim 10^{-16} \div 10^{-17}$.

К числу важных и принципиальных физических проблем следует отнести создание рентгеновских и гамма-аналогов лазера — их можно назвать соответственно разерами и гразерами.

Слово «лазер» составлено из первых букв английской фразы «light amplification by stimulated emission of radiation» (усиление света с помощью индуцированного излучения радиации). Поэтому говорить о «рентгеновском лазере» или о «гамма-лазере», как это часто делают, представляется не очень-то последовательным. Предлагаемая здесь терминология связана с заменой буквы «л», отвечающей «свету» (light), на «р» (рентген) или «г» (гамма). Автор пустился в эти терминологические упражнения, вероятно, потому, что не смог предложить никакой идеи по существу дела, т.е. не придумал, как же создать разер и гразер (раз уж речь зашла о терминологии, отметим, что ранее иногда употреблялся термин «газер»; однако сейчас используется название «graser», вероятно, происходящее из комбинации gamma-rays и laser и, возможно, более удачное). Говоря о терминологии, нужно также напомнить об отсутствии четкого разграничения между рентгеновскими и гамма-лучами. Иногда считают рентгеновским излучение с энергией фотонов, меньшей, скажем, 100 кэВ (длина волны больше примерно 0,1 Å). Тогда гамма-лучи — это излучение с большей энергией. Но по крайней мере столь же часто рентгеновское и гамма-излучение различают по их происхождению, считая, что при ядерных переходах всегда возникают гамма-фотоны. Все

известные нам предложения, касающиеся разеров и гразеров, относятся к области энергий, не превышающих примерно 10 кэВ, иными словами, гамма-лучами в этом случае называют фотоны, излучаемые при ядерных переходах.

На пути создания этих приборов стоят поистине гигантские трудности. Во-первых, коэффициент усиления довольно быстро уменьшается с уменьшением длины волны, и поэтому необходимо, вообще говоря, иметь исключительно большие мощности накачки, обеспечивающие нужную перенаселенность возбужденных уровней (напомним, что индуцированное испускание обычно возникает при переходах атома или ядра с возбужденных энергетических уровней на более низкие уровни). Во-вторых, в рентгеновской области, не говоря уже о гамма-диапазоне, очень трудно создать хороший резонатор (отражатели), обеспечивающий длительное пребывание излучения в области возбужденного рабочего вещества (роль такого резонатора в лазерах играют, как известно, зеркала на торцах рабочего вещества лазера или вблизи от них). В принципе, конечно, можно обойтись без отражателей, но тогда либо коэффициент усиления, либо размеры системы (рабочего вещества) должны быть большими. Поэтому создание разеров связывают, например, с усилением излучения в очень плотных релятивистских электронных пучках, которые можно в принципе получить от сильноточных ускорителей. Гразер же, быть может, удастся построить на ядерных переходах мёссбауэровского типа (речь идет об очень узких линиях) с заселением верхнего уровня путем захвата нейтронов, образующихся при ядерном взрыве (такой должна быть мощность «нейтронной накачки»), если не будут найдены какие-то новые реальные пути другого решения проблемы (соответствующие поиски уже ведутся; ссылки см. в [I]).

В свете таких трудностей позволено вообще сомневаться в возможности создания разеров и гразеров, представляющих интерес для их использования в физических исследованиях¹. Ведь успех лазеров в этом отношении связан не только с принципами (в существовании индуцированного испускания излучения для всех диапазонов сомневаться не приходится), но и с возможностями использования всего арсенала оптики и вместе с тем со сравнительно скромными требованиями к мощности накачки и свойствам рабочего вещества.

Но кто знает... В истории физики было столько случаев, когда перспективы решения задачи казались почти безнадежными или фантастическими. А потом открывались новые явления (например, деление тяжелых элементов), и безнадежное быстро превращалось в реальное, а затем даже тривиальное! Создание разеров и гразеров, быть может, тоже ждет какого-то «прорыва» — рождения новой идеи или открытия новых явлений. Нельзя, впрочем, отрицать и возможности «печального исхода». Последнее имело бы место, если бы была убедительно доказана нереальность создания достаточно эффективных и полезных для каких-либо целей разеров и (или) гразеров.

К проблеме создания разеров примыкают, естественно, попытки создания лазеров в области далекого ультрафиолетового и очень мягкого рентгеновского диапазонов. В этом отношении в последние годы достигнуты первые успехи — получено стимулированное излучение на ряде переходов между уровнями многозарядных ионов в плазме с длинами воли $\lambda \sim 100 \div 200 \text{ \AA}$ ($E \sim 100 \text{ эВ}$). Для создания плазмы — активной среды — используются различные методы: лазерный нагрев плазмы того же типа, что и в исследованиях по лазерному термоядерному синтезу, комбинация лазерного нагрева с магнитным удержанием, многофотонная ионизация внутренних электронных оболочек. Одновременно разрабатываются различные возможные применения таких лазеров, в частности контактная

¹Имеем в виду излучение с длиной волны порядка ангстрема и более короткой; в области очень мягких рентгеновских лучей создать разер, по-видимому, значительно легче (см. ниже). Уже появились сообщения об испытаниях разеров с накачкой при ядерных взрывах.

микроскопия объектов, которые не имеют нужного контраста для электронного микроскопа.

В ближайшие годы на таком пути можно ожидать освоения области спектра в десятки ангстрем, т.е. приближения к истинно рентгеновскому диапазону.

В связи с проблемой разеров и гразеров нужно отметить, что их создание имеет целью не только и даже не столько получение мощных потоков рентгеновских и гамма-лучей. Действительно, очень интенсивные пучки рентгеновских лучей можно получить и от «лазерного фокуса» и особенно в синхротронах. В настоящее время во всем мире работает уже немало синхротронов, используемых специально для получения рентгеновских лучей. Для этого применяются также различные ондуляторы и «вигглеры» (wigglers), в простейшем варианте представляющие собой магниты или систему магнитов, отклоняющих релятивистский электронный пучок или заставляющих его колебаться (сам пучок может создаваться линейным ускорителем; другая возможность — создание ондуляторного участка в синхротроне). В случае же разеров и гразеров, как и для лазеров, нужна возможность получения когерентного излучения могущего обладать очень высокими монохроматичностью и направленностью. Между тем в синхротронах и в ондуляторах получают некогерентное рентгеновское излучение с довольно широким спектром и угловым распределением. Монохроматизация и коллимирование такого излучения составляют особую задачу и ведут к снижению интенсивности излучения (тем не менее для целей рентгеновского структурного анализа быстрых процессов и для ряда других целей мощности рентгеновского излучения от современных синхронных и ондуляторных установок, вообще говоря, вполне достаточно).

Любопытно, что роль ондулятора могут играть атомы в кристалле при так называемом каналировании, когда пучок электронов или позитронов идет в кристалле вдоль определенных атомных плоскостей или цепочек атомов. При этом пучок поглощается слабее, чем при движении в произвольном направлении. И, что в данном контексте главное, при каналировании частицы в пучке периодически колеблются, пролетая около периодически расположенных атомов. В результате возникает электромагнитное излучение, аналогичное появляющемуся в ондуляторе. Поскольку период колебаний при каналировании частиц очень мал (он равен, очевидно, межатомному расстоянию a , деленному на скорость частиц в пучке v ; при $a \sim 3 \cdot 10^{-8}$ см и $v \sim c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с период $T = a/v \sim 10^{-18}$ с), возникающее излучение релятивистских электронов и позитронов является весьма жестким (коротковолновым). В результате таким способом можно создать источники очень жесткого рентгеновского излучения, что при использовании обычных ондуляторов и вигглеров потребовало бы применения электронов с очень высокими энергиями. Во избежание недоразумений отметим, что имеет место, конечно, и каналирование других частиц — протонов, α -частиц и т.д. Однако в силу большой массы протонов, не говоря уже о более тяжелых ядрах, возникающее электромагнитное излучение значительно слабее, чем в случае каналирования электронов и позитронов.

В последние годы много пишут о лазерах на свободных электронах (free electron lasers). По сути дела, речь идет о том, чтобы в уже упомянутом ондуляторе (или других аналогичных устройствах) использовать не спонтанное излучение электронов в пучке (как это имеет место в существующих установках для получения мощного рентгена), а добиться усиления и генерации за счет индуцированного (вынужденного) излучения. В этом смысле действительно имеется аналогия с лазером, хотя термин «лазер на свободных электронах» (ЛСЭ) вряд ли особенно удачен. Но, конечно, дело не в названии; использование в ЛСЭ именно индуцированного излучения действительно роднит ЛСЭ с лазерами в узком смысле этого последнего термина — когерентными источниками света. Если бы удалось создать ЛСЭ, работающий в рентгеновском диапазоне, то это был бы разер или, если угодно, один из вариантов разера, основанный на использовании релятивистских пучков и уже упоминавшийся выше. К сожалению, насколько нам известно, еще не существу-

ет реальных проектов создания ЛСЭ для волн, более коротких, чем принадлежащие к оптическому диапазону.

§ 10. Сильнонелинейные явления (нелинейная физика).

Солитоны. Хаос. Странные аттракторы

Уравнения электромагнитного поля в вакууме и в среде (уравнения Максвелла) и волновое уравнение в квантовой механике (уравнение Шрёдингера) являются линейными и, следовательно, удовлетворяют принципу суперпозиции (сумма любых двух решений также является решением этих уравнений). Уже отсюда ясно, сколь важна и велика область линейных явлений в физике. Но, как известно и отмечалось выше, в очень сильных полях уравнения электромагнитного поля даже в вакууме становятся уже нелинейными, а в случае среды эта нелинейность, вообще говоря, несравненно сильнее и проявляется в легко доступных полях. Точнее, такие поля стали (если говорить об оптике) легко достижимыми лишь с созданием лазеров, что произошло уже около тридцати лет назад. Наконец, уравнения движения для частиц, планет и т.п. (уравнения Ньютона) также нелинейны (они, конечно, могут оказаться линейными для простейших систем — таких, например, как гармонический осциллятор). Таким образом, важность нелинейных явлений в физике давно осознана и очевидна.

Блестящий этап в развитии нелинейной физики, или, как чаще говорили, нелинейной теории колебаний (как механических, так и электромагнитных), связан с работами Л. И. Мандельштама, А. А. Андропова и других [25]. Уже после этого большое развитие получила нелинейная оптика. Однако в первых трех изданиях настоящей статьи нелинейные явления «не удостоились» включения в число ключевых проблем. Нечего и говорить (точнее, повторять), что дело здесь не в недооценке важности нелинейной физики, а в том, что, как и очень многое другое, она рассматривалась, так сказать, как классическое наследство, не казалась связанной с какими-то глубокими и принципиальными новыми проблемами. Думаю, что такое мнение (пусть и в неизбежно несколько условном смысле) действительно было в целом справедливо, скажем, в 1971 г.

Сейчас ситуация радикально изменилась. В физической литературе почти всех рангов публикуются (и в немалом количестве) статьи, посвященные солитонам, динамическому хаосу, странным аттракторам и т.д. Весь этот круг вопросов неплохо, как мне кажется, может быть объединен названием «сильнонелинейные явления» или «нелинейная физика». Дело в том, что в прошлом анализ нелинейных явлений естественным образом тяготел к линейной физике (отсюда и термины вроде «квазилинейное приближение» и т.п.). Имеются, однако, задачи, существенно, радикально нелинейные, когда линейные образы, линейная идеология совсем не подходят. Тогда нужны другие представления, другой «язык» — это и есть область сильнонелинейных явлений [26]. Впрочем, когда нелинейность существенна, ее в известном смысле всегда можно считать сильной. Поэтому важно подчеркнуть, что новый этап в области анализа нелинейных явлений характеризуется (быть может, даже в первую очередь) переходом к изучению систем с большим числом степеней свободы. Достаточно напомнить, что раньше [25] обычно приходилось (в основном в силу математических трудностей) ограничиваться системами с одной степенью свободы (маятник, нелинейный электрический контур), чему отвечало использование фазовой плоскости (т.е. двумерного фазового пространства). Теперь же перешли к фазовому пространству трех и большего числа измерений, а в случае распределенных систем (нелинейные волны и т.д.) даже очень большого числа измерений.

Как это нередко бывает, корни нового направления — в данном случае сильнонелинейной физики — можно проследить вплоть до весьма давних времен. Так, на воде уединенные волны (или волны трансляции, распространяющиеся с постоянной скоростью без

изменения формы), которые теперь называют солитонами (конечно, здесь речь идет об одном из многочисленных частных случаев), наблюдал и описал еще в первой половине XIX в. Дж. Рассел. Но как самому термину «солитон», так и началу современного анализа солитонов — только около двадцати пяти лет (оба эти события относят к 1965 г.).

Можно сказать, что солитоны — это локализованные, устойчивые возбуждения нелинейной системы без диссипации. В частности, речь идет об упомянутых уединенных волнах на воде и в ряде других случаев (плазма, магнетики и т.д.). При учете диссипации (поглощения) солитоны в известном смысле смыкаются и переходят в ударные волны — также объект нелинейной физики, но более знакомый. К сожалению, в рамках настоящей статьи нет возможности вдаваться в суть дела (что, конечно, самое интересное), и мы должны ограничиться указанием литературы [26, I]. В основном так же придется поступить и в отношении других понятий сильнонелинейной физики — динамического хаоса и странных аттракторов.

Движение физической системы обычно описывают в упоминавшемся фазовом пространстве, координатами которого являются, например, пространственные координаты и импульсы (или скорости) частиц, составляющих систему. Свойства системы, ее эволюция во времени характеризуются траекториями в фазовом пространстве или, как говорят, «фазовым портретом» системы. Если по истечении некоторого времени релаксации система приходит в стационарное состояние, то (по крайней мере для одной степени свободы) отвечающая ей траектория в фазовом пространстве представляет собой некоторую орбиту или точку равновесия. В некоторой области начальных значений все траектории притягиваются к этой стационарной орбите, в силу чего ее иногда называют аттрактором (attraction — притяжение). Странный аттрактор — это некоторая область фазового пространства, такая, что приходящие в нее фазовые траектории ведут себя хаотическим, очень запутанным образом. Ничтожное изменение начальных условий приводит к быстрому удалению траекторий друг от друга, хотя все эти траектории и попадают в область странного аттрактора.

На фазовой плоскости (т.е. для одной степени свободы) странные аттракторы не появляются (невозможны), в силу чего с ними в прошлом и не столкнулись [25]. Но оказалось, что уже в трехмерном фазовом пространстве странный аттрактор может появиться (это выяснилось в 1963 г.). Разумеется, странные аттракторы могут существовать и при большем числе измерений. Нетривиально, что хаотическое — крайне запутанное — движение (иногда в таких случаях говорят о динамическом хаосе) возможно не только для систем с очень большим числом степеней свободы (скажем, для молекул в сосуде с газом или в движущейся жидкости), но и для относительно простых консервативных (недиссипативных) нелинейных систем с немногими степенями свободы. Этот факт имеет большое значение для понимания механизма возникновения турбулентности в обычной и магнитной гидродинамике, а также для целого ряда других задач [26].

За сравнительно немногие годы, в течение которых интенсивно рассматриваются и изучаются солитоны динамический хаос и родственные вопросы, им было посвящено огромное число статей, появляются все новые и новые примеры и области применения [25, 26, I]. Здесь далеко не все ясно (в качестве примера можно указать на квантовую область или, если угодно, на учет квантовых эффектов; «квантовый хаос» находится сейчас в центре внимания). Автор отдает себе отчет в недостаточной четкости изложения в этом параграфе. Однако обойти в настоящей статье сильнонелинейную физику молчанием было бы еще хуже.

Действительно, кроме огромного числа нелинейных задач в области макроскопической физики, нелинейной является теория сильных полей в вакууме. Это уже отмечалось выше в отношении электромагнитного поля, но относится и к гравитационному полю (уравнения общей теории относительности нелинейны), и ко всем другим полям, о которых

пойдет речь в микрофизической части настоящей статьи. Поэтому проблемы, типичные для сильнонелинейной физики, уже привлекли к себе внимание работающих в области общей теории относительности и квантовой теории поля. Можно полагать, что в будущем эта тенденция (так сказать, проникновение «нелинейной идеологии») в область микрофизики будет все больше усиливаться и, быть может, даже сыграет выдающуюся роль в ее дальнейшем развитии.

§ 11. Сверхтяжелые элементы (далекие трансураны). «Экзотические» ядра

Самый тяжелый обнаруженный в природе элемент — уран состоит из $Z = 92$ протонов и $N = 146$ нейтронов (речь идет об ^{238}U). Начиная с 1940 г. приступили к искусственному созданию трансурановых элементов путем бомбардировки тяжелых ядер (включая ядра урана и трансуранов) нейтронами и различными ядрами. Первым был создан нептуний ($_{93}\text{Np}$), за ним последовали плутоний ($_{94}\text{Pu}$), америций ($_{95}\text{Am}$), кюрий ($_{96}\text{Cm}$), берклий ($_{97}\text{Bk}$), калифорний ($_{98}\text{Cf}$), эйнштейний ($_{99}\text{Es}$), фермий ($_{100}\text{Fm}$), менделевий ($_{101}\text{Md}$) и элементы 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108 и 109 [27], еще не получившие официальных названий. Самые тяжелые из известных трансурановых элементов живут секунды или даже доли секунды (ядра распадаются в результате спонтанного деления и испускания α - и β -частиц).

Грубая экстраполяция приводит к заключению, что элементы с $Z \gtrsim 108 \div 110$ должны спонтанно делиться с такой большой скоростью, что получение и изучение таких элементов маловероятны. Однако, хотя трансураны содержат 240—260 частиц (нуклонов) и в этом отношении напоминают капельки жидкости их свойства все же не изменяются монотонно с ростом Z или, скажем, параметра Z^2/A ($A = Z + N$ — атомное число). Иными словами, одночастичные и оболочечные эффекты заметны, а иногда значительны даже для самых тяжелых элементов. Поэтому есть надежда на возможность существования сравнительно долгоживущих изотопов элементов с $Z > 105$. Предполагается [27], что элемент с $Z = 114$ обладает замкнутой оболочкой (т.е. что 114 является «магическим числом»), а изотоп этого элемента $^{298}_{114}$, содержащий $N = 184$ нейтрона, является даже дважды магическим. Это не значит еще, что ядро $^{298}_{114}$ самое стабильное, ибо нужно учитывать все возможные пути распада (спонтанное деление, α - и β -распады). В частности, некоторые расчеты приводят к выводу о наибольшей «живучести» ядра $^{294}_{110}$, обладающего периодом полураспада $T_{1/2} \sim 10^8$ лет.

По мнению, являющемуся, видимо, общепризнанным, точность всех таких расчетов невелика, и на их основе нельзя делать каких-либо количественных выводов. Но сама возможность повышенной стабильности ядер в районе значений $Z \approx 114$ и $N \approx 184$ кажется вероятной, причем не исключено даже существование высокой стабильности отдельных изотопов или хотя бы одного из них. В последнем случае такой изотоп мог бы наблюдаться на Земле, в метеоритах или в космических лучах. Кроме того, конечно, более или менее стабильные изотопы (скажем, с $T_{1/2} \gtrsim 1$ с) можно надеяться синтезировать и обнаружить методами, использованными в случае уже известных трансуранов.

Поиски далеких трансуранов уже более пятнадцати лет ведутся всеми этими методами. Такие поиски имеют немалый интерес для ядерной физики, а возможно, и астрофизики (не говоря уже о том, что они подобны увлекательным попыткам обнаружить неизвестные или считающиеся вымершими виды животных).

Здесь не обошлось без сенсации: в середине 1976 г. появилось сообщение об обнаружении весьма стабильных элементов с $Z = 116$, 126 и др. Однако эта работа, хотя и была выполнена квалифицированными физиками и опубликована в очень высоко котирующемся журнале «Physical Review Letters», оказалась неверной. Я упоминаю об этом лишь для того, чтобы подчеркнуть,

что от ошибок застрахованы лишь те, кто не работает. Нет также оснований отказываться от публикации сенсационных сообщений до их проверки. Для развития науки полезнее опубликовать неверную работу (это позволит другим авторам быстро ее проверить), чем задерживать публикацию важных результатов до их подтверждения. Разумеется, это не призыв к снижению требовательности и публикации «сырых» данных, я лишь считаю неоправданными чрезмерную строгость и слишком резкую критику в адрес тех, кто ошибся (нужно иметь в виду, что автор опубликованной неверной работы сурово наказан уже выявлением ошибки). Но вот чего никто не вправе требовать, так это признания «открытий» до их подтверждения в нескольких местах. В разумных пределах авторы имеют право на ошибку, но все окружающие имеют не меньшее право на сомнения.

В конце 1980 г. появилось сообщение [28] о возможном наблюдении трека ядра с $Z \geq 110$. Трек обнаружен в кристалле оливина метеоритного происхождения.

Ядра, входящие в состав космических лучей, оставляют в кристаллах следы, выявляемые при специальной обработке (в частности, травлении и отжиге). Длина треков зависит от порядкового номера ядра. В работе [28] наблюдалось около 150 треков ядер группы урана, длина которых составляет 180—240 мкм. Кроме того, наблюдался упомянутый один трек длиной 365 мкм, который отвечает ядру с $Z \geq 110$. Разумеется, этот результат нуждается в подтверждении — нахождении и других таких треков, а также дополнительном доказательстве утверждения, что речь идет именно о ядре с $Z \geq 110$. Если наблюдаемый трек в самом деле принадлежит ядру с $Z \geq 110$, то распространенность таких ядер относительно распространенности ядер урана составляет величину порядка 10^{-3} . В 1983 г. было сообщено об обнаружении еще одного подобного (или даже более длинного) трека. Но все же вопрос о природе этих треков остается открытым.

Думаю, что никто не станет возражать против включения проблемы сверхтяжелых элементов в наш «список». Другое дело, можно ли или целесообразно ли относить одну из проблем физики атомного ядра к макроскопической физике. Конечно, это спорный вопрос, и о нем еще пойдет речь в следующем параграфе. Более существенным является то обстоятельство, что из всей области ядерной физики в нашем «списке» фигурирует лишь проблема сверхтяжелых элементов и «экзотических» ядер, между тем как можно назвать и другие вопросы, такие, например, как изучение изомерии ядер, связанной с различием их формы, и ядер, состоящих из нуклонов и антинуклонов. Дело в том, что наряду с «обычными» атомными ядрами существуют, можно сказать, «экзотические» ядра, такие, например, как ядра из нуклонов и антинуклонов, представляющие большой интерес как для изучения ядерных сил, так и в других аспектах. В этой связи можно упомянуть и о гипотезе, согласно которой при определенных условиях могут оказаться стабильными или метастабильными ядра с повышенной плотностью (в частности, с плотностью, в два-три раза больше обычной) и, конечно, с другими параметрами, отличными от характерных для обычных атомных ядер. В известных ядрах такая плотная фаза, по-видимому, не реализуется, но обсуждаются перспективы наблюдения ее «предвестников» в некоторых ядрах (известно, что близость фазового перехода сказывается на свойствах вещества и до достижения точки перехода).

В области ядерной физики известен и ряд других проблем (см., в частности, [29]). Так, в последние годы много внимания уделяется соударениям релятивистских ядер и ядерной материи, существующей в первую очередь в нейтронных звездах (здесь имеется очевидная связь с астрофизикой). Изучение атомного ядра проливает свет не только на взаимодействие нуклонов с нуклонами, но и на взаимодействие нуклонов с лептонами. Особо нужно упомянуть о переходе к исследованию ядра на базе кварковых моделей.

Вообще атомное ядро — весьма своеобразная система, в частности потому, что даже в самых тяжелых ядрах не так уж много частиц (не более 300). Поэтому в ядрах значительная роль поверхностных эффектов и наблюдаются различные немонотонности (флуктуа-

ции) в распределении уровней. Наконец, ядерные силы недостаточно хорошо известны, что принципиально отличает ядерную физику от атомной.

Все сказанное действительно нужно иметь в виду, но, к сожалению, это не помогло автору сделать настоящий параграф более интересным; видимо, решить такую задачу может лишь специалист в области физики ядра.

МИКРОФИЗИКА

§ 12. Что понимать под микрофизикой?

Когда речь шла о макрофизике, не потребовалось никакого введения. Но о том, что понимать под микрофизикой, нужно условиться. Размеры атома ($\sim 10^{-8}$ см) и тем более атомного ядра ($\sim 10^{-13}$ — $\sim 10^{-12}$ см) считаются микроскопическими, и с этой точки зрения атомные и ядерные явления следует отнести к микрофизике. Но на самом деле все обстоит не так просто.

Хорошо известно, что в физике (да и не только в физике) говорить о малом или большом можно, лишь проводя сравнение с некоторым эталоном, который считается не малым и не большим. В случае длины (пространственного расстояния) таким эталоном естественно считать характерный размер человеческого тела, т.е. длину, скажем, порядка метра. Однако по сравнению с таким масштабом очень малы не только атомы и ядра, но и, например, длины волн оптического излучения, а также размеры ряда искусственно создаваемых объектов. Вместе с тем вряд ли кто-либо согласится относить к области микромира проволоочки, имеющие диаметр порядка микрометра. К этому нужно добавить, что по сравнению с метром размеры Земли, а тем более расстояние от Земли до Солнца, равное $1,5 \cdot 10^{13}$ см, являются уже очень большими. Поэтому, если исходить только из отношения масштабов, Солнечную систему следовало бы отличать от микрообъектов с размерами порядка метра с неменьшим основанием, чем атомы и атомные ядра.

В силу подобных соображений микромир часто определяют как область действия квантовых законов, тогда как в макромире господствуют классические закономерности. Такой подход представляется довольно глубоким, хотя его условность также очевидна. Достаточно сказать, что в ряде случаев классические законы хорошо применимы и при рассмотрении соударений между нуклонами, а, с другой стороны, квантовые закономерности иногда определяют поведение вполне макроскопических систем (упомянем, например, о квантовании магнитного потока в случае полых сверхпроводящих цилиндров). Наконец, важно подчеркнуть, что с развитием науки изменяются, вообще говоря, сами границы между различными областями и дисциплинами, изменяется также содержание различных понятий.

Все это дает основания рассматривать границу между микро- и макрофизикой в качестве исторической категории. Конкретно, представляется разумным и оправданным мнение, что в настоящее время атомная и ядерная физика в основном уже относится к макро-, а не микрофизике.

Основания для этого таковы. Во-первых, атомы и ядра представляют собой совокупности частиц и к тому же системы, состоящие лишь из немногих самых распространенных частиц (протонов, нейтронов и электронов). Во-вторых, для атомов и ядер обычно достаточно нерелятивистского приближения, т.е. широко применима прекрасно освоенная нерелятивистская квантовая механика. Оба эти обстоятельства роднят атомную и ядерную физику с макрофизикой.

Естественность смещения условной границы, разделяющей микро- и макрофизику, ясна и из такого примера. До изобретения микроскопа к области микрофизики с полным

основанием можно было относить все невидимое человеческим глазом. Затем микроскопическим стали называть невидимое в микроскоп, например, отдельные атомы. Сейчас, когда атомные, а в известной мере и ядерные масштабы уже освоены и достаточно доступны нашему мысленному взору¹, имеются основания считать микроскопическим в физике лишь «плохо видимое» или совсем «невидимое». Тем самым к микрофизике почти безоговорочно можно отнести ту область, которую называли и еще сейчас называют физикой элементарных частиц; теперь, однако, ее чаще именуют физикой высоких энергий или, более конкретно, мезонной физикой, нейтринной физикой и т.п.

Объектами исследования в микрофизике являются, следовательно, в основном только «простейшие», «элементарные», частицы, их взаимодействие, управляющие ими законы.

Как и большая часть определений, такое определение и понимание микрофизики условно, в известной мере даже произвольно. Так или иначе, ниже термин «микрофизика» используется именно в указанном смысле. При этом почти автоматически микрофизика, как и в прошлом, оказывается областью исследований, где неясности касаются самого фундамента, а не только надстроек. Если же иметь в виду тип закономерностей, то в микрофизике в настоящее время (при принятом определении) доминирует релятивистская квантовая теория. Наконец, если в качестве меры рассматривать некоторую длину, то для микрофизики сейчас характерна длина порядка или меньше 10^{-11} см (для электрона комптоновская длина $\hbar(mc) = 3,85 \cdot 10^{-11}$ см, а для барионов $\hbar(Mc) \sim 10^{-14}$ см; длина $\hbar(Mc) \sim 10^{-14}$ см определяет, в частности, типичный радиус взаимодействия между барионами, или, более общо, радиус сильного взаимодействия).

Наиболее глубокой является, видимо, классификация, основанная на типе или характере закономерностей. Поэтому самым последовательным в настоящее время представляется выделение трех областей, в которых главенствуют соответственно классические законы, нерелятивистская квантовая механика и, наконец, релятивистская квантовая теория. Эти три области можно было бы называть макрофизикой, микрофизикой и, скажем, ультрамикрофизикой. Но самое последовательное далеко не всегда оказывается самым удобным и привычным. Поэтому наилучшим кажется поступить так, как это сделано выше, т.е. говорить, как и в прошлом, только о макро- и микрофизике, но несколько передвинуть границу между ними.

Нужно заметить, что при всем при этом относить ядерную физику уже сегодня полностью к области макрофизики, конечно, нелегко (об этом, по сути дела, уже говорилось в конце § 11).

Изучение ядра является одним из существенных путей исследования взаимодействия между нуклонами, а также между нуклонами и другими частицами; релятивистские эффекты в ядрах довольно значительны, и вообще связи ядерной физики с физикой элементарных частиц в деле многочисленны и тесны. Поэтому, нарушив традицию и поместив ядерную физику среди макроскопических проблем, автор, вероятно, несколько опередил события. Вряд ли, однако, подобный вопрос о классификации имеет существенное значение, если только не считать именно микрофизику «солью земли», а занятия макрофизикой — какой-то деятельностью второго сорта.

Сам я, разумеется, не придерживаюсь такой странной (хотя все же иногда встречающейся) точки зрения и разделяю убеждение, что не место красит человека, а человек красит место. Бояре на Руси придавали, как известно, первостепенное значение как раз месту, на котором они сидят в присутствии царя. Но в науке нет царя, и борьба за боярские привилегии на места представляется весьма неуместной, хотя и встречается в научной практике.

Трудности, стоящие на пути решения фундаментальных проблем микрофизики, аналогичны тем, которые возникали при построении теории относительности и квантовой

¹Впрочем, отдельные атомы удается уже наблюдать, можно сказать, и непосредственно, с помощью автоионного микроскопа, а также с помощью специального электронного микроскопа. В последнее время соответствующая техника шагнула еще дальше вперед (имеется в виду туннельный микроскоп [14]).

механики. Подобные исследования, даже если они достигают сравнительно скромных результатов, требуют исключительных усилий, фантазии, напряжения. Они порождают особую атмосферу, вызывают к жизни высокий накал страстей, разных страстей...

Но это уже другая тема. Скорее тема эта для писателя, и, к сожалению, я не могу сейчас привести пример вполне удачного ее решения. Правда, в качестве яркой иллюстрации, передающей характер работы над фундаментальными проблемами, хочется привести слова, которыми Эйнштейн закончил свою лекцию, посвященную истории создания общей теории относительности [30]: «В свете уже достигнутых результатов счастливо найденное кажется почти само собой разумеющимся, и любой толковый студент усваивает теорию без большого труда. Позади остались долгие годы поисков в темноте, полных предчувствий, напряженное ожидание, чередование надежд и изнеможения и, наконец, прорыв к ясности. Но это поймет только тот, кто пережил все это сам».

Должен еще раз констатировать, что адекватно отразить содержание и своеобразие проблем микрофизики мне не под силу. Такая задача и не ставится: ниже еще с большей условностью, чем в других случаях, выделены некоторые микрофизические проблемы и дана лишь самая конспективная их характеристика. Быть может, именно чувство неудовлетворенности изложением микрофизической части настоящей статьи побудило автора написать этот параграф, а также § 18, без которых можно было бы обойтись. К счастью, проблемы микрофизики освещаются весьма часто и компетентно, так что вниманию читателей можно предложить обширный список литературы (см., например, ряд ссылок ниже).

§ 13. Спектр масс. Кварки и глюоны. Квантовая хромодинамика

До 1932 г. были известны лишь три «элементарные» частицы — электрон, протон и фотон. Затем были открыты нейтрон, позитрон, μ^\pm -лептоны, π^\pm - и π^0 -мезоны¹, более тяжелые мезоны, гипероны, частицы-резонансы, электронные и мюонные нейтрино, анти-нейтрино и другие. Некоторые из этих частиц ничем не менее (но и не более) элементарны, чем протон или электрон. Другие (например, гипероны и частицы-резонансы) кажутся скорее возбужденными состояниями более легких частиц. Большинство частиц нестабильно, они превращаются друг в друга и окружены «облаками» виртуальных частиц (например, нуклоны одеты в π -мезонные «шубы»). Таким образом, понятия об элементарности или сложности частиц сами становятся весьма неэлементарными и сложными. Частицы характеризуются массой, спином, зарядом, временем жизни и рядом других величин и квантовых чисел, причем число различных частиц весьма значительно.

Лет пятнадцать назад это утверждение казалось почти бесспорным. Сейчас же необходимо сделать существенную оговорку. Разумеется, переход от нескольких стабильных или долгоживущих частиц (таких, как нейтрон) к сотням частиц (в основном быстро распадающимся) — шаг огромной важности. Но, с другой стороны, еще в 1963—1964 гг. зародилась гипотеза о существовании кварков — проточастиц, из которых «слеplены» все барионы и мезоны (частицы обоих этих типов сильно взаимодействуют и по этому признаку объединяются под общим названием «адроны»). В последующие годы, особенно после открытия в 1974 г. новых частиц со свойствами, успешно интерпретируемыми на основе кварковой модели с привлечением кварков четвертого типа² — «очарованных» кварков,

¹Раньше мезонами называли не только адроны с целым спином (такие, как $\pi^{0,\pm}$ -мезоны), но и некоторые другие частицы, например мюоны (эти частицы назывались μ -мезонами). Здесь будет использоваться современная терминология, согласно которой не испытывающие сильного взаимодействия частицы с полуцелым спином называют лептонами (e^\pm — позитрон и электрон, μ^\pm -мюоны, τ^\pm -лептоны, соответствующие нейтрино и антинейтрино). Частицы с целым спином, не испытывающие сильного взаимодействия, называют, например, скалярными бозонами, векторными бозонами и т.д.

²Вначале вводились лишь кварки трех типов.

представление о кварках получило широкое признание. Поэтому известный итог многолетних исследований природы и структуры барионов и мезонов можно сейчас видеть в первую очередь в создании новой, кварковой модели строения этих частиц.

Гипотеза о кварках встретила вначале весьма противоречивое к себе отношение. Объясняется это, во-первых, некоторыми общими соображениями, изложенными ниже и заставляющими сомневаться в законности постановки вопроса типа: из чего состоит протон? Во-вторых, кварки обычно наделяются дробными электрическими зарядами, равными $2/3$ и $-1/3$ (за единицу заряда принят заряд позитрона или протона). Но такие дробные заряды не наблюдались и были непривычны. Более того, все поиски свободных, изолированных кварков, энергично проводившиеся после 1964 г., не привели к положительным результатам.

Аромат (тип кварка)	Заряд	Барионное число	Странность (s)	Очарование (c)
u (up)	$2/3$	$1/3$	0	0
d (down)	$-1/3$	$1/3$	0	0
s (strange)	$-1/3$	$1/3$	-1	0
c (charmed)	$2/3$	$1/3$	0	1

Конечно, категорически отрицать существование чего-либо чрезвычайно трудно. Однако очень похоже на то (и считается в настоящее время наиболее вероятным), что в свободном состоянии, т.е. в виде индивидуальных частиц типа барионов, мезонов или лептонов, кварки находиться не могут. Казалось бы, на этом основании действительно можно с полным правом усомниться в самом существовании кварков как некоторой физической реальности. Тем не менее кварковая модель не только не была оставлена, но, как уже упоминалось выше, укрепила свои позиции и пока торжествует одну победу за другой.

Здесь нет возможности, да и неуместно подробнее излагать кварковую модель. Отсылая читателя к брошюрам и книгам [31], приведем для удобства лишь табличку, содержащую квантовые числа кварков четырех типов, или, как говорят, ароматов (flavors).

Спин всех кварков равен $1/2$, и, следовательно, они являются фермионами. Барионы состоят из трех кварков, причем протон и нейтрон имеют соответственно состав uud и udd . Странные и очарованные кварки s и c входят только в состав странных и очарованных частиц.

Для антикварков все квантовые числа изменяют знак, и, например, антикварк \bar{u} имеет заряд $-2/3$ и барионное число $-1/3$. Мезоны состоят из кварка и антикварка. Например, конфигурация (состав) π^+ -мезона есть ud (ясно, что заряд такой конфигурации равен $2/3 + 1/3 = 1$, барионное число равно $1/3 - 1/3 = 0$, а спин может равняться нулю, как и должно быть). К сожалению (?), дело не ограничилось указанными четырьмя частицами и четырьмя античастицами. Пришлось ввести еще одно квантовое число, совершенно условно называемое цветом (color), так что кварк каждого типа (flavor) может находиться еще в трех состояниях, различающихся цветом (условно, например, красным, желтым и синим). Три кварка, образующие барион, обязательно должны иметь три разных цвета, в силу чего барион является белым (бесцветным). Мезоны бесцветны, поскольку цвет антикварка отвечает антицвету кварка.

В итоге полное число кварков и антикварков с учетом цвета достигло уже 24. Однако дело и этим не ограничилось. На основе как теоретических, так и экспериментальных данных (начиная с 1977 г.) вводится кварк пятого типа (аромата), а в теории появился и кварк с шестым ароматом. У этих двух (пятого и шестого) кварков, как и у четырех других (см. таблицу), барионное число равно $1/3$ и спин равен $1/2$. Заряд пятого кварка b (его называют *bottom*- или *beauty*-кварком, т.е. прелестным кварком) равен $-1/3$; этот b -кварк

имеет массу около 5 ГэВ (масса c -кварка примерно 1,5 ГэВ) и значительно превосходит массы более легких u -, d - и s -кварков¹.

Как сказано, существование пятого кварка b подтверждено экспериментом. Обнаружить кварки шестого аромата t с зарядом $2/3$ (его называют *top*- или *truth*-кварком) оказалось особенно трудно, так как масса t -кварка $m_t > 50 \div 100$ ГэВ, т.е. существенно больше даже массы b -кварка, в силу чего на существовавших до сравнительно недавнего времени ускорителях адроны, содержащие t - или \bar{t} -кварк, рождаться не могли.

На вступившем в строй в 1982 г. ускорителе со встречными пучками протонов и антипротонов с энергией 270 ГэВ в каждом пучке энергии для рождения t -кварков могло бы уже хватать. Вначале, правда, этот ускоритель использовался преимущественно для поиска W^\pm и Z^0 -бозонов, о чем еще пойдет речь ниже. В дальнейшем t -кварк на этом ускорителе пытались обнаружить, но безуспешно. К 1991 г. считается, что масса t -кварка больше 90 ГэВ [109], но, разумеется, t -кварк еще необходимо обнаружить (согласно оценке [112] $m_t = 137 \pm 40$ ГэВ).

Общее число кварков и антикварков шести ароматов и трех цветов равно уже, очевидно, 36. В литературе появились гипотезы и о возможном увеличении числа ароматов и цветов. Во всяком случае, утверждать, что кварковая модель ограничивается 24 или даже 36 кварками и антикварками, еще никак нельзя. Достаточно сказать, что кварки взаимодействуют между собой и это взаимодействие связано с обменом квантами некоторых полей (подобно тому как электромагнитное взаимодействие связано с обменом фотонами). Но «склеивающих» кварки полей (они называются глюонными, от слова glue — клей) приходится вводить несколько (обычно восемь). Каждому такому полю отвечают свои кванты-частицы (глюоны). Достаточно определенные экспериментальные указания на существование глюонов уже получены.

Итак, общее число частиц в кварковой модели вещества достигает нескольких десятков. Не слишком ли это много — таков вопрос, хотя и риторический, но невольно возникающий, когда речь идет о преимуществах кварковой модели. Вряд ли, конечно, подобное сомнение само по себе сколько-нибудь существенно — даже и при большом числе кварков и глюонов сведение сотен адронов к комбинациям из кварков (пусть и нескольких типов) вносит какой-то порядок и обладает красотой.

Гораздо глубже и важнее другой вопрос: имеет ли смысл говорить о существовании частиц (кварков), не наблюдаемых в свободном состоянии, и что, собственно, значит, что барион состоит из трех кварков? На последний вопрос можно, правда, дать довольно четкий ответ: рассеяние, скажем, электронов и нейтрино на протоне оказывается таким же, как если бы протон содержал три (состоял из трех) точечные частицы — их называли партонами, и роль этих партонов вполне могут играть кварки.

Вместе с тем это еще не доказывает, что кварки существуют. Например, магнитная стрелка (да и любой другой магнит) ведет себя так, как если бы на ее концах находились магнитные полюсы. Фактически же никаких магнитных полюсов не существует (по крайней мере в обычных условиях) и все сводится к токам (движению электрических зарядов) и дипольным (спиновым) магнитным моментам ряда частиц (электронов, протонов и др.). Эта аналогия между магнитными полюсами и кварками, казалось бы, весьма глубока: как ни дели магнит, полюсы все равно остаются «спаренными» (т.е. любой магнетик имеет северный и южный полюсы); точно так же любые известные превращения адронов не приводят при этом к появлению изолированных кварков, а последние рождаются только в виде барионов и мезонов, т.е. тройками и парами.

Вопрос о существовании кварков можно считать одним из аспектов общей проблемы о возможности различения простых (элементарных) и составных (сложных) частиц. Мы

¹Поскольку кварки в свободном состоянии не существуют (и, уж заведомо, не обнаружены), понятие об их массе имеет несколько условный или, если угодно, экстраполяционный характер.

можем утверждать, например, что атом водорода состоит из протона и электрона, поскольку разбить (ионизировать) этот атом легко — затратив лишь энергию, большую 13,6 эВ и очень малую по сравнению с энергией 1 МэВ, необходимой для рождения пары электрон — позитрон. По последней причине число частиц в атомной физике практически сохраняется, и, конкретно, атом водорода можно разделить именно на протон и электрон — стабильные частицы, существующие в свободном состоянии. А состоит ли нейтрон из протона и электрона, как это предполагалось, когда задолго до его обнаружения нейтрон фигурировал в качестве гипотетического «микроатома» водорода? Как известно, на этот вопрос дается отрицательный ответ, и распад нейтрона интерпретируется как рождение электрона и антинейтрино с переходом нейтрона в протон ($n \rightarrow p + e^- + \nu_e + 0,8 \text{ МэВ}$). Считать, что нейтрон состоит из протона и антинейтрино, нельзя, в частности, и потому, что сам протон может распадаться на нейтрон, позитрон и нейтрино (хотя это и происходит с поглощением энергии, но осуществляется для протонов, находящихся в β^+ -активных ядрах). Подобные примеры как раз и свидетельствуют об ограниченной пригодности понятия «состоит из» в применении к частицам со значительной энергией связи или большой энергией продуктов распада. Между тем именно такова, вообще говоря, ситуация для кварковых моделей адронов.

Итак, сравнительно большие энергии связи и, главное, отсутствие кварков в свободном состоянии (об этом свойстве принято говорить как об «удержании» кварков), несомненно, дают основания для подозрений, что кварки являются лишь вспомогательными образами (типа магнитных полюсов в электродинамике), пусть и удобными для описания различных явлений и свойств адронов, но не носящими фундаментального характера. Именно такую точку зрения высказывал, в частности, в конце своего более чем пятидесятилетнего пути в физике один из создателей квантовой теории В. Гейзенберг [32]. Осторожность в вопросе о существовании кварков и фундаментальности кварковой картины проявляют и физики, активно занимающиеся этой проблемой [33].

Сомнения в науке очень живучи. Как и осторожность, они, безусловно, полезны. Но жизнь, развитие науки идут своим чередом, как-то «не заботясь» об осторожности и сомнениях. Кварковая модель и построенная на ее основе теория сильных взаимодействий — квантовая хромодинамика (КХД) — оказались очень плодотворными, эвристичными. Для активно работающих физиков (как экспериментаторов, так и теоретиков) кварки превратились в такую же реальность, как, скажем, нуклоны. Более того, интенсивно исследуются своего рода кварковые аналоги таких ядер, как дейтрон (протон+нейтрон) или, еще ближе, как протон + антипротон. Речь идет о так называемых кваркониях, состоящих из c - и \bar{c} -кварков (чармоний), b - и \bar{b} -кварков (ботомоний) и t и \bar{t} -кварков (топоний). Что-то еще может измениться, но трудно сомневаться в том, что пути назад уже нет: кварки и квантовая хромодинамика — большое завоевание физики (нужно также отметить, что критические замечания, упомянутые выше [32, 33], были сделаны довольно давно).

В первом издании настоящей статьи (1971 г.) кваркам были посвящены лишь три строчки при перечислении различных направлений, на которых пытались решить проблему спектра масс «элементарных частиц». Несомненно, такое отношение к кваркам не свидетельствовало о проницательности автора в этом вопросе. Но я и сейчас считаю, что в 1971 г. кварковая модель была одной из многих, ее живучесть и плодотворность не были ясны (во всяком случае, последнее утверждение справедливо в отношении очень большого числа физиков). Теперь, да и пять лет назад ситуация совершенно изменилась, в силу чего оказалось необходимым даже здесь остановиться на кварковой модели несколько подробнее. Вместе с тем в настоящем издании статьи опущены упоминания о некоторых других (не связанных с представлением о кварках) попытках решить проблему спектра масс.

О каких проблемах, связанных с кварками, речь идет в настоящее время?

Хотя некоторые эксперименты продолжаются, но почти уже нет сомнений в том, что кварки «удерживаются» в составе адронов и, следовательно, не существуют в свободном

состоянии. Каков механизм удержания, или конфайнмента (английское слово *confinement* часто употребляют и в русской литературе)? Определенного ответа еще нет, хотя, быть может, этот ответ содержится в уже используемой схеме квантовой хромодинамики. Дело в том, что соответствующие уравнения являются нелинейными и вообще весьма сложными (по сравнению, например, с уравнениями квантовой электродинамики). Поэтому далеко не все еще выяснено даже на базе уже существующей теории. Развитие квантовой хромодинамики — очень большая и актуальная проблема.

Как уже подчеркивалось, даже при самом положительном отношении к кварковой модели число кварков еще нельзя считать окончательно установленным, хотя существование именно шести типов кварков представляется в настоящее время наиболее вероятным. Впрочем, при невысоких энергиях не так уж важно, сколько всего имеется кварков, поскольку при этом «работают» в основном более легкие кварки, и прежде всего кварки *u* и *d*.

Несмотря на все успехи, связанные с представлением о кварках, нельзя сказать, что все сомнения в их существовании в качестве фундаментальных частиц совсем отпали (как об этом уже упоминалось выше). Нужно ли, впрочем, решать вопрос в категоричной форме: «адроны состоят из кварков» или «кварки — это лишь вспомогательное понятие»? Не является ли более привлекательной картина, в которой адроны представляют собой сложные динамические системы, имеющие общие черты с атомами и атомными ядрами, но качественно отличные от них именно в смысле их неделимости на самостоятельные составные части? Такой подход кажется весьма глубоким¹. Все развитие атомистики шло по пути введения все новых первичных «кирпичей» вещества (молекулы, атомы, атомные ядра и электроны, нуклоны); кварки были бы еще одним этапом на этом пути, и если так продолжать, то встает вопрос: из чего состоят кварки? Более того, протокварки уже фигурируют в физической литературе. Но не все могут верить в существование «бесконечной матрешки»: открыли одну куклу, а в ней лежит другая и так без конца.

Глубокой и вместе с тем естественной по ряду соображений представляется мысль как раз о том, что безграничное и механическое повторение процесса деления вещества когда-то прекращается, причем нетривиальным образом: барионы и мезоны, возможно, одновременно и состоят из частей (типа каких-то кварков), и не состоят из них. Именно так можно описать ситуацию, в которой составные части не могут существовать сами по себе (в свободном состоянии), но тем не менее в ряде отношений ведут себя аналогично ядру в атоме или нуклонам в ядре. Собственно, уже такие факты, как взаимное превращение частиц друг в друга (в первую очередь превращение протона в нейтрон и наоборот), выясненное на предыдущем этапе развития микрофизики, и удержание кварков, фигурирующее на современном этапе, свидетельствуют о появлении в каждой следующей «матрешке» качественно новых черт. Это делает разговоры о «матрешках» в значительной мере условными. Но каков будет следующий этап? Во всяком случае, вполне возможно, что на кварках «дробление» адронов остановится; никаких реальных оснований для введения протокварков сейчас нет, хотя такая возможность отнюдь не исключена. Что на этот счет будут думать еще десять лет спустя? Никто, конечно, не возьмется ответить на подобный вопрос.

¹Воспользуемся случаем, чтобы привести здесь приписываемое Н. Бору определение глубокого утверждения или замечания: «Для того чтобы определить, какое утверждение является глубоким, нужно сначала определить, что такое «ясное утверждение». Утверждение считается ясным, если противоположное утверждение или правильно, или ложно. Глубокое утверждение должно обладать тем свойством, что противоположное утверждение также является глубоким» [34].

§ 14. Единая теория слабого и электромагнитного взаимодействий. W^{\pm} - и Z^0 -бозоны. Лептоны

В последние три десятилетия своей жизни Альберт Эйнштейн посвятил много усилий созданию единой теории поля. Когда эта его деятельность начиналась, были известны лишь два взаимодействия — электромагнитное и гравитационное. К их объединению, естественно, и стремились. Правда, в дальнейшем стали известны также слабое и сильное взаимодействия, но, насколько я знаю, Эйнштейн не предпринимал каких-либо попыток расширить спектр своих усилий на единую теорию всех взаимодействий. Работа Эйнштейна над созданием единой теории поля не принадлежала к числу модных в то время направлений и к тому же не была успешной с прагматической точки зрения. Поэтому «в течение некоторого времени у ряда физиков было мнение, что идея объединения была всего лишь навязчивой идеей, овладевшей Эйнштейном на старости лет» [35]. Но скажем словами того же Янга: «Да, это была навязчивая идея, но с глубоким проникновением в суть фундаментальной структуры теоретической физики. И, хочу я добавить, именно эта идея является стержнем современной физики» [35].

В связи со стремлением Эйнштейна построить единую теорию поля и его отношением к квантовой механике было немало написано и сказано о «трагедии Эйнштейна» в последний период его жизни. Насколько такое суждение о работах Эйнштейна над единой теорией поля необоснованно, видно хотя бы уже из приведенной цитаты. Что же касается отношения Эйнштейна к квантовой механике, то совершенно неверно было бы считать, что Эйнштейн «не понимал» или не ценил квантовую механику. Напротив, успехи в познании, достигнутые с помощью квантовой механики, Эйнштейн понимал и признавал [36], но считал эту теорию «неокончательной» уже в области ее применимости: не считал окончательными содержащиеся в квантовой механике вероятностные элементы [36]. Как и большинство физиков, я не разделяю позицию Эйнштейна в этом вопросе, относящемуся в большой мере не только к физике, но и к гносеологии. Однако последнее слово здесь, быть может, еще не сказано, а обсуждение основ квантовой теории, вопроса о ее полноте и статистике, теории квантовых измерений и т.д. не сходит со страниц научных журналов. Много об этом пишут и в самое последнее время¹. Так или иначе, утверждения о какой-то «научной трагедии» Эйнштейна представляются совершенно необоснованными (такое мнение подтверждается в [37]).

Действительно, единая теория слабого и электромагнитного взаимодействий (или, как еще часто говорят, электрослабого взаимодействия), «великое объединение» — объединение слабого, электромагнитного и сильного взаимодействий и, наконец, суперобъединение — объединение всех упомянутых взаимодействий с гравитационным взаимодействием, находятся сейчас в центре внимания теоретической физики.

Еще в 30-е годы возникло предположение, что слабое взаимодействие переносится промежуточными векторными W^{\pm} -бозонами, подобно тому как «переносчиками» электромагнитного взаимодействия можно считать фотоны. В этом смысле возникла глубокая аналогия между слабым и электромагнитным взаимодействиями. Но дело упиралось в два очень важных обстоятельства. Масса фотона равна нулю, а сами фотоны нам хорошо известны. Масса же промежуточных W^{\pm} -бозонов должна быть весьма большой, и они до 1983 г. не были обнаружены (разумеется, последний факт связывали как раз с тем, что W^{\pm} -бозоны столь массивны, что их нельзя создать на существовавших ускорителях). В таких условиях гипотеза промежуточных бозонов занимала примерно такое же место,

¹Хочу отметить доклад [41], содержащий глубокий и оригинальный, на мой взгляд, анализ границ применимости современной (или, точнее, существующей) квантовой механики и квантовой теории поля. Грубо говоря, речь идет о возможной ограниченности используемого, по сути дела, классического пространственно-временного описания. К сожалению, освещение этой интересной проблемы здесь невозможно, но я хотел бы подчеркнуть сказанное в тексте — осмысление основ и границ применимости квантовой механики продолжается (см. также [121]).

как и большое число других предположений и предсказаний, не имеющих под собой солидного фундамента. В 1967 г. возникла, однако, теория, в которой фотоны и W^\pm -бозоны рассматривались единым образом, причем давалось объяснение различию в их массах [38].

В основе единой теории электромагнитного и слабого взаимодействий, а также великого объединения и суперобъединения лежат глубокие идеи, касающиеся симметрии, обобщенной калибровочной инвариантности и спонтанного нарушения симметрии. Во избежание профанации этих идей и учитывая цели настоящей статьи, не буду здесь пытаться освещать их даже в грубых чертах; ограничусь ссылками на статьи [38,39] и также доступную не только теоретикам статью [40], освещающую весьма полезную для понимания сути дела связь калибровочных теорий со сверхпроводимостью.

Но уместно подчеркнуть два момента. Во-первых, сильные стороны единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий стали ясны лишь через несколько лет после ее создания (речь в первую очередь идет об устранении расходимостей или, как говорят, о перенормируемости теории). Во-вторых, один из существенных элементов этой теории — введение помимо заряженных W^\pm -бозонов также промежуточного векторного нейтрального Z^0 -бозона. Обмен такой нейтральной частицей приводит уже в первом приближении к процессам рассеяния, которые в аналогичном приближении отсутствуют, если предполагается существование только W^\pm -бозонов (так обстоит дело, например, при рассеянии мюонного нейтрино ν_μ на электроны e и при рассеянии как ν_μ , так и «обычного», электронного нейтрино ν_e на протоне или нейтроне). На физическом жаргоне процессы с участием Z^0 -бозона называют связанными с нейтральными токами.

И вот в 1973 г. и с еще большей определенностью в последующие годы было установлено на опыте, что нейтральные токи действительно существуют. В этом, несомненно, можно видеть торжество теории. Имеются и другие ее подтверждения. За работы в области объединения слабых и электромагнитных взаимодействий была присуждена Нобелевская премия по физике за 1979 г. [38].

Теория электрослабых взаимодействий, несмотря на ее успехи, не могла все же считаться проверенной, во всяком случае до обнаружения промежуточных векторных W^\pm - и Z^0 -бозонов. Правда, как уже отмечалось, противоречия теории с опытом не было, поскольку на ускорителях предшествующего поколения «родить» эти бозоны было нельзя — не хватало энергии. Основной задачей запущенного на достаточную мощность в 1982 г. в ЦЕРНе (Швейцария) ускорителя «нового поколения» на встречных пучках с полной энергией 540 ГэВ в системе центра масс (совпадающей в данном случае с лабораторной системой отсчета) явилось как раз обнаружение W^\pm - и Z^0 -бозонов. Эта очень нелегкая задача была в 1983 г. решена с положительным результатом. Были зафиксированы W^\pm -бозоны с массой $m_{W^\pm} = 81 \pm 2$ ГэВ, в то время как, согласно теоретической оценке, $m_{W^\pm} = 83 \pm 2$. Нейтральный Z^0 -бозон, массу которого, согласно теории $m_{Z^0} = 94 \pm 2$ ГэВ, в условиях проводившихся экспериментов было труднее обнаружить. Однако и Z^0 -бозон уже найден, причем с «нужной» массой $m_{Z^0} = 93 \pm 2$ ГэВ (здесь и выше приводятся данные, сообщенные на одной из конференций в конце 1983 г.). В середине 1989 г., насколько известно автору, были приняты значения $m_{W^\pm} = 81,8 \pm 1,5$ ГэВ и $m_{Z^0} = 92,6 \pm 1,7$ ГэВ. Несколько позже приводились массы $m_{Z^0} = 91,11 \pm 0,26$ ГэВ [111] и $m_{Z^0} = 91,177 \pm 0,031$ ГэВ [112].

Помимо W^\pm - и Z^0 -бозонов в калибровочных теориях (особенно в тех, в которых пытаются одновременно рассмотреть слабые, электромагнитные и сильные взаимодействия) вводится еще ряд частиц, в частности скалярных. К сожалению, массы некоторых из них могут оказаться колоссальными (до 10^{14} ГэВ и больше [38]), так что, быть может, выяснения вопроса о том, существуют или нет такие частицы, придется ждать много десятилетий, если не дольше. Вряд ли этот момент помешает решению судьбы калибровочных теорий в целом, ведь какие-то неисследованные вопросы и области всегда останутся.

Вместе с тем по крайней мере один скалярный бозон для калибровочной теории электро-слабого взаимодействия необходим (теория не предсказывает массу этой частицы, и она может лежать в уже доступной области энергий; нам известны оценки $m_{H^0} > 10$ ГэВ и $m_{H^0} < 1000$ ГэВ, а также оценки $32 \text{ МэВ } m_{H^0} < 24 \text{ ГэВ}$ [111] и $m_{H^0} \lesssim 50 \text{ ГэВ}$).

Неопределенность в этом вопросе все же оставляет теорию несколько незавершенной даже в ее основах.

Недавно к тому же прибавился один момент, как казалось, ставивший перед теорией трудный вопрос. Из единой теории следует, что связь между слабыми и электромагнитными силами приводит к некоторым небольшим, но качественно новым эффектам в области атомной физики. А именно не должна сохраняться четность во взаимодействии между электронами и нуклонами. В результате должна поворачиваться плоскость поляризации света, проходящего через пары, скажем, висмута в области частот некоторых атомарных переходов (при сохранении четности соответствующий поворот строго равен нулю). Такие опыты были поставлены в Оксфорде (Англия), Сиэтле (США), Новосибирске и Москве (СССР). Данные разных групп противоречили одни другим — они приведены вместе с ссылками на литературу в [I, с. 78 и 79]. Здесь ограничимся констатацией сложившегося сейчас мнения о том, что в этой области эксперименты по крайней мере не противоречат теории.

Итак, единая теория слабого и электромагнитного взаимодействий принесла большие, впечатляющие успехи. Но даже если не касаться вопросов, связанных с более широким объединением (см. § 15), в этой теории остается неясной по крайней мере одна принципиальная проблема — вопрос о скалярной частице (о так называемом хиггсовском скаляре).

К числу выдающихся успехов микрофизики за последние годы нужно отнести также открытие еще одного лептона (т.е. частицы, подобно электрону и μ -лептону не испытывающей сильного взаимодействия). Речь идет о τ -лептоне с массой около 1,780 ГэВ. Трудно сомневаться в том, что существует и соответствующее нейтрино ν_τ . Вопрос о числе существующих лептонов остается открытым, некоторые ограничения здесь следуют из космологических соображений, причем, видно, не может существовать больше десяти различных лептонов (пяти заряженных и пяти нейтральных, т.е. пяти различных нейтрино). Кроме того, если существует только шесть типов кварков (речь идет об их ароматах), то есть основания полагать, что имеется и шесть типов лептонов (e , μ , τ , ν_e , ν_μ и ν_τ). Это предположение подтверждается последними данными, касающимися времени жизни Z^0 -бозонов, полученных на новых ускорителях (особенно перспективен, по-видимому, ускоритель LEP в ЦЕРНе со встречными пучками электронов и позитронов [102, 111]). Итак, вероятно, существуют нейтрино (и антинейтрино) только трех типов.

Вообще же общая проблема спектра масс частиц, т.е. вопрос о предсказании параметров (в первую очередь массы и спина) всех существующих частиц далеко не решена, особенно если иметь в виду частицы, выпадающие их схем «великого объединения» и «суперобъединения» (см. § 15). Среди таких чисто гипотетических частиц — и тахионы (которые, скорее всего, существовать все же не могут), и максимоны, а также другие частицы, обладающие лишь гравитационным взаимодействием (ссылки см. в [I]).

§ 15. Великое объединение. Распад протона. Масса нейтрино. Магнитные монополи. Суперобъединение. Суперструны

Успехи единой теории слабого и электромагнитного взаимодействий, с одной стороны, и достижения теории сильных взаимодействий (квантовой хромодинамики), с другой стороны, стимулируют создание единой теории всех упомянутых трех взаимодействий (таким образом, невключенным остается лишь гравитационное взаимодействие). Такое уже упоминавшееся объединение называют «великим объединением». В основу обычно кладут

три сорта кварков (дублеты u -, d -, c -, s -, t -, b -кварков, причем каждый кварк может иметь три цвета) и три сорта лептонов (дублеты ν_e , e ; ν_μ , μ ; ν_τ , τ), причем у каждой частицы имеется античастица (все частицы имеют спин $1/2$, т.е. являются фермионами). Из всех 24 частиц (не считая античастиц) вполне достоверно не обнаружены лишь t -кварки (правда, и существование «сопряженного» с τ -мезоном нейтрино ν_τ устанавливается довольно косвенным образом). Все эти частицы вместе с рядом скалярных (спин 0) и векторных (спин 1) бозонов объединяются с учетом некоторых требований симметрии и калибровочной инвариантности — это и есть великое объединение. Оно еще далеко не завершено и не может считаться однозначным (см. [31] и указанную там литературу). Для меня во всем этом имеется много неясных моментов, и поэтому тем меньше я имею оснований входить здесь в какие-либо детали. Основные же качественные результаты великого объединения, которые хотелось бы здесь подчеркнуть, кажутся естественными уже из весьма общих соображений. В самом деле, поскольку кварки и лептоны как-то рассматриваются (в каком-то смысле объединяются) вместе, значит, они, вообще говоря, должны превращаться друг в друга и могут вносить вклад в массу всех частиц.

Отсюда вытекает поразительная возможность — протон оказывается (или, точнее, может оказаться) нестабильным! Действительно, из энергетических соображений распад, например, типа $p \rightarrow \pi^0 + e^+$ вполне возможен. Если барионное число сохраняется, то такой распад запрещен, но возможность превращения кварков в лептоны и наоборот как раз и отвечает несохранению барионного числа. Имевшиеся еще недавно экспериментальные данные свидетельствовали о том, что среднее время жизни протона $T_p > 10^{30}$ лет (напомним, что «возраст Вселенной» — время ее наблюдаемого расширения — составляет величину порядка только 10^{10} лет). В объеме, содержащем массу $M = 10^4$ т = 10^{10} г воды, в котором находится примерно $N = 10^{34}$ нуклонов, при $T_p = 10^{31}$ лет должно наблюдаться $N/T_p \sim 10^3$ распадов в год (если предположить, что связанный нейтрон распадается примерно с той же вероятностью, что и протон). Теория великого объединения еще не предсказывает, однако, точного значения T_p . Существуют варианты теории, в которых $T_p \rightarrow \infty$ (протон стабилен), но в ряде исследованных вариантов $T_p \sim 10^{30} - 10^{33}$ лет. Как ясно из приведенного примера, измерить время $T_p \sim 10^{31}$ лет еще можно, но, если $T_p > 10^{33}$ лет, решение задачи отодвинется, вероятно, на много лет. Соответствующие эксперименты проводятся (в наибольшем из детекторов содержится около 10^4 т воды — поэтому выше мы и выбрали для примера такую массу воды). Распад протона (типа $p \rightarrow \pi^0 + e^+$) еще не обнаружен; последние известные нам данные дают оценку $T_p > 3 \cdot 10^{32}$ лет.

Нужно отметить, что в некоторых теоретических схемах распад протона не должен происходить преимущественно по указанному каналу $p \rightarrow \pi^0 + e^+$. Так, могут быть особенно важны каналы $p \rightarrow K^0 + \mu^+$, $p \rightarrow K^+ + \nu$ и некоторые другие. В этом случае полученный уже результат для канала $p \rightarrow \pi^0 + e^+$ важен, но не определяет времени жизни протона. Созданы уже установки для поисков, в частности, реакции $p \rightarrow K^0 + \mu^+$ (чаще пишут сокращенно — обозначают продукты этого распада как $\mu^+ K^0$). Результаты, полученные на этих установках, также не свидетельствуют об обнаружении распада протона.

Помимо распада протона в некоторых вариантах теории предсказывается превращение нейтрона в антинейтрон и обратно (нейтронные осцилляции) [316].

Если распад протона будет обнаружен, то это окажется торжеством теории великого объединения, но, как ясно из сказанного, отрицательный результат ее еще не опровергнет. Если $T_p \lesssim 10^{33}$ лет, то сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия сравниваются при колоссальной энергии $E_x \sim 10^{15} - 10^{16}$ ГэВ, чему отвечает масса $m_x = E_x/c^2 \sim 10^{-9} \div 10^{-8}$ г (масса протона $m_p = 1,67 \cdot 10^{-24}$ г). Такое большое значение m_x как раз и обеспечивает малую вероятность распада протона. Заметим, что так называемая гравитационная, или планковская масса (масса максимона) $m_g = \sqrt{\hbar c/G} = 2,2 \cdot 10^{-5}$ г ($E_g = m_g c^2 \sim 10^{19}$ ГэВ) лишь на три-четыре порядка величины больше приведенной массы m_x . Массе m_g отвечает

длина $l_g = \hbar/(m_g c) = \sqrt{G\hbar/c^3} = 1,6 \cdot 10^{-33}$ см, в то время как длина $l_x = \hbar/(m_x c) \sim 10^{-29} \div 10^{-30}$ см. Отсюда следует, что великое объединение связано с предположением об отсутствии какой-либо фундаментальной длины $l_f > 10^{-29}$ см (см. § 16).

Следующим шагом после великого объединения (подчеркнем еще раз, что оно еще далеко не завершено) должно явиться объединение всех взаимодействий, включая гравитационное. С этим в рамках известных представлений (при отсутствии фундаментальной длины, большей l_g) связан переход в область длин $l \sim l_g \sim 10^{-33}$ см, масс $m \sim m_g \sim 10^{-5}$ г и энергий $E \sim E_g \sim 10^{19}$ ГэВ = 10^{28} эВ (выше мы иногда приводили массу в энергетических единицах — электронвольтах, что, конечно, вполне допустимо; здесь же для ясности проводится различие между массой m и энергией $E = mc^2$).

Над объединением различных взаимодействий, отвечающим мечтам Эйнштейна о подлинно единой теории поля, сейчас усиленно работают. Теория, объединяющая электромагнитное и гравитационное взаимодействия, в которой приходится вводить также частицы со спином $3/2$ (гравитино), называется супергравитацией. Существует еще более общая схема суперобъединения, охватывающая все известные взаимодействия. Подробнее касаться этой проблемы, как и связи с космологией, и некоторых других вопросов здесь нет возможности. Важно заметить, что в супергравитации и вообще при суперобъединении существенно использование суперсимметричных выражений. Это означает, грубо говоря, что соответствующие выражения, скажем, для энергии взаимодействия должны обладать суперсимметрией — не изменяться при замене частиц с полуцелым спином на частицы с целым спином. Например, наряду с частицей со спином $1/2$ присутствует частица со спином 0 , а частице со спином 2 (гравитону) отвечает также частица со спином $3/2$ (гравитино) и т.д.

Связь между нейтрино и другими частицами, отражающая их объединение, приводит к тому, что нейтрино, вообще говоря, имеет отличную от нуля массу покоя m_ν (эта масса может, конечно, быть различной для ν_e , ν_μ и ν_τ -нейтрино). Эту массу при современном состоянии теории вычислить нельзя, да если бы и было возможно, все равно необходимо определить массу нейтрино на опыте. Такая постановка вопроса отнюдь не нова. Масса нейтрино (имеется в виду электронное нейтрино ν_e) обычно раньше считалась равной нулю по двум причинам. Во-первых, из опыта известно, что эта масса мала в том смысле, что $m_{\nu_e} \ll m_e = 5,1 \cdot 10^5$ эВ (ниже будем выражать массу в энергетических единицах). Во-вторых, теоретическая схема, в которой $m_{\nu_e} = 0$, проще и элегантнее, чем при $m_{\nu_e} \neq 0$. Но, разумеется, была ясна недостаточность таких соображений и проводились опыты, позволяющие установить предел $m_{\nu_e} < 50$ эВ $\sim 10^{-4} m_e$. Основная идея таких экспериментов — изучение спектра β -распада, причем удобно использовать распад трития ($t \rightarrow {}^3\text{He} + e^- + \bar{\nu}_e$), поскольку граница спектра в этом случае весьма низка ($E_{e,max} = 18,6$ кэВ). В 1980 г. опыты такого типа были произведены с еще большей, по мнению их авторов [99], точностью (вернее, 1980 г., как обычно в таких случаях, относится к времени публикации). В результате было высказано утверждение, что масса m_{ν_e} лежит в интервале 14—46 эВ. Нет сомнений в том, что опыты должны быть продолжены, и при том в нескольких лабораториях. Пока что (к 1991 г.) новых надежных данных такого типа не появилось (правда, чаще фигурирует оценка $m_{\nu_e} < 10$ эВ).

Широко обсуждается вопрос о так называемых осцилляциях нейтрино — превращении ν_e -нейтрино в другие сорта нейтрино (ν_μ , и ν_τ) и наоборот. Если такие осцилляции имеют место, то массы различных нейтрино должны быть отличны одна от другой, и, следовательно, по крайней мере одна из масс не должна равняться нулю. Наличие осцилляции должно приводить к тому, что интенсивность даже не расходящегося пучка (скажем, ν_e -нейтрино) в вакууме, регистрируемая в эксперименте, должна изменяться с расстоянием. Такая возможность очень важна с принципиальной точки зрения и, в частности, для интерпретации опытов по детектированию нейтрино от Солнца (см. § 25). К

концу 1990 г. каких-либо надежных указаний на существование нейтринных осцилляций не получено.

Если масса нейтрино $m_\nu \gtrsim 10$ эВ, то это имеет огромное космологическое значение (см. [316] и § 21). Но если массы всех сортов нейтрино $m_\nu < 1$ эВ, то роль нейтрино для космологии уже, вообще говоря, незначительна. Для физики же естественно необходимо знать массу всех сортов нейтрино независимо от того, какова она. Определение массы нейтрино — одна из важнейших и актуальнейших задач микрофизики.

Развитие теории великого объединения возродило интерес к довольно старой проблеме — возможности существования магнитных монополей [42], т.е. частиц, обладающих магнитными зарядами, — магнитных аналогов, скажем, протона и антипротона (можно сказать, мы указываем на это во избежание путаницы в терминологии, что протоны, антипротоны и другие электрически заряженные частицы являются электрическими монополями, хотя такая терминология обычно и не применяется). Из некоторых вариантов теории следует, что могут существовать сверхтяжелые магнитные монополи (их масса $m_m \sim 10^{-8}$ г, что на 16 порядков больше массы протона). Такие монополи могли бы рождаться на ранних (горячих) стадиях эволюции Вселенной. В силу ее физического и космологического значения к проблеме магнитных монополей привлечено сейчас большое внимание.

Несмотря на довольно энергичные поиски, магнитные монополи пока что (к концу 1990 г.) не обнаружены. Этот факт уже сам по себе накладывает некоторые ограничения или на теорию, или на используемые модели Вселенной. Вопрос о магнитных монополях, несомненно, принадлежит к числу важнейших в современной физике и космологии. То же можно сказать о так называемых космических струнах — протяженных (с космическими размерами) нитях с гигантской массой, равной, скажем, 10^{22} г на 1 см длины нити [43, 44]. Характерная толщина космической струны $l_s \sim \hbar/(m_s c) \sim 10^{-29}$ см, где $m_s \sim 10^{15}$ ГэВ — масса частиц, отвечающих великому объединению (см. выше, где масса m_s была обозначена через m_x). Если бы космические струны существовали (а они еще не обнаружены), то могли бы вносить большой (если не решающий) вклад в массу космологической темной материи (см. § 23). Космическая струна могла бы в принципе наблюдаться по отклонению проходящих вблизи нее световых лучей. В литературе рассматриваются также сверхпроводящие космические струны — по ним может протекать незатухающий ток, в силу чего создается сильное магнитное поле. Последнее в принципе обнаружимо, например, по синхротронному излучению находящихся вблизи струны релятивистских частиц.

Помимо космических струн в физической литературе даже чаще фигурируют суперструны. Это совсем иные образования — микроскопические объекты с характерными размерами порядка планковской длины $l_g = \sqrt{G\hbar/c^3} \sim 10^{-33}$ см. Идея теории суперструн заключается в том, что «элементарные частицы» считаются не точечными образованиями, а одномерными струнами (разомкнутыми или замкнутыми). Термин «суперструны» (а не просто «струны») отражает то обстоятельство, что струны (точнее, описывающие их выражения) считаются суперсимметричными. Чаще всего суперструны рассматриваются в десяти измерениях, шесть из которых «компактифицируются» (как бы замыкаются в виде тонких «трубок»), так что в конце концов мы приходим к образованию в четырехмерном пространстве-времени [45]. Конечно, в такой форме трудно, если не невозможно, понять, что же такое суперструна, а тем более, какова теория суперструн. Но приходится здесь ограничиться ссылкой на популярную статью (впрочем, рассчитанную на физиков) [45]. Еще совсем недавно, буквально несколько лет назад (скажем, в 1984–1987 гг.), суперструны были крайне популярны — считались «последним словом» теоретической физики. Какие только надежды не возлагались на теорию суперструн, именовавшуюся даже «теорией всего» (Theory of everything)! Собственно, «последним словом» или «криком» суперструны остались и сегодня (в начале 1991 г.), но, насколько я могу судить, происходит «отрезвление». Мода на суперструны спадает, и я не буду удивлен, если через некоторое

время суперструны займут место многих других моделей, подававших большие надежды. Впрочем, кто знает? Сама по себе тенденция перейти в рамках релятивистской теории от точечных объектов к протяженным, работа в многомерном пространстве и другие особенности теории суперструн и мне кажутся очень привлекательными. Но каких-то ярких успехов в этой области еще нет, имеются главным образом, как любил говорить Л.Д. Ландау, «физнадежды». Однако «надежд» бывает много, а правильный путь — один и, видимо, еще не нащупан... Но сколь увлекательно искать этот путь, надеяться на успех!

Если теория суперструн переживает известные трудности (может быть, кризис), а до «теории всего», вероятно, еще далеко, то это не должно затмевать больших успехов теории сильных взаимодействий или квантовой хромодинамики и теории электрослабых взаимодействий (совокупность двух этих теорий иногда называют стандартной моделью — в фундаменте модели лежат три пары цветных кварков (u, d) , (c, s) , (t, b) и три пары лептонов (e, ν_e) , (μ, ν_μ) и (τ, ν_τ)). Поскольку стандартная теория состоит из двух частей, ее иногда называют также двухглавой, состоящей из двух «башен» [46]. С этой точки зрения (точнее, при такой терминологии) попытки создания суперобъединения имеют своей целью объединить две эти «башни» совместно с гравитацией под один свод. Теория суперструн (быть может, нелишне сказать и так) стремится объединить квантовую теорию поля (сюда относится и стандартная модель), базирующуюся на квантовой механике и специальной теории относительности, с гравитацией, с общей теорией относительности. Как сказано, цель еще не достигнута, но это великая цель.

§ 16. Фундаментальная длина. Взаимодействие частиц при высоких и сверхвысоких энергиях

В специальной и общей теории относительности, в нерелятивистской квантовой механике, в существующей теории квантовых полей используется представление о непрерывном, по сути дела классическом, пространстве и времени (точка пространства-времени характеризуется четырьмя координатами $x_i = x, y, z, ct$, могущими принимать непрерывную последовательность значений). Но всегда ли законен такой подход? Откуда следует, что «в малом» пространство и время не становятся совсем иными, какими-то «зернистыми», дискретными, квантованными? Вопрос этот отнюдь не нов и, по-видимому, впервые был поставлен Б. Риманом еще в 1854 г. [47], а затем обсуждался неоднократно.

Так, в своей известной лекции «Геометрия и опыт» А. Эйнштейн в 1921 г. говорил [48]: «Предложенная здесь физическая интерпретация геометрии не может быть непосредственно применима к областям пространства субмолекулярных размеров. Тем не менее даже в вопросах строения элементарных частиц она сохраняет некоторый смысл. В самом деле, в том случае, когда мы описываем электрические элементарные частицы, составляющие материю, можно сделать попытку сохранить физический смысл за теми аспектами поля, которые использовались в физике для описания геометрического поведения тел, больших по сравнению с молекулами. Только успех может служить оправданием такой попытки приписать физическую реальность основным понятиям римановой геометрии вне области их физического определения. Однако может оказаться, что подобная экстраполяция имеет не больше оснований, чем распространение понятия температуры на части тела молекулярных размеров».

Ясно сформулированный здесь вопрос о границах применимости римановой геометрии (т.е., по существу, макроскопических, или классических, геометрических представлений) остается без ответа и до сих пор. По мере продвижения в область все больших энергий и, следовательно, более «близких» столкновений различных частиц масштаб необследованной области пространства уменьшается. В принципе не исключено, что предела нет вообще, но все же значительно более вероятно существование какой-то фундаментальной

(элементарной) длины $l_f < 10^{-16} \div 10^{-17}$ см, которая ограничивает возможности классического пространственного описания¹.

Проблема фундаментальной длины обсуждается в разных формах уже много лет (эта длина входит в различные варианты теории квантованного пространства и некоторые другие теории). С проблемой фундаментальной длины тесно связаны вопрос о возможных нарушениях причинности в микромире (или, как говорят, о нарушении микропричинности), ряд других направлений в микрофизике, а также проблема сингулярностей в общей теории относительности и космологии (см. § 21). Если какая-то фундаментальная длина существует, то естественно полагать, что она играет большую роль в физике частиц. Наиболее часто фундаментальную длину вводили в связи с проблемой «расходимостей», встречающейся в теории поля. Такие расходимости (бесконечные выражения) появляются в основном при учете все более коротких длин волн (ультрафиолетовая катастрофа) в различных выражениях, содержащих спектральное разложение и определяющих энергию и некоторые другие величины.

Для точечных частиц (а в существующей релятивистской квантовой теории поля частицы считаются точечными) не существует какой-либо естественной длины, «обрезающей» спектр, и, казалось бы, появление расходимостей неизбежно. Однако еще в классической физике научились до известной степени обезвреживать некоторые расходимости путем «перенормировки» массы (имеется в виду, например, замена в уравнении движения заряженной частицы суммы некоторой механической, или «затравочной», массы и электромагнитной массы на экспериментально наблюдаемую массу частицы). Крупнейшим успехом квантовой электродинамики в 40-е и 50-е годы явилось проведение последовательной «перенормировки» всех расходящихся выражений при использовании теории возмущений. В результате была построена теория, полностью согласующаяся с экспериментом [50]. Но экспериментальные данные отвечают длинам, не меньшим $l \sim 10^{-16}$ см (этому соответствует энергия $E \sim \hbar c/l \sim 0,1$ эрг ~ 100 ГэВ).

Другими словами, сейчас можно довольно надежно утверждать, что вплоть до расстояний $l \sim 10^{-16}$ см никакой новой фундаментальной длины l_f не существует и применимы наши обычные представления о пространстве (это отвечает интервалу времени $t \sim l/c \sim 3 \cdot 10^{-27}$ с).

Однако и раньше не вводилась фундаментальная длина $l_f > 10^{-17}$ см. Напротив, значение $l_f \sim 10^{-17}$ см довольно широко использовалось в качестве границы применимости неперенормируемых теорий и, по сути дела, в качестве фундаментальной длины, на которой более или менее автоматически должно происходить обрезание всех расходящихся выражений. А такое обрезание было необходимо, в частности, в теории слабых взаимодействий до ее объединения с электродинамикой. Но сейчас, когда такое объединение осуществлено, теория стала перенормируемой, расходимости исчезли, и в этом, собственно, состоит одно из основных достижений новой теории.

Таким образом, реальные основания для введения фундаментальной длины $l_f \sim 10^{-17}$ см исчезли. Это обстоятельство столь вдохновило теоретиков, что о фундаментальной длине вообще практически забыли и смело работают с длинами порядка $10^{-29} - 10^{-30}$ см (см. § 15) и вплоть до гравитационной (планковской) длины $l_g = \sqrt{\hbar G/c^3} \sim 10^{-33}$ см. Последняя длина и играет, по сути дела, роль фундаментальной длины. Что же, такой подход разумен и оправдан, поскольку для введения длины $l_f > l_g$ нет никаких реальных оснований. Но столь же ясной представляется и необходимость помнить, что производится экстраполяция (если можно так выразиться) известных пространственно-временных представлений на целых 17 порядков (от $l \sim 10^{-16}$ до $l \sim l_g \sim 10^{-33}$ см!). Столь дерзкая

¹Родственным является вопрос о размерности пространства [49], который в последнее время привлекает к себе особенно большое внимание. В этой связи см. и упоминавшуюся статью [41], касающуюся обобщения квантовой теории.

экстраполяция типична для физики (другой пример: предположение о полной справедливости установленных в земных лабораториях законов на всю Вселенную, за исключением ближайших окрестностей «начальной» сингулярности; точнее см. § 21). Но это не значит, что следует забыть о возможности существования какой-то фундаментальной длины $l_f > l_g$. Если она существует, то, вероятно, радикально скажется на всей физике при длинах $l \lesssim l_f$, причем не только на микрофизике, но и на черных минидырах, на космологии; см. § 21, 22 и [44].

Вот почему вычеркнуть проблему фундаментальной длины из списка ключевых проблем физики и астрофизики нет оснований.

Изучение взаимодействия частиц при высоких и сверхвысоких энергиях служит целому ряду целей: «прощупыванию» структуры частиц и самого пространства в малых масштабах, обнаружению все новых и новых частиц разных типов, определению энергетической зависимости сечений упругого и неупругого рассеяния.

При столкновении нуклона с нуклоном можно проанализировать сближение на расстоянии вплоть до

$$l = \frac{\hbar}{m_{\pi}c} \frac{Mc^2}{E_c}, \quad (10)$$

где $\hbar/(m_{\pi}c) \sim 10^{-13}$ см — комптоновская длина для π -мезона, M — масса нуклона ($Mc^2 \approx 1$ ГэВ) и E_c — энергия нуклона в системе центра масс. Если один из нуклонов покоится, а другой имеет энергию

$$E = \sqrt{M^2c^4 + c^2p^2},$$

то (в расчете на один нуклон)

$$E_c = \sqrt{(E + Mc^2)Mc^2/2}. \quad (11)$$

Если сама проблема изучения взаимодействия при высоких энергиях является вечной, то достигнутая максимальная энергия, естественно, все время изменяется. В 1971 г. максимальная энергия, достигнутая на ускорителе, составляла 75 ГэВ (Серпухов). В 1983 г. максимальная энергия протонов в лабораторной системе отсчета равнялась 500 ГэВ (Батавия, США). Однако в системе центра масс эта энергия в расчете на один нуклон равна всего $E_c \approx \sqrt{Mc^2E/2} \approx 15$ ГэВ и $l \approx 5 \cdot 10^{-15}$ см (см. (10), (11)).

Дальнейший прогресс в области создания ускорителей связывается в первую очередь с ускорителями, работающими на встречных пучках. В этом методе используются сталкивающиеся частицы, движущиеся навстречу друг другу. Если каждая из этих частиц имеет энергию E' и массу покоя M , то система центра масс совпадает с лабораторной системой, причем $E_c = E'$. Очевидно, во встречных пучках (с энергией частиц E' в каждом пучке) можно «породить» состояния (частицы) с энергией до $2E'$. Как уже упоминалось в § 14, сейчас в Швейцарии работает ускоритель на встречных пучках протон — антипротон с $E_c = 270$ ГэВ (такова энергия частиц в каждом пучке, и, следовательно, в принципе можно порождать частицы с $mc^2 = 540$ ГэВ; практически, однако, сечение рождения частиц вблизи порога обычно мало и наблюдать можно лишь частицы, суммарная масса которых меньше пороговой). С 1989 г. в Батавии уже работает ускоритель с энергией протонов (или антипротонов) в каждом из встречных пучков $E_c = 900$ ГэВ. Это отвечает энергии протонов в лабораторной системе

$$E \approx \frac{2E_c^2}{Mc^2} \approx 10^6 \text{ ГэВ} = 10^{15} \text{ эВ}.$$

В СССР существует проект ускорителя на встречных пучках протонов с $E_c = 3000$ ГэВ = 3 ТэВ (отсюда $E \approx 2 \cdot 10^{16}$ эВ и $l = \frac{\hbar}{m_{\pi}c} \frac{Mc^2}{E_c} \approx 3 \cdot 10^{-17}$ см). В США имеется проект

ускорителя на встречных пучках протонов с $E_c = 20 \text{ ТэВ} = 2 \cdot 10^{18} \text{ эВ}$ (так называемый SSC-сверхпроводящий сверхускоритель).

В космических лучах заведомо имеются частицы с энергией порядка 10^{20} эВ , но их очень мало; однако при $E \geq 10^{18} \text{ эВ}$ интегральная интенсивность первичных космических лучей у Земли порядка $10^{-2} \text{ част. / (км}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{ч)}$, т.е. порядка $10^2 \text{ част. / (км}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{год)}$. Поэтому в области энергий до $E \sim 10^{17} \div 10^{18} \text{ эВ}$ еще вполне реально использование космических лучей для физики высоких энергий (и в СССР соответствующая установка строится; см. [51]); при $E \geq 10^{16} \text{ эВ}$ интенсивность первичных космических лучей уже порядка $10^6 \text{ част. / км}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{год}$). Пренебрежение космическими лучами при исследованиях в физике высоких энергий, в области, еще не достигнутой на ускорителях, представляется, по меньшей мере, близорукостью. Впрочем, быть может, здесь было бы правильнее говорить о снобизме, весьма распространенном и в научной среде. Так или иначе, вся история развития физики высоких энергий (см. [52] и указанную там литературу) достаточно ясно свидетельствует в пользу использования космических лучей в физике высоких энергий, и я надеюсь, что будущее еще не раз подтвердит такое заключение.

При столкновениях частиц, не испытывающих сильного взаимодействия (мюоны, электроны, фотоны), наименьшая длина l , фигурирующая при столкновениях, порядка длины волны в системе центра масс, т.е.

$$l = \frac{\hbar c}{E_c} = \frac{\hbar}{m_i c} \frac{m_i c^2}{E_c}$$

(здесь $E_c \gg m_i c^2$, где m_i — массы сталкивающихся частиц), и возможности достижения малых расстояний несколько более благоприятны, чем в случае нуклонов. Кроме того, при высокой точности измерений и тщательном сравнении с теорией, вообще говоря, удастся «прощупывать» расстояния, которые несколько меньше получаемых просто на основании приведенных грубых оценок. Но все равно, совершенно ясно, сколь трудно перешагнуть предел $l \sim 10^{-16} \div 10^{-17} \text{ см}$ (при $E_c = 1000 \text{ ГэВ}$ длина $l = \hbar c / E_c \approx 1,5 \cdot 10^{-17} \text{ см}$).

Заметим, что создание ускорителей электронов с высокой энергией представляет большой интерес отнюдь не только и даже не столько по отмеченной выше причине (замена длины $l = \frac{\hbar}{m_{\pi} c} \frac{M c^2}{E_c}$ на $l = \frac{\hbar c}{t_c}$, а в силу возможности порождения других частиц и, главное, с другими сечениями. Так, на недавно вступившем в строй в США ускорителе на встречных пучках электронов и позитронов (e^+e^- -пучки) с энергией «всего» по 50 ГэВ в каждом пучке Z^0 -частицы должны появляться несравненно чаще, чем на упомянутом ускорителе с pp-пучками в Швейцарии с $E_c = 240 \text{ ГэВ}$. В ЦЕРНе (Швейцария) в 1989 г. запущен ускоритель на встречных пучках электронов и позитронов с энергией, которая достигнет 100 ГэВ. Длина окружности (траектории), по которой движется частица в этом циклическом ускорителе ЛЭП (LEP), составляет около 27 км, стоимость ускорителя около 400 млн. долл., необходимая мощность электроснабжения примерно такая же, как для города с населением 150 тыс. человек (о перспективах работы LEP см. статью [102]).

Отметим попутно, что колоссальные трудности, с которыми часто связано изучение частиц с очень высокими энергиями, малыми временами жизни и т.п., стимулируют развитие новых методов и способов ускорения и детектирования частиц. Прогресс в области создания ускорителей и детектирующих устройств (пузырьковые и искровые камеры, различные счетчики и т.д.) является весьма впечатляющим. В этой связи вообще следует подчеркнуть, что микрофизика помимо всего прочего оплодотворяет и обогащает всю физику в плане развития методов и техники эксперимента.

Помимо получения все новых частиц в задачу физики высоких энергий входит измерение различных эффективных сечений. При больших энергиях при этом не только происходит рассеяние и рождение отдельных частиц, но и наблюдается в первую очередь множественное рождение частиц. Множественное рождение обладает своей спецификой,

которую пытаются учитывать с помощью статистических и гидродинамических методов [53]. Сказанное в основном относится к соударениям сильно взаимодействующих частиц — адронов (барионов и мезонов), и поэтому особо нужно упомянуть о взаимодействии с веществом мюонов и нейтрино высоких энергий, в частности тех, которые создаются в земной атмосфере космическими лучами (речь в основном идет о нейтрино от распада мюонов и я-мезонов, созданных космическими лучами). Наконец, нужно особо упомянуть о важности изучения энергетической зависимости различных сечений. Так, для теории имеет глубокое значение выяснение поведения сечений (в первую очередь для сильно взаимодействующих частиц) при все больших и больших энергиях (или, формально, при $E \rightarrow \infty$).

§ 17. Несохранение CP -инвариантности. Нелинейные явления в вакууме в сверхсильных электромагнитных полях. Фазовые переходы в вакууме. Несколько замечаний о развитии микрофизики

Проблем в области микрофизики много, и мы уже выше объединяли в одном параграфе разные вопросы. Здесь же соединены еще более разнородные проблемы, чему не следует, конечно, придавать значения — просто не хотелось умножать число маленьких параграфов.

В 1956 г. было открыто несохранение пространственной четности P при слабых взаимодействиях. Это значит, что при β -распаде радиоактивных ядер (в первых опытах использовались ядра ^{60}Co), магнитные моменты которых ориентированы во внешнем магнитном поле, (β -электроны испускаются в разном числе вдоль поля и в противоположном направлении. Таким образом, процесс распада идет по-разному в правой и левой системах координат, что как раз и отвечает несохранению пространственной четности.

Однако все обнаруженные вплоть до 1964 г. распады удовлетворяли принципу комбинированной четности, согласно которому все взаимодействия инвариантны относительно CP -сопряжения, т.е. одновременной пространственной инверсии P и зарядового сопряжения C (замены частицы на античастицу). Несохранение пространственной четности можно понимать и таким образом: частица (скажем, нейтрон) обладает каким-то «внутренним винтом», в силу чего ее β -распад идет по-разному в направлении вдоль «винта» и в противоположном направлении. Тогда сохранение комбинированной четности означает, что нарезки «винта» у частицы и ее античастицы противоположны в том смысле, что «левый винт» заменяется на «правый».

Обнаружение несохранения P - и C -четностей и сохранения CP -четности явилось одним из крупнейших открытий и еще больше повысило интерес, всегда находившийся на высоком уровне, к слабым взаимодействиям. И нужно сказать, что вскоре слабые взаимодействия опять «оправдали доверие»: в 1964 г. было сделано еще одно открытие, значение которого, видимо, весьма велико, хотя еще далеко не полностью понято. Речь идет об обнаружении распада $K_2^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ ($K_2^0 \equiv K_L$ — долгоживущий нейтральный K -мезон, распадающийся в данном случае на π^+ и π^- -мезоны), который может идти только при нарушении комбинированной четности [54]. Итак, в природе наблюдается нарушение CP -четности, хотя и нужно отметить, что во всех известных случаях процессы с нарушением CP -инвариантности на три порядка величины менее вероятны, чем процессы, идущие без такого нарушения (в настоящее время широко обсуждаются данные о распаде B^0 -мезонов, когда CP -несохранение согласно теории должно быть весьма значительно [46]).

Несохранение CP -инвариантности приводит, по-видимому, к фундаментальному выводу о неэквивалентности прямого и обратного направлений времени. Дело в том, что

из весьма общих соображений — можно сказать, из основ существующей теории — вытекает свойство *CPT*-инвариантности всех взаимодействий. Это значит, что взаимодействия (и, конечно, все их проявления) остаются неизменными при проведении (в любом порядке) трех операций — пространственной инверсии *P*, зарядового сопряжения *C* и обращения знака времени (замена *t* на $-t$ или операции *T*). Насколько фундаментальна *CPT*-инвариантность, видно из того, что она гарантирует равенство масс и времени жизни для частиц и античастиц. Нет никаких указаний на нарушение этих свойств частиц и античастиц.

Если *CPT*-инвариантность имеет место, то из *CP*-неинвариантности следует и *T*-неинвариантность, т.е. неинвариантность относительно изменения знака времени. Между тем как классическая теория (механика, электродинамика и общая теория относительности), так и квантовая механика и квантовая теория поля удовлетворяют требованию обратимости во времени (формально это означает, что уравнения теории инвариантны относительно замены времени *t* на $-t$; поэтому при соответствующем изменении начальных условий каждый процесс пойдет в обратном направлении по тому же пути и через те же состояния, через которые он шел в прямом направлении)¹.

Таким образом, в наиболее вероятном, хотя строго и не доказанном случае — при наличии *CPT*-инвариантности — обнаружение сохранения *CP*-инвариантности привело к открытию *T*-неинвариантности для фундаментальных взаимодействий и процессов. Такой вывод можно было бы интерпретировать в известном смысле аналогично проведенной выше интерпретации *P*- и *C*-неинвариантности. Именно, считая «элементарные» частицы очень сложными образованиями (а так оно в известном смысле и есть), можно себе представить, что в частице не только имеется «внутренний винт», но и работают «собственные часы», идущие в определенном направлении.

Изучение *CP*-несохранения при слабых взаимодействиях продолжается, причем особенно интересен был бы переход в область больших энергий. Возможно, например, что при больших энергиях и отвечающих им (в известном отношении) малых пространственно-временных расстояниях *CP*-несохранение и *T*-несохранение уже не «малы» (скажем, сравнимы по своей вероятности с вероятностью слабого взаимодействия). Через 16 лет (в 1980 г.) после открытия нарушения *CP*-симметрии Дж. Крониному и В. Фитчу за эту работу была присуждена Нобелевская премия по физике. При этом в лекциях обоих лауреатов указывается [54], что удовлетворительное теоретическое понимание нарушения *CP*-инвариантности все еще отсутствует. Таким образом, исследования нарушения *CP*-четности, обнаруженного в 1964 г., сохраняют свою актуальность; эта проблема в целом еще не решена.

Перейдем к совершенно другому вопросу — нелинейным явлениям в вакууме в сверхсильных электромагнитных полях. В известном смысле это более узкая проблема по сравнению с большинством проблем, затронутых в § 13–16. Впрочем, соответствующий круг вопросов достаточно важен и интересен, и его обсуждение вряд ли может вызвать возражения.

О своеобразии поведения вещества в сверхсильных магнитных полях речь уже была в § 8. Сильное электрическое поле в отличие от магнитного вообще разрушает атом. Так, если напряженность внешнего электрического поля \mathcal{E} — одного порядка величины с напряженностью поля ядра (протона) на расстоянии радиуса атома

$$a_0 = \hbar^2/(me^2) \approx 5 \cdot 10^{-9} \text{ см},$$

¹Наблюдающаяся в макроскопической физике необратимость (неэквивалентность) прошлого и будущего (т.е. неинвариантность относительно замены *t* на $-t$) связана со сложностью макроскопических объектов (речь идет об огромном числе частиц) и обусловленной этой сложностью тенденцией развития движения от более упорядоченного к менее упорядоченным состояниям. В связи с обнаружением странных аттракторов (см. § 10) стало ясно, что «практическая» необратимость во времени, аналогичная имеющей место для макросистем, возможна и для нелинейных систем с небольшим числом степеней свободы.

т.е. если

$$\mathcal{E} \sim e/a_0^2 \sim e^5 m^2 / \hbar^4 \sim 10^7 \text{ ед.}, \text{ СГСЭ/см} \approx 3 \cdot 10^9 \text{ В/см}, \quad (12)$$

то атом водорода очень быстро разрушается. Фактически такое разрушение (ионизация атома во внешнем электрическом поле) происходит и в более слабых полях, но в поле $\mathcal{E} \ll 10^8 \div 10^9 \text{ В/см}$ атом водорода живет достаточно долго. Атом урана будет полностью, и притом быстро, «ободран» — лишен всех электронов — лишь в полях порядка $10^9 Z^3 \sim 10^{15} \text{ В/см}$ (заряд ядра урана $eZ = 92e$, а радиус K -оболочки урана $a_{0z} \sim \hbar^2 / (me^2 Z) \sim 10^{-10} \text{ см}$, в силу чего поле ядра на этой оболочке порядка eZ^3/a_0^2).

В еще более сильных электрических полях не только электроны в самых тяжелых атомах «не выдерживают» — отрываются от ядер и ускоряются полем, но «не выдерживает» и сам вакуум! Дело в том, что реальный (физический) вакуум — это уже не пустота; вакуум поляризуется полем, и последнее может порождать из вакуума пары различных частиц, причем легче всего рождаются самые легкие, т.е. электронно-позитронные пары. Такие пары интенсивно рождаются в поле \mathcal{E}_0 , работа которого на расстоянии комптоновской длины волны $\hbar/(mc) \sim 3 \cdot 10^{-11} \text{ см}$ — порядка энергии покоя пары $2mc^2 \sim 10^6 \text{ эВ} \sim 10^{-6} \text{ эрг}$. Отсюда $e\mathcal{E}_0\hbar/(mc) \sim mc^2$, или

$$\mathcal{E}_0 \sim m^2 c^3 / (e\hbar) \sim 10^{14} \text{ ед. СГСЭ/см} \approx 3 \cdot 10^{16} \text{ В/см}. \quad (13)$$

Пары достаточно быстро, хотя и не в катастрофическом темпе, могут рождаться и в более слабых полях. Поэтому достижение, скажем, полей напряженности $\mathcal{E} \sim 10^{14} \text{ В/см}$ уже позволило бы, вероятно, наблюдать рождение пар в вакууме. В столь сильных, а иногда и в меньших полях проявляется также целый ряд других интересных эффектов. При этом важно подчеркнуть, что частицы с высокой энергией E могут бурно порождать пары в электромагнитном поле, которое в $E/(mc^2)$ раз меньше поля (13) (дело в том, что в системе отсчета, связанной с частицей, поле в $E/(mc^2)$ раз сильнее, чем в лабораторной системе отсчета).

В настоящее время в фокусе лазерного пучка достигнуты поля $\mathcal{E} \sim 10^{10} \text{ В/см}$ (плотность потока энергии электромагнитного поля $I = (c/4\pi)\mathcal{E}^2$, и, следовательно, при упомянутом в § 9 значении $I \sim 10^{19} \text{ Вт/см}^2$ поле $\mathcal{E} \sim 6 \cdot 10^{10} \text{ В/см}$). Повышение мощности лазера и потока электромагнитной энергии в фокусе лазерного пучка на 8—10 порядков величины, необходимое для достижения значения $\mathcal{E} \sim 10^{14} \text{ В/см}$, составляет столь трудную задачу, что она в реальном плане, видимо, даже не стоит перед физикой сегодняшнего дня. Но для электронов с энергией $E \sim 20 \text{ ГэВ}$, которая уже достигнута, $E/(mc^2) \sim 4 \cdot 10^4$ и рождение фотонов и пар такими электронами в лазерном фокусе с полем $\mathcal{E} \sim 10^9 \text{ В/см}$ будет идти так же, как для покоящегося вначале электрона в поле $\mathcal{E} \approx 4 \cdot 10^{13} \text{ В/см}$.

Сверхсильные электрические поля существуют вблизи атомного ядра. Так, на границе ядра урана поле $\mathcal{E} \sim eZ/R^2 \sim 3 \cdot 10^{16} \text{ ед. СГСЭ/см} \approx 10^{19} \text{ В/см}$ ($Z = 92$, радиус ядра $R \sim 10^{-12} \text{ см}$). Однако это поле в случае ядра урана еще не может порождать пары; поле нужно еще несколько усилить, и, как следует из количественных расчетов, пары рождаются в поле ядер с $Z > Z_c \approx 170$. Подобные ядра можно создать лишь на короткое время при соударении двух ядер с $Z_1 + Z_2 > Z_c$. Но и такой процесс интересен, не говоря уже о том, что вопрос о поляризации вакуума и рождении пар в поле сверхтяжелых ядер более богат содержанием. Наконец, особое значение имеет проблема рождения пар вблизи сингулярностей в космологических решениях, описывающих эволюцию Вселенной (см. § 21).

Вакуум поляризуется не только сильным электрическим полем, но и магнитным полем, причем характерная напряженность поля $H_0 \sim m^2 c^3 / (e\hbar) \sim 10^{14} \text{ Э}$ (т.е. такая же, как для электрического поля \mathcal{E} , см. (13)). В магнитном поле H , сравнимом с H_0 , и с еще большей резкостью в поле $H > H_0$ вакуум ведет себя подобно нелинейной анизотропной

среде и сильно влияет на распространение электромагнитных волн (т.е., на квантовом языке, на движение и все поведение фотонов). Вопрос о влиянии на вакуум сильного магнитного поля перестал быть абстрактным после выяснения того, что вблизи поверхности пульсаров напряженность магнитного поля может достигать значений $H \sim 10^{13}$ Э (см. также § 22).

Нередко говорят, что специальная теория относительности «упразднила эфир». Это верно лишь в том смысле, что произошел отказ от представлений о заполнении всего пространства какой-то средой, подобной обычной «механической» среде (жидкости, твердому телу). Но, несомненно, в рамках специальной теории относительности и до развития квантовой теории понятие о вакууме в общем было эквивалентно понятию о пустоте, в которой «ничего нет и ничто не происходит». Уже в общей теории относительности положение изменилось, ибо даже при отсутствии каких-либо частиц и полей (например, электромагнитного поля) вакуум характеризуется гравитационным полем $g_{ik}(x_l)$. Это поле (в отличие от электромагнитного) всегда присутствует, и можно сказать, что оно пришло на смену эфиру. Как писал А. Эйнштейн в 1920 г. [55]: «...общая теория относительности наделяет пространство физическими свойствами; таким образом, в этом смысле эфир существует... Однако этот эфир нельзя представлять себе состоящим из прослеживаемых во времени частей; таким свойством обладает только весома материя; точно так же к нему нельзя применять понятие движения».

Еще более богатыми свойствами наделила вакуум квантовая теория. Дело в том, что с квантовой точки зрения даже при отсутствии фотонов (и, следовательно, при равной нулю энергии реального электромагнитного поля) в вакууме существуют нулевые колебания электромагнитного поля, аналогичные нулевым колебаниям механического осциллятора. На несколько другом языке можно сказать, что поле все время флуктуирует или, как иногда говорят, в пространстве (вакууме) появляются и исчезают виртуальные фотоны. Последний образ (или, точнее, его аналог) как-то более нагляден на примере виртуальных электронно-позитронных e^-e^+ -пар: даже в состоянии, в котором реальных электронов и позитронов нет, в результате флуктуации электронно-позитронного поля (а любым частицам в квантовой теории сопоставляется или, лучше сказать, отвечает некоторое поле) все время появляются и опять исчезают электронно-позитронные пары (их и называют виртуальными). Внешнее электромагнитное поле влияет, действует на эти виртуальные пары, в чем и можно видеть физическую причину нелинейности вакуума, его поляризации во внешнем поле. В очень же сильных полях поле порождает, вообще говоря, и реальные пары — об этом упоминалось выше. Разумеется, помимо виртуальных e^-e^+ -пар в вакууме имеются и виртуальные пары или отдельные частицы и всех других полей. Тем самым становится ясным, что вакуум — это отнюдь не пустота. Как мне кажется, здесь очень удачен термин, которым когда-то пользовался И. Я. Померанчук, говоривший о «кипящей операторной жидкости».

В современной квантовой теории поля, объединяющей различные поля, понятие о вакууме еще больше обогатилось — начали рассматривать фазовые переходы в вакууме. Это очень интересный и важный вопрос, тесно связанный, в частности, с представлениями о фазовых переходах в конденсированной среде. Тем не менее здесь трудно было бы подробнее остановиться на проблеме фазовых переходов в вакууме. Ограничимся поэтому ссылками на литературу [40, 58] и лишь одним замечанием.

Допустим, что некоторая часть пространства (полость) находится в термодинамическом равновесии со стенками (с термостатом), имеющими температуру T . Тогда в полости должны присутствовать как хорошо известное электромагнитное тепловое излучение (черное излучение), так и равновесное же число всех других частиц (полей). Разумеется, если температура T очень мала по сравнению с энергией покоящихся электронно-позитронных

пар: $2mc^2 \sim 1 \text{ МэВ} \sim 10^{10} \text{ К}$ ¹, то в полости практически никаких e^-e^+ -пар существовать не будет. Так дело и обстоит в обычных (земных) условиях, ибо даже в существующих моделях термоядерных установок температура $T \lesssim 10^7 \div 10^8 \text{ К}$. Если же $T \gtrsim 10^{10} \text{ К}$, то, очевидно, электронно-позитронные пары будут уже равноправны с фотонами (электромагнитным излучением).

При еще более высоких температурах появятся и другие частицы, все более тяжелые. Но с точки зрения единых теорий поля различные частицы связаны, превращаются друг в друга. Поэтому довольно естественно, что при достаточно высоких температурах будут изменяться и свойства самих частиц, в первую очередь изменится их масса. При какой-то температуре масса тех или иных частиц может обратиться в нуль, что, вообще говоря, качественно изменяет поведение системы и может отвечать ее перестройке — фазовому переходу. Поскольку при высокой температуре пространство богато «населено» даже с классической точки зрения, возможность существования в такой системе фазовых переходов также кажется естественной (но, конечно, при учете связи или взаимодействия между различными частицами).

Как это часто бывает, упомянув выше о том, что при высокой температуре изменение свойств частиц и фазовый переход в вакууме (или, точнее, в пространстве, в котором при $T = 0$ не было никаких частиц) естественны, мы опираемся на уже известные результаты оригинальных исследований. Заранее же, без привлечения аналогий с конденсированной средой и теорией сверхпроводимости сделать такие выводы было бы нелегко. И, во всяком случае, они носили бы лишь словесный характер. Современная же квантовая теория поля позволила конкретизировать этот вопрос, показала, что фазовые переходы возможны, реальны.

Далее, с квантовой точки зрения и при низкой температуре (или, если угодно, даже при $T = 0$) в полости, да и в любой области пространства присутствуют виртуальные поля, взаимодействующие между собой. Поэтому становится если не ясной, то все же в какой-то мере не столь уж неожиданной возможность существования вакуума в различных состояниях, между которыми могут происходить переходы (их тоже можно назвать фазовыми переходами). Разумеется, одно из состояний вакуума будет наименее энергетическим, другие же, если они существуют, окажутся нестабильными или метастабильными.

Даже при всей неполноте и недостаточной четкости нарисованной картины представляется естественным думать, что проблема фазовых переходов особенно важна для космологии. Действительно, на ранних стадиях космологической эволюции в расширяющейся Вселенной (о том, что это значит, см. § 21) встречаются или, точнее, должны были иметь место состояния с гигантскими температурами. В некоторых моделях эволюции Вселенной очень существенна и возможность фазовых переходов при низкой температуре (такая фаза может предшествовать фазе горячей Вселенной; см. § 21).

Таким образом, проблему фазовых переходов в вакууме (как и ряд других, таких, как вопрос о барионной асимметрии Вселенной, об изменении различных физических величин и «констант» со временем и рождении тяжелых магнитных монополей) можно отнести с равным правом и к физике, и к космологии.

Последнее, разумеется, не случайно. Физика и космология всегда были связаны, но сейчас эта связь стала особенно тесной и двусторонней. На языке расстояний или энергий, которым мы уже пользовались в § 15, можно сказать, что для физики очень важны расстояния $l_x \sim 10^{-29} - 10^{-30} \text{ см}$ и энергии $E_x \sim \hbar c/l_x \sim 10^{15} - 10^{16} \text{ ГэВ}$. Но ни подобные расстояния, ни такие энергии лабораторной физике сейчас совершенно недоступны.

Единственное «место», где можно изучать вещество в таких условиях, — это ранние стадии космологической эволюции, причем длине $l_x \sim 3 \cdot 10^{-30} \text{ см}$ отвечает плотность

¹Пользуемся здесь, очевидно, как энергетической, так и обычной шкалой температур: энергии $E = 1 \text{ эВ} \sim 10^{-12} \text{ эрг}$ отвечает температура $T = E/k \sim 10^4 \text{ К}$, где $k = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ эрг/К}$.

$\rho_x \sim \hbar/(cl_x^4) \sim 10^{80}$ г/см³. (Напомним, что планковская плотность $\rho_g \sim \hbar/(cl_g^4) \sim 10^{94}$ г/см³, поскольку $l_g \sim 10^{-33}$ см.)

Здесь мы для простоты ограничиваемся соображениями размерности. В конкретных космологических моделях можно, естественно, пойти дальше. Так, в горячих фридмановских моделях температура Вселенной T (ГэВ) $\sim 10^{-3}t^{-1/2}$, где t — время в секундах, отсчитываемое от классической сингулярности. Упомянутой в § 15 массе $m_x \sim 10^{-9}$ г отвечают энергия $E_x = m_x c^2 \sim 10^{15}$ ГэВ и такая же характерная температура T_x , измеряемая в энергетической шкале (ГэВ): $T(\text{К}) \sim 10^{13} T(\text{ГэВ})$, и, следовательно, $T_x \sim 10^{28}$ К! Отсюда $t \sim 10^{-6}/[T(\text{ГэВ})]^2 \sim 10^{-36}$ с.

Немалый интерес, конечно, представляют и плотности, значительно меньшие ρ_x и ρ_g , вплоть до ядерной плотности $\rho_{\text{я}} \sim 3 \cdot 10^{14}$ г/см³. Изучение нейтронных звезд, возможно, позволит получить какие-то сведения о веществе вплоть до плотности $\rho \sim 10^{15}$ г/см³. Но большие плотности, по-видимому, нигде в настоящее время не встречаются. Итак, единственным источником сведений о веществе с $\rho \gg \rho_{\text{я}}$ служит космология.

В следующем параграфе будут высказаны некоторые суждения, касающиеся состояния микрофизики и ее положения в современном естествознании. Но несколько замечаний иного сорта представляется более целесообразным сделать сейчас — в конце раздела, посвященного различным микрофизическим проблемам.

Прогресс в области конкретных направлений в науке происходит в известных пределах неравномерно. Встречаются бурные годы и десятилетия, бывают и периоды затишья и даже разброда. Особенно это относится к такой области, как микрофизика, которая при используемом здесь ее определении и понимании всегда находится впереди, на переднем крае. В нашем столетии самым блестящим в прошлом периодом в развитии микрофизики всеми, вероятно, будет признан интервал времени, ограниченный с одной стороны 1924—1925 гг. и с другой стороны 1930—1932 гг. За эти годы была построена, в большой мере развита и понята нерелятивистская квантовая механика, заложены основы релятивистской квантовой теории (уравнения Клейна — Гордона и Дирака для частиц соответственно со спинами 0 и 1/2, квантовая теория излучения). К тому же в 1932 г. были открыты позитрон и нейтрон, а в 1930 г. сделано предположение о существовании нейтрино.

Но затем начались затруднения. Основное из них было связано с появлением расходящихся выражений, препятствовавших развитию даже электродинамики, не говоря уже о зародившихся теориях слабого и сильного взаимодействий. Встретились трудности и в релятивистской теории частиц со спином, большим 1/2, т.е. со спинами 1, 3/2, 2 и т.д.

Никаких рецептов и предписаний, как двигаться в неизведанной области, не существует. Действуют методом проб и ошибок. Побеждает тот, у кого лучше интуиция, умение решить сложную задачу. Впрочем, как мне представляется, не меньшее значение, если речь не идет о титанах масштаба Эйнштейна, имеют удача и игра случая.

Вспоминаю те направления, которые «гремели» на моей памяти (я начал заниматься теоретической физикой в 1938 г.): лямбда-лимитинг-процесс, нелокальная теория поля, учет инерции собственного поля в теории с высшими спинами и релятивистские уравнения для частиц с многими спинами, метод перенормировок в квантовой электродинамике, метод дисперсионных соотношений, аксиоматический подход, метод S -матрицы (с отрицанием роли лагранжевых и гамильтоновских уравнений), бутстрап, реджистика... Из всего этого большой успех был достигнут (в конце 40-х годов) только в электродинамике в результате использования метода перенормировок. Результат получился блестящим [50], но в теоретическом плане он кажется несколько локальным, «техническим» и ограниченным. Во всяком случае, хотелось бы иметь теорию, свободную от всяких перенормировок и не ограничивающуюся электродинамикой. Из других перечисленных направлений я сам, когда занимался теорией частиц, работал лишь в области теории спинов. Хотя этой деятельности я и не стыжусь (сошлюсь на недавнюю публикацию [59], где приведены и другие

ссылки), но говорить о каком-то явном успехе тоже не приходится. Остальные подходы (кроме перенормировок) также не могут претендовать на многое. Некоторые из них всегда казались безыдейными, а «из пустого гнезда воробей не вылетит».

Эти замечания можно неверно понять. В самом деле, как уже подчеркивалось выше, при исследованиях в совершенно новых направлениях лишь успех указывает на правильность выбранного пути. Поэтому никто не может на серьезном уровне объявлять те или иные подходы «идейными» или «безыдейными». Вместе с тем при рождении новых гипотез и предложений каждый заинтересованный наблюдатель выносит для себя определенное интуитивное суждение, делает какой-то прогноз. В дальнейшем, естественно, такой наблюдатель радуется, если оказался прав, и огорчается в случае ошибки. Только в таком смысле автор и позволяет себе делать оценочные замечания типа приведенного в тексте. Например, я огорчен тем, что недооценил в свое время кварковую гипотезу, и доволен, что правильно почувствовал (а быть может, просто угадал?) бесплодность некоторых попыток построить новую теорию.

Что касается метода перенормировок (уже давным-давно применяющегося в классической электродинамике в отношении массы частиц), то некоторые физики (быть может, даже большинство) считают его вполне удовлетворительным. Отраженное в тексте более прохладное отношение к перенормировкам также встречается в литературе. Подробнее останавливаться здесь на этом вопросе было бы затруднительно, да он и не существен для дальнейшего. Отметим лишь, что в настоящее время делаются весьма многообещающие попытки построить единую теорию поля, свободную от бесконечностей и не нуждающуюся в перенормировках.

Те направления, которые активно развиваются в настоящее время, хотя и не во всем являются новыми, базируются на богатом идейном фундаменте (симметрия и, в частности, обобщенная калибровочная инвариантность, спонтанное нарушение симметрии, нелинейные уравнения с богатыми возможностями). Представления о строении материи поднялись на новую ступень (кварки, глюоны и т.п.). Имеется целый ряд реальных достижений в области теории слабых и сильных взаимодействий. Контраст столь резок, что он бросается в глаза. Поэтому я и позволяю себе, хотя и смотрю в значительной мере со стороны, превозносить последние успехи в области микрофизики. Вполне возможно, что переживаемый период будет уже вскоре признан столь же плодотворным и значительным в истории физики, как и упомянутое выше время, когда была создана квантовая механика.

Несмотря на подобное отношение, нельзя не видеть, что ни о какой завершенности единой теории взаимодействий говорить еще не приходится. Правда, единая теория электромагнитного и слабого взаимодействий прекрасно выдержала проверку (см. § 14), и неясным здесь остается, видимо, лишь вопрос о скалярном (хиггсовском) бозоне. Но, что касается квантовой хромодинамики, великого объединения и суперобъединения, то в этих областях незавершенность теории очевидна и вполне возможны неожиданности (впрочем, КХД значительно полнее других упомянутых теорий). Тем интереснее будет следить за дальнейшим развитием событий как в отношении теории, так и в области экспериментов.

§ 18. О микрофизике вчера, сегодня и завтра

Все течет, все изменяется — изменяется не только содержание той области, которая названа микрофизикой, но и занимаемое ею место в науке вообще и в физике в частности. Достаточно просмотреть физические, реферативные и научно-популярные журналы, чтобы убедиться в следующем: удельный вес проблем микрофизики во всех этих журналах в течение последних двадцати — тридцати лет сильно снизился по сравнению с предшествующими несколькими десятилетиями. К сожалению, я не располагаю точными цифрами¹, но думаю, что отношение чисел научных работ по микро- и макрофизике

¹В связи с этим еще раз приходится пожалеть о том, как мало внимания у нас уделяется статистическому (да и любому другому) анализу тенденций развития науки, роли разных форм научной инфор-

сейчас минимум на порядок величины меньше, чем двадцать—тридцать лет назад. Если воспользоваться другими показателями научной активности (число специализирующихся студентов-выпускников, число конференций и т.д.), то, вероятно, картина будет примерно такой же. В чем же здесь дело?

Главная причина, как мне кажется, связана с тем, что еще в недавнем прошлом (скажем для определенности тридцать пять—сорок лет назад) микрофизика занимала некоторое совершенно исключительное место в науке, а теперь ситуация изменилась.

Проблематика микрофизики — это самые фундаментальные, принципиальные и поэтому для многих самые привлекательные вопросы физики. С такой точки зрения положение микрофизики не претерпело изменений. Но до середины нашего века проблемы микрофизики имели вместе с тем, по существу, определяющее значение для развития всего естествознания. В самом деле, основное содержание микрофизики составляло тогда изучение атомов, а затем также атомных ядер. Разгадать строение атома, понять действующие в нем законы (для этого пришлось создать квантовую механику!) означало дать мощный толчок многим областям физики, астрономии, химии, биологии. Примерно то же можно сказать об атомном ядре — его изучение породило возможность использования ядерной (атомной) энергии и даже дало известные основания называть XX в. атомным веком (тот факт, что подобное значение ядерной физики было осознано не сразу, не изменяет сути дела и к тому же уже более сорока лет не играет никакой роли).

Физики, занимавшиеся соответствующими проблемами микрофизики, в подавляющем большинстве не думали ни о каких практических плодах своей работы, а их энтузиазм и настойчивость питались интересом к проблемам, как таковым, были обусловлены неутолимимым стремлением узнать, «как же это устроено», преодолеть трудности, добиться истины. Но концентрация усилий в целом, размах работы, поддержка и внимание общества (в частности, научного общественного мнения) — все это в немалой степени диктовалось также сознанием роли микрофизики для развития естествознания в целом и, если угодно, пониманием ее общечеловеческого значения в плане решения важнейших практических проблем.

Совершенно очевидно, что научную значимость проблемы нельзя измерить ни временем жизни частиц, ни их проникающей способностью. Задачи, стоящие перед микрофизикой сегодня, ни в какой мере не уступают по своей жгучей таинственности и трудности проблемам вчерашнего дня. Иными словами, микрофизика осталась (и при используемом ее определении всегда останется) аванпостом физики, ее самой передовой и «глубокой» частью. Но положение уже иное в отношении характера и роли изучаемых микрофизикой объектов. Эти объекты (атом, атомное ядро) были хлебом насущным, новые же объекты — экзотические и редкие «растения» (по крайней мере в земных условиях)¹. Между тем, как сказано, микрофизика занимала в науке буквально доминирующее положение не в малой степени также и по причине особой практической важности исследуемых ею вопросов.

мации и т.д. и т.п. Замечу также, что обсуждаемое изменение удельного веса микрофизики нет никаких оснований связывать с тем обстоятельством, что основную часть атомной и ядерной физики мы отнесли к области макрофизики. Достаточно сказать, что таких разделов микрофизики, как физика высоких энергий, мезонная физика, нейтринная физика и т.п., ранее вообще не существовало. Своеобразное же место микрофизики как физического авангарда при принятом ее определении полностью сохранилось (см. также § 12).

¹Возможны, конечно, некоторые исключения. Например, μ -лептоны живут микросекунды и представляют известный интерес в химии и, быть может, даже для создания термоядерного реактора, использующего так называемый мезонный катализ (конкретно, мюоны, находящиеся в дейтерии или смеси дейтерия с тритием, облегчают протекание реакций (1); см. § 1). Кроме того, продолжается, конечно, изучение протона и электрона на более глубоком уровне (имеется в виду, например, кварковая модель протона). Такие исследования, однако, мало затрагивают атомную и ядерную физику.

Высказанное мнение о том, что микрофизика является самой глубокой частью физики, которое я сам разделяю, не может все же считаться совершенно бесспорным. Дело в том, что многие проблемы, с которыми сталкиваются макрофизика и, скажем, биология, достаточно самостоятельны и глубоки; их исследование не облегчается от убежденности в том, что фундаментальные законы (скажем, нерелятивистская квантовая механика) в данном случае известны. Как сказано, различие между макро- и микрофизикой представляется все же достаточно существенным, чтобы поднять микрофизику, а также, скажем, космологию (см. § 21) на некий пьедестал, но, конечно, не для того, чтобы третировать все остальные естественные науки, как нечто второсортное или лишенное фундаментальности.

Итак, согласно защищаемому здесь мнению, место микрофизики и в физике, и во всем естествознании радикально изменилось, и (этот пункт является особенно спорным) я думаю, что такое изменение произошло, быть может, навсегда или, во всяком случае, очень надолго.

Если было бы позволено выразить сказанное в ненаучных терминах, я сказал бы, что микрофизика в первой половине нашего века была «первой дамой» естествознания. Сегодня и завтра она остается и останется «только» самой «красивой дамой». Но в том-то и дело, что разные люди могут считать разных дам самыми красивыми, первая же дама (в отличие от первых заместителей) по определению только одна. Позволю себе добавить, что для меня самого микрофизика была и остается самой красивой физической дамой. Но в отличие от некоторых своих коллег я лишь считаю, что поклонение не должно сопровождаться игнорированием изменений возраста и характера, а также пренебрежением к другим объектам, заслуживающим восхищения.

Сделанные замечания представляются в достаточной мере тривиальными, но... только тем, кто с ними согласен. На деле же они здесь помещены в первую очередь именно потому, что являются спорными. В последнем мне пришлось убедиться, когда почти тридцать лет назад примерно то же самое было написано по другому поводу (эта статья помещена в настоящем сборнике; с. 323). Правда, как обычно бывает, некоторые возражения и критические замечания явились лишь плодом недоразумения или эгоцентризма. Так, в утверждении об изменении и в известном отношении уменьшении удельного веса микрофизики был усмотрен если не призыв прекратить строительство мощных ускорителей и вообще всестороннюю поддержку микрофизических исследований, то по крайней мере оправдание таких действий.

Нечего и говорить, что автор крайне далек от подобных мыслей.

Позволю себе добавить, что вызывают чувство протеста попытки тесно связать (и, если угодно, привязать) обсуждение путей развития науки и научной проблематики с узкими и частными интересами или заботами в той или иной области науки, в тех или иных местных условиях. Вопросы финансирования, строительства и т.п. зависят от большого числа факторов, среди которых чисто научные интересы иногда имеют второстепенное значение по сравнению, например, с экономическими или техническими соображениями. Тем меньше оснований имеется для каких-либо практических выводов, касающихся организации науки, сделанных без всестороннего анализа и на базе обсуждения лишь научных вопросов. Ситуация существенно изменилась бы, если бы средства, предоставляемые для развития науки, резко возросли во много раз, например за счет ликвидации гигантских военных расходов и непроизводительных расходов населения на курение и спиртные напитки. Но нечто подобное в настоящее время может произойти лишь в фантастическом романе.

Подлинного внимания заслуживает возражение против точки зрения автора по существу, которое сводится к следующему. На первом этапе исследований атомного ядра перспективы ядерной энергетики были еще далеко не ясны или даже оценивались совершенно неправильным образом. Таких примеров немало.

Разумеется, развитие науки в конкретном плане плохо предсказуемо, а иногда и совсем непредсказуемо. Поэтому представляется возможным и на основании ряда аналогий даже

довольно вероятным, что микрофизика еще вернет свое положение прародительницы новых гигантских задач вроде проблемы овладения ядерной энергией¹. Тогда, естественно, удельный вес микрофизики мог бы снова сильно увеличиться.

Само собой разумеется, что никто не возьмется полностью исключить подобную возможность. Уже одного этого обстоятельства — существования пусть самой туманной перспективы новых практически важных открытий — должно оказаться достаточным для того, чтобы продолжать всемерное развитие микрофизики не только в интересах «чистой науки».

Но вместе с тем даже признание возможности нового переворота в отношении практической роли микрофизики в будущем нисколько не противоречит сказанному выше относительно сегодняшнего ее места. Кроме того, непонятно, почему должно считаться ересью или признаком плохого тона предположение (которое я не боюсь высказать), что самый блистательный в каком-то смысле (в плане влияния на развитие общества, техники и т.п.) период в жизни микрофизики, быть может, уже позади.

К сожалению, в вопросе о будущем микрофизики у меня нет почти никаких шансов убедиться в своей правоте, но зато и в неправоте вряд ли придется покаяться — даже оптимисты не склонны ожидать нового радикального изменения роли микрофизики в науке и технике еще при жизни нашего поколения.

Кстати сказать, ее роль в науке и сегодня крайне почетна и не может удовлетворять лишь тех, кто избалован вниманием, привык всегда быть первым, находиться в исключительных условиях. Только в этом отношении положение микрофизики несколько изменилось, и ее «потеснила» астрофизика (в том числе и космические исследования) и в особенности биология. Разве не очевидно вместе с тем, что стремительное развитие и расцвет биологии (точнее, ряда ее направлений — молекулярной биологии, биофизики и др.), свидетелями которых мы являемся, тесно связаны не только с самими научными достижениями, но и с открывающимися почти фантастическими перспективами решения таких важнейших для человечества проблем, как ликвидация болезней (в частности, рака), радикальное удлинение человеческой жизни, искусственное создание жизни «в пробирке», мобилизация ресурсов мозга и т.д. и т.п.? С другой стороны, астрофизика может служить примером науки, которая захватывающе интересна «сама по себе» независимо от весьма и весьма туманных и проблематичных в общем возможностей ее практического использования в будущем. В этом отношении место микрофизики сегодня и завтра во многом аналогично тому, которое занимает астрофизика. И совершенно очевидно, что строить большие ускорители столь же необходимо, как большие телескопы на поверхности Земли и на спутниках.

Некоторые из замечаний, сделанных выше, во многом близки к содержащимся в статье [60] (кстати сказать, эта статья и первый вариант настоящей статьи появились почти одновременно и, естественно, совершенно независимо друг от друга). Поэтому хочется привести здесь также сформулированные в [60] три правила, которыми следует руководствоваться при преодолении критических ситуаций, возникающих при развитии физики (имеется в виду масштаб института или лаборатории):

Не следует пытаться возродить былую славу.

Не следует заниматься чем-то только потому, что это модно.

Не следует бояться насмешек и презрения теоретиков (*don't be afraid of the scorn of theoreticians*).

Первые два правила вряд ли нуждаются в комментариях, да к тому же некоторые разъяснения на этот счет имеются в самой статье [60]. Но вот третье правило может быть неверно понято, особенно если не знать, кто его автор.

¹В качестве примера можно упомянуть о мечтах использовать кварковый катализ, для чего необходимо существование кварков в свободном состоянии.

Известно, что физиков часто делят на экспериментаторов и теоретиков. Экспериментатор в идеале сидит около сделанных им приборов и что-то измеряет. Кроме того, он должен заботиться о добывании денег, материалов и приборов для постройки экспериментальных установок, руководить большим иногда штатом техников и лаборантов, обрабатывать результаты наблюдений. И все это иной раз длится долгие годы и служит лишь для уточнения какого-либо параметра или какой-то постоянной, вроде магнитного момента протона, массы частицы-резонанса и т.д. Физик же теоретик (тоже в идеале) сидит себе за рабочим столом в чистой и светлой комнате с видом на сад и пруд или на худой конец лежит дома на диване, размышляя «о природе вещей» или производя какие-то вычисления, прерываемые интересными дискуссиями на различные научные и не научные темы. Обе схемы, конечно, весьма абстрактны, но позволяют понять, почему абстрактный экспериментатор часто недолюбливает теоретиков, а абстрактные теоретики нередко не очень-то уважают экспериментаторов. В жизни все, разумеется, гораздо сложнее и многообразнее.

Даже в XIX в., не говоря уже о более давних временах, не было еще сколько-нибудь четкого деления на физиков-экспериментаторов и физиков-теоретиков. Конечно, в зависимости от способностей и наклонностей одни больше экспериментировали, а другие больше вычисляли, но большинству физиков не было чуждо ни то, ни другое. Только усложнение техники эксперимента, быстрый рост числа физиков, обострение соревнования, увеличение темпов работы и скорости обмена информацией породили четкое разделение труда, до какой-то степени разделили и обособили теоретиков и экспериментаторов.

Наряду с положительными сторонами этот процесс дифференциации привел и к отрицательным последствиям. «Физики перестали понимать друг друга» — такое утверждение звучит уже не как абсурд или парадокс, но нередко отражает печальные факты. Да что уж говорить о физиках вообще, когда спектр одних только людей, называемых физиками-теоретиками, простирается от математиков, заинтересовавшихся решением тех или иных физических проблем, до далеких от высоких материй физиков, которые по тем или иным причинам сами не «работают руками» или оказались не связанными с экспериментом. Естественно, что физики-теоретики, находящиеся на разных полюсах своей специальности, а тем более теоретики и «чистые» экспериментаторы сплошь и рядом не имеют общего языка и не доверяют друг другу.

Так вот, если прочитать третье правило Ф. Дайсона [60], ничего не зная о нем самом, возникает образ некоего экспериментатора, которому изрядно насолили теоретики, поучавшие его, как нужно работать и чем не нужно заниматься, а также дававшие понять, сколь он безграмотен в области «настоящей» физики. На самом же деле Ф. Дайсон — один из ярких и известных современных физиков-теоретиков. Его совет не бояться насмешек своих коллег-теоретиков проникнут лишь знанием манер некоторой небольшой их части. Это не измена «своему цеху», а проявление любви к нему. Настоящая теоретическая физика — неразрывная часть всей физики, которая не господствует над экспериментальной физикой и не может даже существовать без нее. Физик-теоретик — это не жрец и не пророк, а чаще всего счастливчик, не обремененный массой забот, преследующих физика-экспериментатора. Потому-то насмешки и презрение теоретиков не могут не вызывать отрицательной реакции экспериментаторов (так же, разумеется, как и встречающиеся аналогичные если не по форме, то по сути дела проявления неуважения и недоверия к теоретикам со стороны экспериментаторов). Конечно, речь идет лишь об исключениях, но уже они дают право на самооборону, навеянную в данном случае услышанными мной разговорами о том, что «Дайсон — изменник», а «Гинзбург — враг ядерной физики». И все это на основании замечаний, приведенных выше! Не стоило бы, разумеется, обращать на это внимание и тем более предавать гласности, если бы дело было в обиде или в желании ответить критикам. Прошу поверить, что мной руководят совсем другие мотивы — желание (пусть ценой внесения в обсуждение какой-то остроты) побудить читателей спорить, думать, вырабаты-

вать свое мнение и не бояться его высказывать, но только не оставаться безразличными и равнодушными. Впрочем, быть может, уж лучше безразличие и равнодушие, чем другой полюс — нетерпимость и неуважение к неугодным, «чужим» мнениям и эгоцентричная защита собственных взглядов и интересов путем поношения оппонентов. Вместе с тем мало что приносит развитию науки большую пользу, чем дискуссии, обсуждения и споры, проходящие в дружеской атмосфере, с подъемом и энтузиазмом. К счастью, так оно чаще всего и бывает.

Настоящий параграф носит в известной мере полемический характер. Поэтому мне казалось уместным выше ничего практически не изменять по сравнению с предыдущими изданиями, но в заключение поставить вопрос: а каково мнение автора сегодня, спустя много лет? Вопрос этот представляется тем более естественным, что за эти годы в области микрофизики достигнуты блестящие успехи (подтверждение кварковой модели в связи с открытием новых, в частности очарованных, частиц; развитие единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий и др.). Кроме того, несмотря на все сделанные в тексте заверения (вполне искренние) в любви к микрофизике, все же возникает (пусть и у немногих читателей) какое-то подозрение в недооценке мною микрофизики. Хочу в этой связи, во-первых, просить читателей еще раз прочесть текст и, во-вторых,шний раз подчеркнуть следующие.

Новые блестящие успехи в области микрофизики несколько не изменили моего мнения, изложенного выше. Да и не могли его изменить, поскольку это мнение касается не самой современной микрофизики, а ее оставшихся за последний период без изменений связей с остальной физикой и другими дисциплинами. Быть может, стоит лишь повторить, что место микрофизики в настоящее время я считаю аналогичным месту астрофизики. И какое же это превосходное «место»!

Должен добавить, что полезность того или иного научного направления для промышленности, сельского хозяйства, связи, медицины и т.п., разумеется, является важным положительным моментом. Вместе с тем представляются несправедливыми и неоправданными требования, чтобы наука (ее подлинно фундаментальные разделы) обязательно была полезна в непосредственном, «сиюминутном» смысле этого понятия. Во-первых, в огромном числе случаев такая полезность науки не сразу видна и может выявиться лишь через много лет. Во-вторых, занятия наукой для многих являются глубокой потребностью и делом жизни, подобно тому как для других такой потребностью или призванием являются занятия музыкой, живописью или поэзией. Почему же от ученых нужно требовать в обязательном порядке пользы и полезности в большей мере, чем от музыкантов? Конечно, затрата средств уже сильно зависит от близости практического «выхода». Но это совсем другой вопрос. В общем, хотелось бы подчеркнуть, что утверждение о меньшем значении современных микрофизики и астрофизики для общества (по сравнению, скажем, с макрофизикой или биологией) ни в какой мере не должно считаться каким-то упреком.

АСТРОФИЗИКА

§ 19. Экспериментальная проверка общей теории относительности

Общая теория относительности (ОТО) была в законченном виде сформулирована А. Эйнштейном в 1915 г. К этому же времени им уже были указаны также три знаменитых («критических») эффекта, могущих служить для проверки теории: гравитационное смещение спектральных линий, отклонение световых лучей в поле Солнца и смещение перигелия Меркурия. С тех пор прошло более семи десятилетий, но проблема экспериментальной проверки ОТО продолжает находиться в центре внимания.

С чем это связано?

Все указанные Эйнштейном эффекты наблюдаются, причем имеет место согласие с теорией, но до недавнего времени, более шестидесяти лет, достигнутая точность была невелика. Так, в случае гравитационного смещения частоты эта погрешность измерений составляла примерно 1%. Лишь в 1979 г. были опубликованы измерения, согласующиеся с теорией с погрешностью 0,01%. Вместе с тем нужно подчеркнуть, что предсказываемое гравитационное смещение частоты очень мало чувствительно к виду теории гравитации, и поэтому его измерение не является хорошей проверкой именно ОТО [61, 62].

Отклонение световых лучей в поле Солнца (оно, согласно ОТО, достигает 1,75 угловой секунды при прохождении луча непосредственно вблизи диска Солнца) наблюдают начиная с 1919 г. К сожалению, соответствующие измерения даже при современной технике производятся только во время солнечных затмений. Так или иначе, но оптическим методом эффект хотя и обнаружен и находится в согласии с ОТО, измерен с погрешностью около 10%. Столь низкая точность служила основанием (если угодно, оправданием) для рассмотрения неэйнштейновских теорий тяготения (т.е. теорий гравитационного поля, отличных от ОТО).

Однако для проверки ОТО можно с равным правом использовать не свет, а радиоволны. Отклонение вблизи Солнца радиоволн, идущих к нам от квазаров, удалось измерить, причем ОТО подтвердилась уже с погрешностью примерно 1% [22]. Такая же точность достигнута при радиолокационных измерениях релятивистского эффекта запаздывания сигналов, отражающихся от Венеры и Меркурия и проходящих вблизи Солнца. Этот эффект запаздывания, эквивалентный по своей физической природе отклонению световых лучей в гравитационном поле Солнца, достигает $2 \cdot 10^{-4}$ с (таково релятивистское запаздывание, когда сигнал проходит вблизи края Солнца, для чего, разумеется, лоцируемая с Земли планета должна находиться в верхнем соединении). При использовании же искусственных спутников Марса (речь идет о «Викингах») релятивистское запаздывание сигналов удалось измерить еще точнее, и оно согласуется с теорией с погрешностью около 0,1%.

Смещение перигелия Меркурия известно с погрешностью около 1%, и согласие теории с наблюдениями этого эффекта многие годы рассматривалось в качестве самого лучшего подтверждения ОТО (не говоря о точных данных, свидетельствующих о равенстве тяжелой и инертной масс, с погрешностью около 10^{-12}). Но лет 25 назад было, однако, высказано предположение, что это согласие только кажущееся, так как не учитывается действие квадрупольного момента Солнца. Такое возражение, представляющееся на первый взгляд весьма искусственным, нашло известное подтверждение в результате наблюдений, которые интерпретировались как указывающие на сплюснутость Солнца. Сейчас, однако, сплюснутость Солнца опять считается столь незначительной, что связанный с ней квадрупольный момент не может заметно влиять на движение Меркурия.

К числу интересных и могущих наблюдаться уже в слабом поле эффектов ОТО относится линзоподобное действие масс (звезд, галактик) на проходящие вблизи них электромагнитные волны (радиоволны, свет и т.д.). Расчет такой гравитационной линзы был опубликован Эйнштейном в 1936 г., а в 1979 г. было высказано предположение, что двойной квазар 0957 + 561 A, B представляет собой на самом деле два изображения одного квазара (роль гравитационной линзы играет находящаяся примерно на половине пути между квазаром и нами эллиптическая галактика). В справедливости такой интерпретации теперь уже нет сомнений. Эти и аналогичные наблюдения гравитационных линз могут и должны использоваться, конечно, не для проверки ОТО (ОТО в слабом поле уже проверена со значительно большей точностью, чем точность, которая нужна при расчете гравитационной линзы-галактики), а для получения ценной астрономической информации на основе сопоставления расчетов с наблюдаемой картиной.

Итак, сейчас можно лишь утверждать, что даже для слабых полей, т.е. в случае малости параметра $|\varphi|/c^2$ (на поверхности Солнца $|\varphi|/c^2 = GM_{\odot}/(r_{\odot}c^2) = 2,12 \cdot 10^{-6}$), ОТО

проверена с погрешностью в лучшем случае около 0,1%. В современной физике такая точность не производит впечатления, и еще остаются по крайней мере некоторые основания для обсуждения отличных от ОТО теорий гравитации.

Отставание в области экспериментальной проверки ОТО обусловлено как малостью эффектов, доступных наблюдению на Земле и в пределах Солнечной системы, так и сравнительной неточностью соответствующих астрономических методов. В последнее десятилетие, однако, положение изменилось (эти слова в настоящей статье повторяются многократно!) в результате применения межпланетных ракет («проб»), радиометодов и т.д. Поэтому перспективы проверки ОТО с погрешностью, даже меньшей 0,01%, представляются весьма хорошими.

Если будет показано (горячо на это надеюсь), что с экспериментальной проверкой ОТО в поле Солнца «все в порядке», то вопрос о такой проверке перейдет совсем в другую плоскость. Именно останется вопрос о справедливости ОТО в сильных гравитационных полях или вблизи и внутри сверхмассивных космических тел, не говоря уже о применимости ОТО в космологии.

Предыдущий абзац был написан 15 лет назад и фигурировал в ранних изданиях статьи. Тогда и вопрос о сплюснутости Солнца оставался еще неясным, и эффект отклонения лучей и запаздывания сигналов в поле Солнца был измерен с погрешностью в несколько процентов. Сейчас, когда все три эффекта, предсказанные ОТО для слабого гравитационного поля, в пределах достигнутой погрешности 1–0,1% и даже большей сходятся с теорией, именно проверка ОТО в сильном поле вышла на первый план. В качестве одного из шагов в этом направлении можно указать на измерение в пределах Солнечной системы эффектов второго порядка по $|\varphi|/c^2$, т.е. эффектов порядка $\varphi^2/c^4 \sim 10^{-12}$. Такая возможность обсуждается, но измерения вряд ли будут осуществлены в этом веке. Для измерения эффектов порядка φ^2/c^4 и более высокого порядка некоторый интерес представляют нейтронные звезды (на их поверхности $|\varphi|/c^2 \sim 0,1 \div 0,3$), но в центре внимания находятся «черные дыры». Уже само их обнаружение явилось бы, по крайней мере, качественным подтверждением справедливости ОТО и в сильных гравитационных полях. Количественные же измерения вблизи шварцшильдовского радиуса, или, говоря несколько грубее (но и более общо, если иметь в виду вращающиеся черные дыры), вблизи черных дыр, могут послужить и для детальной проверки ОТО. Свою точку зрения на этот счет автор довольно подробно изложил в статье [61]; речь о проверке ОТО в сильных полях пойдет ниже (см. § 21–23 и 26).

Но значит ли это, что дальнейшая проверка ОТО в слабом поле уже является излишней? Вряд ли можно занять такую позицию, ибо не следует забывать, что обнаружение (разумеется, вполне надежное и доказанное) в пределах Солнечной системы и вообще в слабом поле даже малейших отклонений от предсказаний ОТО было бы открытием исключительной важности. Вероятность подобного результата большинству физиков (в том числе и автору) кажется ничтожно малой. Но что такое вероятность в подобных случаях? К тому же, если понятие вероятности открытия все же ввести, то следовало бы пользоваться также понятием «математического ожидания» открытия, равного произведению вероятности на значимость открытия. В таком случае математическое ожидание обнаружения отклонений от ОТО оказалось бы значительным даже при ничтожной вероятности их обнаружения. Но подобные рассуждения — это, как говорится, сотрясение воздуха.

Совершенно очевидно, что продвинуться вперед в вопросе о проверке ОТО можно только путем новых наблюдений и измерений. Мы ждем их с нетерпением (особенно это касается обнаружения черных дыр; см. § 22 и [61]).

Хотя, таким образом, дальнейшая проверка ОТО, особенно в сильном поле, представляется важной и актуальной задачей, кажется уместным подчеркнуть следующее. Типичным в теоретической физике (впрочем, и в других областях) является такой подход: не

ждать всесторонней проверки тех или иных теорий фундаментального характера, а смело и широко применять их на деле, для анализа различных задач и вопросов. Это полностью относится к ОТО, которую сейчас широко применяют не только в слабых, но и в сильных полях (правда, нет особых оснований делать это в условиях, когда значительны квантовые эффекты; см. § 21). Как сказано, такое поведение вполне разумно и несколько не противоречит заботе о «прочности» тылов — в данном случае признанию необходимости дальнейшей проверки ОТО. В этом плане не лишним будет заметить, что учет эффектов ОТО порядка φ/c^2 в пределах Солнечной системы необходим и фактически имеет место уже в инженерных расчетах в области космической навигации.

§ 20. Гравитационные волны

В рамках любой релятивистской теории гравитационного поля должны существовать гравитационные волны в вакууме, аналогичные электромагнитным волнам. Такая аналогия в ОТО идет еще дальше, поскольку в этой теории гравитационного поля волны являются чисто поперечными. Представление о гравитационных волнах в вакууме родилось вместе с ОТО, а известная и широко используемая формула для мощности гравитационного излучения массами, движущимися медленно по сравнению со скоростью света (см. формулу (110.16) в [63]), была получена Эйнштейном еще в 1918 г. [64].

Гравитационные волны должны испускаться любыми массами с отличным от нуля и переменным во времени квадрупольным моментом масс (в случае быстро движущихся тел играют роль и более высокие мультипольные моменты). Простейшие космические объекты такого типа — двойные звезды или планетные системы.

Гравитационное взаимодействие является, однако, самым слабым из всех известных. Что же касается всем нам знакомых макроскопических (а можно сказать, и повседневных) проявлений гравитации, то они являются столь значительными просто в результате существования огромных скоплений масс и, например, большой массы Земли (в случае же двух протонов их гравитационное притяжение в $e^2/(GM^2) \sim 10^{36}$ раз меньше электростатического отталкивания, где $G = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3 \cdot (\text{г} \cdot \text{с}^2)^{-1}$ — гравитационная постоянная, $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$ ед. СГСЭ — заряд протона и $M = 1,67 \cdot 10^{-24}$ г — его масса). Поэтому не слишком удивителен тот факт, что мощность гравитационного излучения обычно (скажем, в случае двойных звезд) сравнительно мала, а детектирование этого излучения весьма непросто. Так или иначе, с какой-либо уверенностью гравитационные волны еще не обнаружены, и перспективы приема гравитационных волн от двойных звезд и пульсаров представляются весьма отдаленными. Достаточно сказать, что если бы пульсар PSR 0531 в Крабовидной туманности даже излучал бы гравитационные волны с мощностью $L_g \sim 10^{38}$ эрг/с¹, то плотность потока гравитационного излучения на Земле составила бы только $F_g \sim L_g/(4\pi R^2) \sim 3 \cdot 10^{-7}$ эрг/(с · см²).

Между тем чувствительность существовавших до недавнего времени приемников гравитационных волн отвечает плотности потока излучения $F_g \sim 10^4 \div 10^6$ эрг/(с · см²)

¹Такова светимость Крабовидной туманности во всех областях электромагнитного спектра, вместе взятых. По моему мнению, нет никаких оснований предполагать, что мощность гравитационного излучения пульсаров достигает подобного значения; вероятно, она на несколько порядков меньше. Исключение, видимо, могли бы составлять рентгеновские пульсары и «коллапсары» (см. §22, 24), входящие в состав тесных двойных систем. В силу последнего обстоятельства квадрупольный момент быстро вращающейся компактной звезды мог бы быть аномально велик. Довольно мощного гравитационного излучения можно было бы ожидать от открытых в 1982 г. и позже «сверхбыстрых» пульсаров (см. §22). Однако оказалось, что период известных нам сейчас «сверхбыстрых» пульсаров увеличивается столь медленно, что мощное излучение явно отсутствует. Последнее свидетельствует о том, что квадрупольный момент соответствующей нейтронной звезды, хотя, вероятно, и велик, но его зависящая от времени (в силу вращения звезды) часть незначительна.

или больше, т.е. по крайней мере на 11 порядков меньше, чем нужно в приведенном примере. Правда, это относится к приемникам, рассчитанным на регистрацию импульсных сигналов. Для периодических источников можно очень существенно повысить чувствительность, используя накопление сигнала. Тем не менее прием излучения от пульсаров даже с потоком $F_g \sim 3 \cdot 10^{-7}$ эрг/(с · см²) известными сейчас способами потребовал бы охлаждения приемника, имеющего массу в несколько тонн, до температуры 10^{-2} — 10^{-3} К (правда, если вместо материала типа алюминия использовать такое вещество, как сапфир, с очень малым внутренним трением, то можно уменьшить массу приемника на несколько порядков величины). Это возможно, но, конечно, крайне трудно.

К счастью, помимо периодического гравитационного излучения от двойных звезд и пульсаров можно ожидать появления довольно мощных импульсов гравитационного излучения (длительностью $\tau_g \sim 10^{-4} \div 10^{-3}$ с), возникающих при коллапсе звезд (скажем, с образованием нейтронной звезды или черной дыры, т.е. при некоторых вспышках сверхновых), а также при соударениях нейтронных звезд или черных дыр [65, 66]. Выделяющаяся при таких событиях энергия W_g (в виде гравитационного излучения), вообще говоря, не превосходит 10^{55} эрг $\sim 10 M_\odot c^2$. Но в нашей Галактике сверхновые вспыхивают в среднем не чаще чем раз в десять–тридцать лет. Поэтому, естественно, приходится рассчитывать на прием излучения от других галактик. Если для примера выбрать сферу радиусом $R \sim 3$ Мпк $\sim 10^{25}$ см, в которой находится примерно 300 галактик, то импульсы гравитационного излучения с интегральным по времени потоком энергии, достигающим $\tilde{F}_g \sim W_g/(4\pi R^2) \lesssim 10^4$ эрг/см², будут приходить несколько раз в год (в окружающих нас галактиках в среднем сверхновые вряд ли вспыхивают чаще, чем один раз в 100 лет). Более реалистична оценка $\tilde{F} \sim 10$ эрг/см², отвечающая энергии $W_g \sim 10^{52}$ эрг и расстоянию $R \sim 10^{25}$ см.

Заметим, что в литературе сейчас обычно приводятся значения не потоков гравитационного излучения F_g и \tilde{F}_g , а величины h , пропорциональной $\sqrt{\tilde{F}_g}$ или $\sqrt{F_g}$. Физический смысл h таков: это есть относительная амплитуда колебаний (смещения) $\Delta l/l$, которые вызываются гравитационным излучением, падающим на две пробные массы, находящиеся на расстоянии l друг от друга (таким образом, $h = \Delta l/l$, где Δl — амплитуда смещения свободных масс под действием гравитационного излучения). Связь между h и F_g зависит от характерной частоты излучения ω_g ($h = \sqrt{8\pi G F_g / (c^3 \omega_g^3)} \sim 3 \cdot 10^{-19} \sqrt{F_g / \omega_g^2}$).

В результате в приведенном примере для пульсара в Крабе, когда было принято значение $F_g \sim 3 \cdot 10^{-7}$ эрг/(с · см²), $h \sim 10^{-24}$. Для импульсов длительности порядка τ_g (причем $\omega_g \sim 2\pi/\tau_g \sim 10^3 \div 10^5$ с⁻¹ и $\tilde{F}_g \sim 10$ эрг/см²) $F_g \sim \tilde{F}_g/\tau_g \sim 10^3 \div 10^5$ эрг/(с · см²) и $h \sim 10^{-21} \div 10^{-20}$.

Детектировать такие всплески (импульсы) гравитационного излучения очень трудно, но все же эта задача выполнима. Предложены разные методы, в частности, связанные с использованием спутников, лазеров, сверхпроводящих магнитометров и вообще самого современного арсенала экспериментальной физики. К 1991 г. имеющиеся гравитационные антенны могли бы обнаружить сигнал (при $\tau_g \sim 10^{-3}$ с) с $h \sim (2 \div 4) \cdot 10^{-18}$. Строящаяся сейчас в США система (две лазерные интерференционные антенны — одна в Кальтехе, а вторая в Массачусетском технологическом институте; длина «антенны» 4 км) к 1996 г. по предположению сможет заметить сигнал с $h \sim 5 \cdot 10^{-21}$, а к 2000 г. — сигнал с $h \sim 5 \cdot 10^{-23}$ (при $\tau_g \sim 3 \cdot 10^{-3}$ с). Существование таких гравитационных импульсов уже весьма вероятно [65, 66]. Любопытна идея (насколько она реальна, сказать еще трудно) фиксирования гравитационных волн, приходящих к Солнечной системе, по вынужденным колебаниям Солнца и Земли.

Сколько времени придется ждать обнаружения космического гравитационного излучения, сказать трудно, тем более что оценка возможных потоков лежит, как мы видели,

в широких пределах. Работа в этом направлении ведется довольно энергично в ряде лабораторий и, как можно думать, еще в XX в. гравитационно-волновая астрономия станет реальностью.

Достойно, вероятно, упоминания то обстоятельство, что об открытии космического гравитационного излучения было объявлено еще 20 лет назад. Конкретно, утверждалось, что массивные алюминиевые цилиндры с массой 1,5 т, разнесенные на 1000 км, начинают вибрировать с собственной частотой $\nu \sim 10^3$ Гц под влиянием гравитационного излучения, приходящего по направлению на центр Галактики. Об этих экспериментах сообщалось во втором издании настоящей статьи, причем выражались сомнения в достоверности результатов. Уже много лет как вполне ясно, что гравитационное излучение с мощностью, отвечающей упомянутым наблюдениям, к нам из космоса не приходит. Но я решил напомнить об этой неудаче отнюдь не с целью бросить еще один камень в автора неверной работы или похвастаться своим критическим отношением. Критиковать, в общем, сравнительно легко («ломать — не строить»). Что же касается авторов ошибок (если можно так выразиться), то они и так обычно огорчены больше всех и, вообще говоря, нет оснований их без конца осуждать. Напротив, я решил упомянуть о неудавшейся попытке зафиксировать гравитационное излучение для того, чтобы подчеркнуть стимулирующее значение этих экспериментов. Они вызвали большой интерес, породили активность, и, так сказать, «на их костях» вопрос о приеме гравитационных волн вышел на авансцену физики и астрофизики. Это замечание, как и аналогичное, сделанное в § 11, направлено, конечно, не против критического подхода и требовательности, безусловно, необходимых в науке. Но другая крайность, не так уж редко встречающаяся и проявляющаяся в огульном и априорном отрицании всех непонятных и недостаточно проверенных утверждений, может принести не меньший вред, чем излишний либерализм. В общем, как почти всегда, правильное отношение лежит где-то посередине (недаром же говорят о «золотой середине»).

Главная цель приема гравитационных волн, несомненно, состоит в использовании и этого канала для получения астрономической информации. Но последнее возможно лишь в случае, если у нас имеется теория, описывающая процессы генерации-, распространения и детектирования гравитационных волн. Такой теорией, дающей возможность в принципе получить ответы на все возникающие вопросы, является ОТО. Представляется очень вероятным, что на ОТО в этом отношении можно вполне надежно полагаться. Но все же следует помнить, что эта теория недостаточно проверена, причем справедливости ОТО в отношении эффектов, наблюдавшихся в слабом гравитационном поле, недостаточно.

Достаточно сказать, что существуют неэйнштейновские, т.е. отличные от ОТО, теории гравитационного поля, в которых гравитационные волны ведут себя не так, как в ОТО, в то время как релятивистские эффекты в Солнечной системе отвечают наблюдениям. В этом плане представляет интерес тот факт, что изменение орбиты двойного пульсара PSR 1913+16 происходит в соответствии с предположением об изучении этой системой гравитационных волн в согласии с ОТО. Результат этот нуждается, правда, в подтверждении на примере других двойных пульсаров, но в целом важен и многозначителен. К тому же неэйнштейновские теории гравитационного поля, вообще говоря, плохо развиты и в ряде случаев встречаются с трудностями. С предсказаниями некоторых из этих теорий результаты для двойного пульсара решительно расходятся. В то же время упомянутая в начале настоящего параграфа формула Эйнштейна [64] для мощности гравитационного излучения позволяет объяснить наблюдения с достигнутой точностью, составляющей 1%. В общем, если опираться на уже известное и на физическую интуицию, то я хотел бы высказать уверенность в полной справедливости ОТО как основы гравитационно-волновой астрономии. Так или иначе, такое предположение вполне разумно и практически всегда делается в качестве рабочей гипотезы.

Основная сейчас задача — осуществить прием космических гравитационных волн. Если это удастся сделать, то из анализа соответствующих данных и на базе дальнейшего

изучения двойного пульсара (и, будем надеяться, нескольких двойных пульсаров) окажется, вероятно, возможным и убедиться в справедливости ОТО (для такого круга задач), и получить астрономическую информацию. Как сказано, здесь, быть может, не так уж долго осталось ждать первых результатов. Чем раньше это произойдет — тем лучше!

§ 21. Космологическая проблема. О сингулярностях в общей теории относительности и космологии. Связь между космологией и физикой высоких энергий

Задача космологии — изучение пространства и времени в «большом», в больших масштабах. Тем самым космология неразрывно связана со всей внегалактической астрономией и охватывает весьма широкую область исследований. Но вопросом вопросов в космологии является выяснение самого характера эволюции Вселенной во времени, выбор космологической модели, отвечающей действительности (здесь мы предполагаем, что основные понятия и вехи на пути развития современной космологии известны читателям, — на это дает какое-то право, в частности, возможность отослать их к популярной книге [67] и литературе, цитируемой в [I]). В однородных и изотропных космологических моделях (они впервые были рассмотрены Фридманом в 1922 и 1924 гг., а затем исследовались Леметром и многими другими¹. Вселенная в согласии с данными наблюдений представляет собой расширяющуюся систему. Любопытно, что лишь в 1934 г. Милн и Маккри поняли природу такой нестационарности, носящей классический характер, т.е. при известном подходе вытекающей уже из ньютоновской теории тяготения (дело сводится просто к тому, что при наличии только сил тяготения, отвечающих притяжению, система тел не может оставаться в покое и, если нет вращения, будет сжиматься или расширяться в зависимости от начальных условий).

Независимо от природы расширения совершенно ясно, что в прошлом оно не могло продолжаться вечно. И действительно, во всех однородных и изотропных моделях расширение либо когда-то возникло после фазы сжатия, либо началось в некоторый момент $t = 0$, когда плотность вещества ρ была бесконечна (сингулярность). При этом, если космологическая постоянная $\Lambda = 0$, то все решения принадлежат к последнему классу — обладают сингулярностью (те же решения с $\Lambda \neq 0$, которые не имеют сингулярности, не находятся в согласии с данными наблюдений). Напомним также, что если средняя плотность вещества $\rho > \rho_c = 3H^2/(8\pi G)$, то изотропная и однородная модель с $\Lambda = 0$ является закрытой (расширяющаяся, а затем сжимающаяся трехмерная сфера); если $\rho < \rho_c$, то модель открытая. Здесь G — гравитационная постоянная и H — «постоянная» Хаббла, современное значение которой равно

$$H_0 \approx 75 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк}) = 2,4 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1},$$

что отвечает «возрасту» Вселенной $T_0 \sim 1/H_0 \sim 10^{10}$ лет (современное значение H_0 лежит в пределах $50 \div 100 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$, причем споры на этот счет продолжаются — определение H_0 является трудной задачей). При $H_0 = 75 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$ критическая плотность $\rho_c =$

¹Точнее, первая релятивистская космологическая модель, и при этом модель изотропная и однородная, была предложена Эйнштейном в 1917 г. [68]. Однако его модель была статической. Она отвечает одному решению из двухпараметрического семейства решений, найденных Фридманом, которые во всех других случаях нестационарны. При этом Фридман не считал нулем введенную Эйнштейном космологическую постоянную Λ . При $\Lambda = 0$ нестационарны все однородные и изотропные модели. Заметим, что локальные однородность и изотропность пространства (и соответствующей модели) совместимы с различными в топологическом отношении глобальными моделями. Можно думать, что кроме фридмановских моделей существует очень большое число практически еще не исследованных моделей, совместимых с имеющимися данными наблюдений.

$\rho_{c,0} \sim 10^{-29}$ г/см³; в прошлом значение ρ во Вселенной было выше, поскольку величина H уменьшается со временем.

Определение плотности ρ или, более конкретно, плотности $\rho = \rho_0$ в нашу эпоху оказалось очень трудной задачей. Средняя плотность, связанная с видимыми объектами (галактиками, квазарами или, точнее, светящимся веществом в них), примерно на полтора порядка меньше, чем ρ_c . Вероятно, значение ρ_0 определяется невидимыми «ингредиентами»: слабо светящимися звездами и планетами, черными дырами, нейтрино и т.д. или даже гравитационными волнами (в связи с последней возможностью лучше говорить не о плотности вещества, а о плотности энергии, деленной на c^2 , ибо называть гравитационные волны веществом можно лишь с некоторой натяжкой). Об этом еще пойдет речь в § 23.

Появление сингулярности ($\rho \rightarrow \infty$) логически, быть может, допустимо, но, по мнению очень многих (в том числе и по моему мнению), указывает на какое-то неблагополучие, неприменимость или ограниченность теории и т.п. Одно время была надежда на то, что сингулярность во фридмановских моделях появляется в силу их высокой симметрии, но такая сингулярность должна исчезнуть в неоднородных и анизотропных космологических моделях, подобно тому как фокус высокосимметричной линзы размывается при ее деформации.

Затем выяснилось, однако, что это не так: весьма общие решения ОТО, отвечающие космологическим моделям и являющиеся анизотропными и неоднородными, также имеют сингулярную точку (приближение к этой точке, вообще говоря, носит весьма своеобразный осциллирующий характер).

Итак, в рамках ОТО освободиться от сингулярностей в задачах о космологическом расширении (или о гравитационном коллапсе; см. § 22), видимо, не представляется возможным. Но это еще отнюдь не является решающим свидетельством в пользу существования истинных сингулярностей с $\rho \rightarrow \infty$. Дело в том, что ОТО представляет собой классическую теорию. Между тем не приходится сомневаться в том, что истинная (полная и последовательная) теория гравитационного поля должна быть квантовой. Обычно эти квантовые эффекты в астрофизике крайне малы, как и для большинства макроскопических задач, но именно вблизи сингулярности квантовые эффекты сильно возрастают.

Допустим, например, что существует фундаментальная длина l_f (см. § 16). Тогда представляется почти несомненным, что классическая ОТО перестает «работать» для масштабов порядка или меньше l_f и, вероятно, для плотностей¹ $\rho \gtrsim \rho_f \sim \hbar/(cl_f^4)$. При $l_f \sim 10^{-17}$ см плотность $\rho_f \sim 10^{30}$ г/см³. Можно думать, что в этом случае плотности $\rho \gtrsim \rho_f$ недостижимы и сингулярность, как и все расходимости, исчезает. Если же никакой фундаментальной длины l_f , не связанной с гравитацией, не существует, то все равно на сцену выступит некоторая гравитационная длина l_g (возможно, что она и играет роль фундаментальной длины l_f). В самом деле, из гравитационной постоянной G (в единицах см³/(г · с²)), скорости света c и квантовой постоянной \hbar можно образовать длину

$$l_g \sim \sqrt{G\hbar/c^3} \approx 1,6 \cdot 10^{-33} \text{ см.} \quad (14)$$

Этой длине отвечают время $t_g \sim l_g/c \approx 0,5 \cdot 10^{-43}$ с и плотность

$$\rho_g \sim c^5/(\hbar G^2) \sim \hbar/(cl_g^4) \sim 5 \cdot 10^{93} \text{ г/см}^3. \quad (15)$$

Различные соображения и оценки свидетельствуют о том, что с учетом квантовых эффектов даже в отсутствие какой-либо фундаментальной длины $l_f > l_g$ плотность ρ по порядку величины не может превосходить $\rho_g \sim 10^{94}$ г/см³. При этом помимо роста различных флуктуаций вблизи сингулярности должно, вообще говоря, происходить бурное

¹Из квантовой постоянной \hbar (г · см²/с), скорости света c (см/с) и длины l_f (см) можно составить только одну указанную величину ρ_f (г/см³).

рождение пар различных частиц. Отсюда следует, что классические сингулярные решения ОТО нельзя экстраполировать в область плотностей, больших ρ_g , и, вообще, к самой сингулярности.

Правда, последовательная квантовая теория гравитации, не говоря уже о квантовой космологии, еще не создана. Поэтому еще нельзя с полной уверенностью указать предел классического описания. Но это не изменяет вывода о необходимости развивать квантовую космологию. Решение этой задачи, по-видимому, исключительно трудное дело, но вместе с тем необходимое и глубоко принципиальное. В последние годы к этой проблеме и к тесно связанным с ней вопросам о квантовых эффектах для «черных минидыр», о космических струнах и т.д. (см. § 22) привлечено пристальное внимание, и на эту тему появляется очень большое число работ.

Выше мы опирались на ОТО, но делалось и делается немало попыток решать космологические вопросы вне рамок ОТО или, точнее, выходя за ее пределы. Здесь возможны различные пути. Так, можно обобщать (или даже изменять) ОТО еще на классическом уровне (см. литературу, указанную в [61, 62]). В известном смысле сюда же можно отнести обобщения ОТО, связанные с введением фундаментальной длины $l_f > l_g$ (см. § 16). Если же такой длины l_f не существует, а ОТО полностью справедлива в классической области (такая точка зрения наиболее распространена и, конечно, вполне допустима и даже естественна), то необходимое обобщение ОТО — это та квантовая теория гравитации, о которой было упомянуто выше. Отметим, что помимо последовательного подхода здесь имеется и несколько иной — полуфеноменологическое обобщение ОТО с введением длины l_g или максимальной плотности $\rho_{max} \sim \rho_g$.

Космологическая проблема и связанный с ней вопрос о сингулярностях в ОТО занимают в астрономии по своему характеру и типу задач примерно такое же место, как микрофизика в физике. Кроме того, нужно еще раз подчеркнуть (см. выше, особенно § 15), что в последние годы наиболее четко выяснилось (или, лучше сказать, стала реально использоваться и учитываться) глубокая связь космологии с микрофизикой и, в частности, физикой высоких энергий.

Казалось бы, нужно вернуться к этой фундаментальной проблеме, тем более что она фигурирует даже в заголовке настоящего параграфа. Но я решил ограничиться сказанным ранее и общей декларацией. Действительно, когда речь идет о какой-то конкретной проблеме, скажем, о металлическом водороде, то в настоящей статье можно было попытаться объяснить суть дела (насколько мне это удалось — другой вопрос). В случае же космологии — одной из величайших проблем естествознания, которой сейчас в разных планах активно (впрочем, лучше подошли бы слова: с огромным энтузиазмом, вдохновенно и т.п.) занимаются во всем мире, попытка на нескольких страницах охватить огромный материал вполне может обернуться какой-то профанацией. Поэтому еще раз отсылая к литературе (в первую очередь к [67]), лишь перечислим кратко те направления, которые привлекают особое внимание в настоящее время (помимо упомянутых: проблемы сингулярности и общего вопроса о связи космологии с физикой высоких энергий).

Во-первых, нужно коснуться моделей «раздувающейся Вселенной», впервые предложенных только в 1981 г. (см. обзоры [58, 67, 98], а также [57]).

В согласии со сказанным ограничимся замечанием, что в моделях раздувающейся Вселенной расширение непосредственно вблизи космологической сингулярности существенно иное, чем в обычных моделях расширяющейся Вселенной. Сама сингулярность, однако, сохраняется или, если угодно, не затрагивается — расширение Вселенной рассматривается хотя и на малом временном интервале $\Delta t \sim 10^{-35}$ с вблизи сингулярности, но все же уже «отступив» от нее.

С моделями раздувающейся Вселенной тесно связан второй момент (это и есть «во-вторых»), который здесь нужно отметить: учет возможности фазовых переходов в вакууме

(см. § 17) и предположение, что вблизи сингулярности вакууму отвечает уравнение состояния $\varepsilon_\nu = -p_\nu$ (p — давление и ε — плотность энергии, причем $\varepsilon_\nu > 0$ и, следовательно, давление p_ν — отрицательное).

Заметим здесь, что использование именно такого уравнения состояния $\varepsilon_\nu = -p_\nu$ эквивалентно введению упоминавшегося Λ -члена, причем $\Lambda = (8\pi G/c^4)\varepsilon_\nu$ и выбор знака $\varepsilon_\nu > 0$ означает, что $\Lambda > 0$. Кстати сказать, существует и является принципиальной «проблема Λ -члена». Грубо ее можно сформулировать так: почему в нашу эпоху Λ -член весьма мал, а быть может, и строго равен нулю? К сожалению, мы не можем здесь, ибо это как-то выпадало бы из контекста, пояснить, почему актуальна эта проблема, почему она возникает (см. [104]).

В-третьих, большое внимание в связи с обсуждением ранних фаз эволюции горячей Вселенной уделяется проблеме несохранения барионного заряда и объяснению наблюдаемой в настоящее время резкой асимметрии между веществом и антивеществом (последнее практически отсутствует). То же (в смысле большого внимания) относится и к проблеме реликтовых магнитных монополей [42] и космических струн. Эти вопросы можно, конечно, отнести к «связи физики с космологией», но нам хотелось их здесь выделить.

Наконец, в-четвертых, хотя в экспериментальном отношении вопрос о массе покоя нейтрино, а также самом существовании и массе других частиц (фотино, гравитино, аксионов и т.д.) остается совершенно открытым, эта проблематика вышла на авансцену космологии и всей внегалактической астрономии. Достаточно сказать, что в случае, если $m_\nu \gtrsim 10$ эВ, основная часть массы во Вселенной была бы сосредоточена в нейтрино; например, при $m_\nu = 20$ эВ с нейтрино было бы связано 97% всей массы). Особенно существенно значение слабовзаимодействующих частиц с достаточно большой массой покоя (электронное нейтрино здесь лишь один, пусть и самый вероятный кандидат) для проблемы скрытой массы (темной материи) и строения галактик. Поэтому мы еще вернемся к этому вопросу в § 23.

Сейчас же закончим, по сути дела, повторением: космология и то, что с ней связано, — это проблема номер один в астрономии. Для решения фундаментальных загадок в таких областях обычно нужны новые идеи. Вперед здесь идут с огромным трудом, пробуют, ошибаются и вновь пытаются найти правильный путь (некоторое представление о поисках этого пути дают ответы ряда космологов на вопросы корреспондента журнала «Природа» [100]).

§ 22. Нейтронные звезды и пульсары. Черные дыры

Гипотеза о существовании нейтронных звезд была, насколько удалось установить, высказана в 1934 г. и затем широко обсуждалась многие годы, но лишь в теоретическом аспекте. Попытки обнаружить нейтронные звезды сначала казались почти безнадежными¹, потом появились надежды заметить такие звезды, пока они горячи ($T \sim 10^6 \div 10^7$ К), по их рентгеновскому излучению. Фактически же нейтронные звезды были открыты в 1967, 1968 гг. по их специфическому периодическому радиоизлучению — мы имеем в виду обнаружение пульсаров, идентификация которых с нейтронными звездами сейчас общепринята. С изучением нейтронных звезд и пульсаров (знак равенства здесь все же ставить нельзя, тем более что не все нейтронные звезды должны давать наблюдаемое пульсирующее излучение) связано очень большое число проблем. Но то же можно сказать и о звездах любого класса. Поэтому нейтронные звезды и пульсары упоминаются в настоящей статье в силу нескольких специальных обстоятельств.

¹Радиус нейтронной звезды $r_0 \approx 10 \div 30$ км, т.е. на пять порядков величины меньше радиуса Солнца $r_\odot \sim 7 \cdot 10^5$ км. Поэтому при такой же, как у Солнца, температуре $T_\odot = 6000$ К фотосфера нейтронной звезды излучала бы на десять порядков величины меньше света, чем Солнце.

Во-первых, большая часть нейтронной звезды состоит из вещества с плотностью, лежащей в пределах от 10^{11} до 10^{15} г/см³. Уравнение состояния и все свойства вещества при такой плотности плохо известны, и их изучение составляет немаловажную задачу. Особо здесь можно отметить вопрос о сверхтекучести нейтронной жидкости и сверхпроводимости протонной жидкости в нейтронных звездах. (При плотностях 10^{13} — 10^{15} г/см³ протоны и, конечно, электроны примешаны к нейтронам в количестве нескольких процентов; поскольку нейтроны, протоны и электроны в таких условиях образуют вырожденные ферми-системы, в некотором приближении оказывается возможным считать, что эта смесь как бы состоит из независимых нейтронной, протонной и электронной ферми-жидкостей).

Во-вторых, остается неясным вопрос о центральной области нейтронных звезд, где при плотностях $\rho \gtrsim 6 \cdot 10^{14} \div 10^{15}$ г/см³ (если они достигаются; это зависит от массы звезды) помимо нуклонов и электронов в заметном количестве появляются мезоны и гипероны (т.е. большое число сортов сильно взаимодействующих частиц — адронов), в силу чего уравнение состояния совсем уже плохо известно. Кстати, быть может, будет не лишним подчеркнуть, что в нейтронных звездах нейтроны и другие нестабильные в свободном состоянии частицы становятся, вообще говоря, стабильными (подобно нейтронам и в стабильных атомных ядрах).

Если говорить не о гипотетических состояниях вещества типа возможных в области вблизи сингулярностей (космология, коллапс), то в центральных областях нейтронных звезд плотность вещества — наибольшая из встречающихся в природе. Это замечание, как можно думать, говорит само за себя.

В § 16 указывалось, что в случае существования фундаментальной длины l_f известные законы могут начать нарушаться при $\rho_f \sim \hbar/(cl_f^4)$. Поскольку в атомных ядрах $\rho = \rho_{\text{я}} \sim 3 \cdot 10^{14}$ г/см³, а резкие аномалии «фундаментального типа» не наблюдаются, приходим к оценке $l_g \lesssim (\rho_{\text{я}} c / \hbar)^{1/4} \sim 10^{-13}$ см, в которой трудно сомневаться и по более убедительным соображениям (как указывалось, сейчас считается, что $l_f < 10^{-16} \div 10^{-17}$ см). Тем не менее центральные области достаточно массивных нейтронных звезд, где $\rho > \rho_{\text{я}}$, представляют интерес и для микрофизики.

Добавим, что гравитационные поля в нейтронных звездах — также наибольшие (опять же за исключением полей, с которыми приходится пока лишь в теории иметь дело при анализе космологической проблемы и коллапса). Тем самым ясно, что отклонения от ОТО, если они существуют, должны были бы проявиться в первую очередь в случае нейтронных звезд.

В-третьих, долгое время оставались еще недостаточно ясными электродинамика пульсаров и механизм их излучения. Особо можно выделить вопрос строения коры нейтронных звезд, в частности, с учетом действия сильного магнитного поля [56], достигающего для пульсаров значений порядка 10^{11} — 10^{13} Э.

В настоящее время известны уже многие сотни пульсаров. Однако, если не говорить о двойных системах, лишь весьма немногие из них, и в первую очередь знаменитый пульсар PSR0531 в Крабовидной туманности, излучают не только в радиодиапазоне. Пульсар PSR0531 испускает довольно сильное оптическое, рентгеновское и гамма-излучение. Несомненно, это связано с молодостью пульсара в Крабе, возникшего при вспышке сверхновой в 1054 г. Период вращения пульсара в Крабе составляет 0,033 с и до 1982 г. считался самым быстрым (короткопериодическим). Однако в 1982 г. был открыт «сверхбыстрый», или, как его часто называют, миллисекундный, пульсар PSR 1937+214 с периодом $P = 1,56$ мс, т.е. вращающийся примерно в 20 раз быстрее пульсара в Крабе (таким образом, нейтронная звезда радиусом около 10 км и массой, близкой к массе Солнца, делает 640 оборотов в секунду!).

По-видимому, пульсары такого типа имеют сравнительно слабое по сравнению с «обычными» пульсарами магнитное поле $H \sim 10^9$ Э, что приводит к малой потере энергии на излучение (из наблюдений известно, что период миллисекундного пульсара увеличивается весьма медленно, откуда и следует, что он мало излучает, причем это относится и к

гравитационному излучению; последнее заключение подтверждено наблюдениями). В § 20 упоминалось о радиопульсаре в двойной системе. Еще раньше были открыты и сыграли большую роль в развитии рентгеновской астрономии рентгеновские пульсары, входящие в состав тесных двойных систем, — об этом пойдет речь несколько ниже.

Для физики важнее всего — возможность изучения самих нейтронных звезд и вещества, из которого они состоят. Постановка вопроса довольно выпукло выступает уже из заглавия статьи [69]: «Пульсары и компактные рентгеновские источники — космические лаборатории для изучения нейтронных звезд и адронного вещества». Это очень большая и интересная тема, из которой можно выделить ряд подтем, таких, например, как упоминавшееся исследование внешней коры нейтронных звезд, когда главные особенности связаны не с высокой плотностью, сверхтекучестью и ядерными эффектами, а с действием сверхсильного магнитного поля (см. § 8).

Хотя в принципиальном отношении и проще, но на практике в известном отношении сложнее проблема магнитосферы пульсаров и механизма их излучения. Сверхсильное поле, наличие вращения в отсутствие аксиальной симметрии (у пульсаров ось вращения и магнитный момент находятся под углом друг к другу) и необходимость учета релятивистских плазменных эффектов — все это делает задачу очень сложной. Во всяком случае, понимание в этой области отстает от изучения самих нейтронных звезд.

Я хорошо помню, как пульсары были открыты, и первый, «героический» период их исследования. Тогда казалось (мне во всяком случае), что разобраться в механизме излучения, которое мы как раз только и наблюдаем, будет гораздо легче, чем даже выяснить природу самих пульсаров — выбрать между моделями белого карлика и нейтронной звезды. Но все оказалось наоборот. Открытие короткопериодических пульсаров в Крабе и Веле (Парусах) сразу же отмело модели белых карликов. Наблюдение нерегулярностей периода пульсации излучения (и, следовательно, периода вращения) пульсаров в сочетании с прогрессом в теории позволило «проникнуть» в недра нейтронных звезд [69]. Что же касается моделей магнитосферы пульсаров, то существенное продвижение вперед здесь достигнуто лишь в последнее время [70].

С проблемой нейтронных звезд и пульсаров тесно связан, очевидно, вопрос о механизме образования и взрыва сверхновых звезд. Эта задача имеет много сторон (эволюция звезды до вспышки, сама вспышка и характер «остатка» сверхновой, разлет оболочки, образование ряда химических элементов при вспышках и др.). Подчеркнем лишь, что продуктом взрыва сверхновой может быть не только нейтронная звезда, но и черная дыра, и белый карлик; возможен и взрыв без остатка, т.е. полный разлет звезды. Какая из возможностей реализуется, зависит в первую очередь от массы звезды и ее химического состава [71]. Взрыв сверхновой является, вообще говоря, источником не только электромагнитного излучения во всех диапазонах, но также нейтрино (см. § 25) и гравитационных волн. Естественно, что проблема сверхновых занимает в астрономии исключительно важное место.

В 1971 г. с помощью спутника «Ухуру» (см. § 24) были открыты рентгеновские пульсары (источники строго периодического рентгеновского излучения). Вначале были обнаружены рентгеновские пульсары Cen X-3 (Центавр X-3) с периодом 4,8 с и Her X-1 (Геркулес X-1) с периодом 1,2 с. Сейчас известно более десятка таких пульсаров, причем не приходится сомневаться в том, что они, как и радиопульсары, представляют собой намагниченные и вращающиеся нейтронные звезды, но находящиеся в довольно тесных двойных системах. По последней причине (т.е. в связи с близостью второй звезды, не являющейся нейтронной) происходит эффективное перетекание (падение, аккреция) плазмы на нейтронную звезду. При этом достигающая поверхности или окрестности нейтронной звезды плазма имеет большую скорость (результат ее притяжения нейтронной звездой). Естественно, что вынужденная остановиться у поверхности нейтронной звезды плазма сильно

разогревается (температура ее $T \sim 10^7\text{--}10^8$ К и выше) и излучает в основном в рентгеновском диапазоне. О наблюдении «рентгеновских звезд» (а они в значительной своей части представляют собой двойные системы) речь еще пойдет в § 24.

Заметим, что роль компактной звезды может в принципе играть также белый карлик. Радиопульсарами также могли бы в некоторых случаях оказаться белые карлики, но лишь когда период пульсара $P > 1 \div 3$ с. Отметим, что в литературе упоминаются также «кварковые звезды». Речь идет, по существу, о том, что при достаточно больших плотностях (больших ядерной плотности $\rho_1 \sim 3 \cdot 10^{14}$ г/см³) нейтроны, быть может, «раздавлены» и мы имеем дело с «кварковым веществом» или кварково-глюонной плазмой. Ясно, что такие звезды, если они существуют, непосредственно примыкают по своим характеристикам к нейтронным или, правильнее сказать, относятся к общему классу нейтронных звезд, которые могут обладать разными параметрами (эти параметры, например плотность вещества в центре, в первую очередь зависят от массы звезды).

Все перечисленные проблемы и вопросы, связанные с нейтронными звездами и пульсарами, содержат много сложных и совершенно неясных элементов. Связи этой тематики с рядом узловых задач физики и астрономии очевидны. Поэтому излучение нейтронных звезд и пульсаров еще многие годы будет, вероятно, находиться в центре внимания. Но если до 1967—1968 гг. обнаружение нейтронных звезд было мечтой, то теперь нейтронные звезды постепенно переходят (и это естественно) на роль более или менее знакомых объектов, пусть еще мало «освоенных».

Внимание же охотников за новинками в какой-то мере переключилось на поиски еще более экзотических звезд — черных дыр. Впрочем, охотники за новинками здесь упомянуты лишь для красоты слога (автор понимает, что эта красота кажущаяся, но хочет облегчить переход к новой теме). На самом деле вопрос имеет сорокалетнюю историю (как мы увидим, в каком-то смысле ее начало было положено даже еще раньше — в XVIII в.) и связан с исследованием устойчивых конфигураций остывших, «умерших» звезд.

Звезды нагреты и светят благодаря происходящим в их недрах ядерным реакциям. Имеющийся в горячей звезде градиент давления не дает ей сжаться под влиянием гравитационных сил, т.е. поддерживает состояние квазиравновесия. Но когда ядерное горячее выгорает, звезда сжимается и должна перейти в какое-то окончательное («холодное») состояние. Если звезда медленно вращается (или практически совсем не вращается), остывание происходит без взрывов, а масса звезды $M < 1,2M_{\odot}$ ($M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33}$ г — масса Солнца), то конечным состоянием является конфигурация белого карлика (радиус $10^3\text{--}10^4$ км, средняя плотность $\rho \sim 10^5 \div 10^{10}$ г/см³). Равновесие звезды поддерживается при этом за счет «нулевого» давления электронного газа¹. Однако звезда «не хочет» умирать — в процессе выгорания ядерного горючего она иногда взрывается (такие взрывы наблюдаются как появление новых и сверхновых звезд), выбрасывая часть массы. Быть может (это еще не ясно), при подобном взрыве звезда вообще исчезает (т.е. вся ее масса выбрасывается), но имеются и другие, более правдоподобные возможности. Одна из них — сохранение какой-то звезды с $M < 1,2M_{\odot}$, которая затем эволюционирует в состояние белого карлика. Другая возможность — появление нейтронной звезды, образующейся в результате сильного сжатия центральных частей исходной звезды при взрыве.

Если масса нейтронной звезды $M < 1,2M_{\odot}$, то мы сталкиваемся с ситуацией, при которой у звезды в остывшем состоянии имеются два устойчивых положения равновесия. Какое из них достигается (белый карлик или нейтронная звезда), зависит от истории

¹Такие звезды наблюдаются в состоянии, когда некоторое количество «горючего» в них осталось. В сочетании с малой площадью поверхности по сравнению с обычными звездами это приводит к тому, что температура поверхности (фотосферы) у белых карликов обычно довольно велика и они кажутся «белыми», т.е. в их спектре доминирует коротковолновое оптическое излучение. Но известны и красные «белые карлики», а конечная стадия жизни любого белого карлика (при отсутствии аккреции) — это «черный карлик», т.е. совершенно холодная, а потому и неизлучающая плотная звезда.

образования звезды (при медленной эволюции образуется, конечно, белый карлик)¹. Ну, а что должно случиться с более массивной звездой ($M > 1,2M_{\odot}$), если она не могла сбросить оболочку и освободиться таким образом от части массы?

В силу недостаточного знания уравнения состояния сейчас еще не ясно, какой максимальной массой может обладать нейтронная звезда. Твердо установлено, однако, что такая масса существует и в рамках ОТО не превосходит $2 \div 3M_{\odot}$. Поэтому для звезд с массой M , большей $1,2M_{\odot}$, но меньшей $M_{max} \approx 2 \div 3M_{\odot}$, конечное состояние — нейтронная звезда². В случае еще более массивных холодных звезд никакое вещество не может противостоять силам тяготения, и звезда будет неограниченно сжиматься — она коллапсирует, превращается в черную дыру. Кратко и в то же время понятно осветить вопрос о черных дырах (кавычки опускаем, отдавая дань тому факту, что термин «черные дыры» уже широко известен), да еще с минимальными ссылками на общую теорию относительности (ОТО) дело весьма трудное. Кроме того, это как-то нарушило бы стиль изложения, принятый в других параграфах настоящей статьи. Поэтому приведем здесь только ссылку на книгу [72] и сделаем несколько замечаний.

Важную роль в процессе релятивистского коллапса играет гравитационный радиус

$$r_g = 2GM/c^2 \approx 3M/M_{\odot} \text{ (км)}, \quad (16)$$

где M — масса тела, $G = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/(\text{г} \cdot \text{с}^2)$ — гравитационная постоянная, $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$ скорость света. Для Солнца (масса $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33} \text{ г}$) гравитационный радиус $r_g \approx 3 \text{ км}$, тогда как радиус фотосферы $r \approx 7 \cdot 10^5 \text{ км}$. Для «внешнего наблюдателя», т.е. при приеме излучения звезды вдали от нее, гравитационный радиус r_g играет роль наименьшего радиуса поверхности сжимающейся звезды, поскольку свет (и сигналы любой другой природы) может уйти от звезды лишь с расстояний $r > r_g$. Если же радиус звезды в сопутствующей ей (т.е. связанной с материалом звезды) системе отсчета меньше r_g , то свет наружу не выходит, он как бы захватывается звездой и вместе с составляющим ее веществом «падает» к ее центру.

Не нужно думать, что этот эффект неразрывно связан с ОТО в том смысле, что получается лишь в рамках этой теории. Напротив, еще в 1783 г. Мичелл, а в 1796 г. Лаплас (опираясь, разумеется, лишь на ньютоновскую механику и закон всемирного тяготения) заметили, что в случае достаточно массивной звезды лучи света не смогут от нее уходить и «по этой причине самые большие светящиеся тела во Вселенной будут для нас невидимыми». Аргументация была при этом правильной, и, более того, на таком пути получилось правильное выражение для гравитационного радиуса!

В самом деле, будем считать, что свет состоит из корпускул с массой m (в согласии с современными представлениями можно положить $m = \hbar\omega/c^2$, где $\hbar\omega$ — энергия фотона). Такая корпускула может удалиться с расстояния r от тела массой M на бесконечность при условии, что $GmM/r = mv^2/2$, где v — радиальная скорость корпускулы. Полагая v равной c — скорости света, получаем, таким образом, условие $r = 2GM/c^2$, причем масса m роли не играет. Отсюда как раз и следует, что с расстояний $r < r_g = 2GM/c^2$ свет выйти наружу не может.

Расчет этот непоследователен хотя бы уже потому, что фактически для тел со скоростью v , сравнимой со скоростью света c , кинетическая энергия равна не $mv^2/2$, а $mc^2/(1 -$

¹Разумеется, и для массы $M < 1,2M_{\odot}$ одно из состояний энергетически более выгодно. Но эти состояния разделены, вообще говоря, гигантским потенциальным барьером. Только при взрыве или в результате взрыва звезда может «проскочить» состояние белого карлика и превратиться в нейтронную звезду.

²Не исключено, что максимальная масса нейтронных звезд меньше максимальной массы белых карликов, равной $1,2 - 1,3M_{\odot}$. Кроме того, предполагается, что звезды вращаются не слишком быстро (судьба быстро вращающихся звезд во многом еще не ясна; вполне возможно, что они по мере сжатия теряют устойчивость и распадаются на несколько звезд). Легко видеть, что эти оговорки малосущественны в рамках нашего изложения.

$v^2/c^2) - mc^2$. Если же в проведенном расчете считать энергию корпускулы равной mc^2 , то для r_g получилось бы значение GM/c^2 . В этом отношении точное совпадение предельного радиуса Лапласа с r_g в каком-то смысле случайно. Но тот факт, что ньютоновская теория способна качественно, а иногда и количественно описывать эффекты ОТО, далеко не случаен: не следует забывать, что классическая механика и теория тяготения содержатся в ОТО как предельный случай.

В § 21 уже упоминалось о том, что нестационарность Вселенной носит, по сути дела, классический характер (более того, из ньютоновской теории можно получить законы эволюции фридмановских моделей Вселенной [73]). На отклонение световых лучей в поле Солнца, предсказанное Эйнштейном в 1911 г., впервые было указано еще в 1801 г. Золднером, получившим тот же количественный результат (расчет и ссылку см. в [74], поскольку статья Золднера труднодоступна). В дальнейшем (в 1915 г.) Эйнштейн, правда, выяснил, что фактически отклонение лучей должно быть вдвое больше, чем указывалось им в 1911 г. и Золднером в 1801 г. Наблюдения, как упоминалось в § 19, находятся в согласии с результатом Эйнштейна 1915 г., вытекающим из ОТО (в 1911 г. построение ОТО еще не было закончено и Эйнштейн пользовался лишь соображениями, основанными на принципе эквивалентности, которых в данном случае недостаточно).

Вернемся, однако, к черным дырам. Само это название связано с тем, что по прошествии некоторого времени τ коллапсирующая звезда для внешнего наблюдателя потухает, становится невидимой. Время τ зависит от начальных условий, чувствительности аппаратуры и т.п., но по порядку величины

$$\tau \sim r_g/c \sim 10^{-5} M/M_\odot \text{ (с)}, \quad (17)$$

т.е. угасание происходит очень быстро — по крайней мере для звезд с массой $M \sim M_\odot$, а не, скажем, для галактических ядер и квазаров (если бы они оказались черными дырами) с массой $M \sim 10^9 M_\odot$, хотя и в этом случае время τ ничтожно по астрономическим масштабам¹. Никак нельзя тем не менее сказать, что черная дыра исчезает. Прежде всего, нужно иметь в виду, что ее гравитационное поле полностью сохраняется и на расстояниях $r \gg r_g$ гравитационный потенциал звезды описывается обычным выражением $\varphi = -GM/r$. Поэтому входящая в состав двойной звезды черная дыра действует на вторую звезду совершенно так же, как обычная звезда. Таким путем и предполагается в первую очередь искать черные дыры: нужно найти двойные системы, в которых одна из звезд не излучает, а ее масса $M > 3M_\odot$, и поэтому она не может быть нейтронной звездой или потухшим (черным) белым карликом. Задача эта не из легких, но, быть может, уже привела к успеху — к обнаружению черной дыры в случае рентгеновского источника Cyg X-1 (Лебедь X-1), а в 1982 г. в случае рентгеновского источника LMC X-3 в Большом Магеллановом Облаке (см. ниже).

В этих случаях, правда, нельзя сказать, что черная дыра не видна. И тем лучше, конечно! Но остается объяснить, почему это не противоречит сказанному выше. Дело в том, что черная дыра действительно не может быть видна сама по себе (для времени $t \gg \tau$; см. (17)), но это не обязательно относится к веществу, падающему на звезду — черную дыру. При таком падении (при аккреции) падающий газ скапливается вблизи «дыры» в виде вращающегося диска. Газ в диске сильно нагрет и излучает в основном в рентгеновской области. Кроме того, при определенных условиях газ вблизи дыры может турбулизироваться и в нем по мере приближения к области с $r \sim r_g$ нарастают магнитные поля и происходит ускорение частиц. В результате должно возникать синхротронное излучение. В общем, аккрецируемое черной дырой вещество излучает и будет образовывать вокруг нее некоторый ореол. Характерное свойство возникающего излучения — его переменность, причем с

¹Во избежание недоразумений заметим, что время $\tau \sim r_g/c$ характеризует последнюю, релятивистскую фазу коллапса, когда радиус звезды $r \sim r_g$ (скажем, $r \lesssim 3r_g$). Сжатие же звезды до радиуса $r \sim r_g$ может происходить медленно, но все это время звезда еще видна.

квазипериодом $P \sim \tau \sim r_g/c \sim 3 \cdot 10^{-5} \div 10^{-4}$ с (при $M \sim 3 \div 10 M_\odot$). Поэтому светящиеся в результате аккреции черные дыры иногда называют флуктуарами.

Рентгеновский источник Cyg X-1, во-первых, входит в состав довольно тесной двойной системы (период 5,6 суток), что обеспечивает мощную аккрецию и, почти несомненно, как раз и приводит к рентгеновскому излучению (то же можно сказать о рентгеновских пульсарах Cen X-3, Her X-1 и некоторых других, в которых компактная компонента двойной звезды является не черной дырой, а нейтронной звездой). Во-вторых, в отличие от только что упомянутых рентгеновских пульсаров в случае Cyg X-1 излучение хотя и сильно флуктуирует, но без определенного периода. К сожалению, флуктуации с характерным временем $\tau \sim 10^{-4}$ с еще не наблюдались (не было соответствующей аппаратуры), и зафиксированы лишь более медленные колебания. С другой стороны, оценка массы компактной компоненты приводит к значению $M \sim 5 \div 6 M_\odot$, что также свидетельствует в пользу ее идентификации с черной дырой.

Однако нет еще полной уверенности в том, что Cyg X-1 является фактически двойной, а не тройной системой. Высказывались также предположения, что излучение в Cyg X-1 связано не с аккрецией газа на компактную звезду, а с магнитными эффектами в двойной звездной системе (см. ссылки на литературу в [61]). В целом уже ряд лет вопрос о природе источника Cyg X-1 остается нерешенным, хотя наиболее вероятной и считается гипотеза о присутствии в этом источнике черной дыры. Но, несомненно, столь важное утверждение требует солидного доказательства, а его еще нет.

Впрочем, в известном смысле гипотеза о том, что в Cyg X-1 имеется черная дыра, подкрепляется обнаружением еще лучшего «кандидата» в черные дыры — двойного источника LMC X-3. В этом случае масса невидимой звезды должна превосходить $6 M_\odot$, что значительно больше верхнего предела массы для нейтронной звезды. В последние годы обнаружено еще несколько звезд — «кандидатов» в черные дыры (в частности, речь идет об источниках рентгеновских лучей и позитронов). В результате в существовании звезд — черных дыр сейчас сомнений, практически, уже нет.

В черную дыру может в принципе превратиться не только обычная звезда (с массой $M \sim 3 \div 50 M_\odot$), но и такое еще более массивное образование, как квазар или галактическое ядро. В частности, была высказана гипотеза о том, что в центре нашей Галактики и в некоторых других галактиках находятся малоактивные ядра, представляющие собой умершие квазары, т.е. квазары, превратившиеся в черные дыры. Некоторая сохранившаяся активность таких галактических ядер должна быть связана с аккрецией, и в этом смысле они аналогичны рассмотренной выше модели флуктуара, но отличаются гораздо большим масштабом.

Тела с большой массой, в частности массивные черные дыры, могут вызывать столь сильную аккрецию, что связанное с ней падение и разогрев газа будут видны — проявляться в виде достаточно яркого свечения. Таким образом, предположение о существовании «мертвых» (неактивных) черных дыр в центре Галактики и ряда других галактик можно согласовать с наблюдениями лишь при известных условиях и ограничениях (см. [114]). К этому вопросу — о черных дырах в квазарах и ядрах галактик — мы еще вернемся в § 23.

В ближайшем будущем следует ожидать интенсивных поисков черных дыр, а затем и изучения особенностей возникающего вблизи них излучения и других их проявлений. Существен при этом учет вращения черных дыр и возможности того, что при достаточно быстром вращении вместо черной дыры возникают конфигурации с качественно отличными особенностями (имеются в виду «голые» сингулярности; Впрочем, наиболее вероятно, что «голые» сингулярности существовать не могут). Так или иначе, изучение черных дыр, впервые в явном виде рассмотренных в 1939 г., стало сейчас реальной астрофизической проблемой и привлекает к себе большое внимание. Думаю, что в будущем интерес к физическим и астрономическим процессам и эффектам, связанным с черными дырами, не уменьшится.

Вблизи гравитационного радиуса поле тяготения становится сильным (параметр $|\varphi|/c^2$ не мал, и, собственно, им уже нельзя пользоваться; см. § 19). Поэтому именно вблизи черных дыр (и практически, вероятно, только в этом случае) можно проверять ОТО для сильных гравитационных полей. С этой точки зрения, впрочем, особенно важно само обнаружение (конечно, вполне надежное) хотя бы одной черной дыры. Дело в том, что в рамках ОТО черные дыры, безусловно, могут существовать (хотя вовсе и не обязаны образовываться в тех или иных конкретных условиях). Предложены вместе с тем некоторые теории гравитационного поля (правда, они недостаточно развиты и встречаются с возражениями; см. [61] и указанную там литературу), в которых решения, соответствующие черным дырам, не появляются. В такой ситуации, очевидно, обнаружение черных дыр хотя и не доказывало бы справедливости именно ОТО, но свидетельствовало бы в ее пользу. Если же черные дыры не будут обнаружены (что логически в настоящее время не исключено полностью), то такой результат еще не находился бы в прямом противоречии с ОТО — его можно попытаться объяснить трудностью образования черных дыр в условиях конкуренции ряда возможных процессов (взрыва сжимающейся массы с образованием обычных или нейтронных звезд и т.п.).

В заключение — о самом важном событии в физике черных дыр, происшедшем за последние два десятилетия. Более того, речь идет об открытии (пока, правда, лишь в области теории), имеющем большое общезначимое значение, а возможно, существенное и в космологии. Само свое название черные дыры получили, как известно, в связи с возможностью сказать: «что в черную дыру попало, то пропало» и с утверждением об отсутствии какого-либо излучения из черной дыры. И вот в 1974 г. было выяснено [75, 72], что такое заключение неверно (правда, лишь при учете квантовых эффектов). По последней причине — спешу это подчеркнуть — упоминавшиеся выше черные дыры с массой порядка солнечной массы или еще большей практически ничего не излучают и никаких корректив в классическую физику черных дыр вносить не нужно. Но в принципе могут существовать черные дыры с весьма маленькой массой, и, более того, такие «дыры» (их называют обычно «реликтовыми черными дырами» с малой массой или просто «черными минидырами») могли бы образовываться на ранних (плотных) стадиях эволюции Вселенной.

Излучение «минидыр» вполне значительно и определяет их поведение. Конкретно, невращающаяся черная дыра с массой M излучает как абсолютно черное тело с температурой

$$T(K) = \frac{\kappa\hbar}{2\pi ck} = \frac{c^3\hbar}{8\pi GMk} = \frac{GM\hbar}{2\pi cr_g^3k} \approx 10^{-7} \frac{M_\odot}{M} = 10^{-7} \frac{2 \cdot 10^{33}}{M(r)}. \quad (18)$$

Здесь $\kappa = c^2(4GM) = GM/r_g^2$ — «поверхностная гравитация» (ускорение тела при свободном падении в гравитационном поле на поверхности черной дыры; точнее см. [72]) и $l = 1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/К — постоянная Больцмана. Характерная частота фотонов, излучаемых телом с температурой T , $\omega \sim kT/\hbar$, и, следовательно, в условиях (18) $\omega \sim GM/(cr_g^3)$, и характерное время $\tau \sim 1/\omega \sim cr_g^2/(GM)$ имеет смысл времени, за которое частица приобретает скорость порядка c в поле тяжести с напряженностью GM/r_g^2 .

По своей природе излучение фотонов (а при достаточно высокой температуре и частиц с отличной от нуля массой покоя) черной дырой носит такой же характер, как и рождение частиц в сильных электромагнитных полях. В данном случае фотоны и другие частицы порождаются крайне сильным полем тяжести, существующим вблизи гравитационного радиуса (например, для черной дыры с массой $M = M_\odot$ ускорение $GM/r_g^2 \sim 10^{15} \sim 10^{12}g$, где $g = 981$ см/с² — ускорение свободного падения на поверхности Земли).

Как очевидно из (18), черная дыра с массой Солнца $M_\odot = 2 \cdot 10^{33}$ г должна излучать как черное тело с температурой 10^{-7} К. Поскольку Вселенная в нашу эпоху заполнена

реликтовым тепловым излучением с температурой $T \sim 3$ К, собственным излучением макроскопических черных дыр можно полностью пренебречь¹, а заметить его невозможно.

Ситуация изменяется для «минидыр». Так, «дыра» с массой $M = 2 \cdot 10^{15}$ г излучает уже как черное тело с температурой $T \sim 10^{11}$ К. Мощность теплового излучения черной дыры

$$dE/dt = 10^{46} f(M)/M^2 \text{ (эрг/с)}, \quad (19)$$

где M — масса «дыры» в граммах и $f(M)$ — фактор, учитывающий излучение частиц с отличной от нуля массой покоя (при $M > 10^{17}$ г фактор $f(M) \approx 1$, при $M \sim 10^{14}$ г уже $f(M) \sim 10$). Следовательно, «дыра» с массой $M = 10^{14}$ излучает примерно 10^{19} эрг/с. В силу столь мощного излучения «минидыры» должны жить сравнительно недолго — характерное время их жизни (при $f(M) \sim 10$) равно

$$\tau \sim 10^{-27} (M(\text{г}))^3 (\text{с}) \sim 10^{10} (M(\text{г})/10^{15})^3 (\text{лет}). \quad (20)$$

Отсюда ясно, что лишь «минидыры» с массой $M \sim 10^{15}$ г могли бы сохраниться до наших дней, если бы они были созданы на ранних стадиях космологической эволюции, когда плотность вещества была гигантской.

Поскольку других путей образования «минидыр» не видно, в нашу эпоху можно ожидать какого-то проявления процесса «испарения» как раз «минидыр» с массой $M \sim 10^{14} \div 10^{15}$ г («минидыра» с массой такого порядка величины, дожившая до наших дней, затем сравнительно быстро сгорает; уже при $M \sim 10^{13}$ г время жизни «дыры» составляет только 10^3 — 10^4 лет). «Дыра» с $M \sim 10^9$ г живет лишь доли секунды, причем за это время выделяется энергия $Mc^2 \sim 10^{30}$ эрг. Такой взрыв должен сопровождаться излучением в различных диапазонах, и его могли бы заметить даже на значительном расстоянии от Земли. Анализ соответствующих возможностей посвящено уже довольно большое число статей, но никаких указаний на существование «минидыр» еще не получено.

Несомненно, поиск взрывов «минидыр» вполне целесообразен, но нужно иметь в виду, что само их образование в заметном количестве находится под вопросом. Даже если ОТО применима лишь при плотностях $\rho < \rho_g \sim 10^{94}$ г/см³ (см. (15)), «минидыры» вполне могли бы не образовываться при тех или иных (еще неизвестных) условиях, царящих на подобных стадиях космологической эволюции. Но «минидыры», по-видимому, должны отсутствовать и в том случае, если существует фундаментальная длина $l_f \gg l_g \sim 10^{-33}$ см. В самом деле, гравитационный радиус «дыры» с массой $M \sim 10^{15}$ г составляет всего $r_g \sim 10^{-13}$ см, а плотность $\rho \sim 3M/(4\pi r_g^3)$ при этом — порядка 10^{23} г/см³. Уже здесь макрофизика сталкивается с микрофизикой.

Далее, вряд ли имеет смысл вводить гравитационный радиус r_g , меньший l_f , и, следовательно, для минимальной массы черной дыры имеем

$$M_j \sim \frac{r_g c^2}{G} \sim \frac{l_f c^2}{G} \sim \frac{l_g c^2}{G} \frac{l_f}{l_g} \sim 10^{-5} \frac{l_f}{l_g} (\text{г}).$$

Если $l_f \sim l_g$, то $M_f = M_g \sim 10^5$ г, и меньшие «дыры», возможно, существовать не могут, т.е. возникает стабильная частица. Но при $l_f \sim 10^{-17}$ см уже $M_f \sim 10^{11}$ г. Более того, как уже упоминалось в § 21, длине l_f отвечает, видимо, предельная плотность

$$\rho_j \sim \frac{\hbar}{cl_f^4} \sim 10^{30} \left(\frac{10^{-17}}{l_f(\text{см})} \right)^4 (\text{г/см}^3).$$

¹Мы не касаемся здесь очень далекого будущего для открытых космологических моделей [76]. Вопрос о будущем Вселенной, кстати сказать, начал обсуждаться совсем недавно, хотя и представляется исключительно интересным.

Если при образовании черной «минидыры» ее плотность не может превосходить значения ρ_f , то минимальная масса «дыры» $M_{min} \sim \rho_f r_g^3$, где $r_g = 2GM_{min}/c^2$. Отсюда

$$M_{min} \sim \frac{c^3}{\sqrt{G^3 \rho_f}} \sim 10^{27} \left(\frac{l_f(\text{см})}{10^{-17}} \right)^2 (\text{г}).$$

При $l_f \sim l_g$, очевидно, $M_{min} \sim M_g \sim 10^{-5}$ г. Но уже, скажем, при $l_f \sim 10^{-20}$ см масса $M_{min} \sim 10^{21}$ г и $r_{g\ min} = 2GM_{min}/c^2 \sim 10^{-7}$ см. Подобные соображения [77] не являются, конечно, каким-либо доказательством. Но они свидетельствуют о том, что при $l_f \gg l_g$ «минидыры» с $M < 10^{15}$ г вполне могли бы вообще не образовываться. Поэтому обнаружение «минидыр» с $M \lesssim 10^{15}$ г, во-первых, было бы известным подтверждением ОТО. Во-вторых, оно указывало бы на характер развития Вселенной в фазе ее высокой плотности. И в-третьих, получалось бы некоторое ограничение на значение фундаментальной длины l_f . К сожалению, как и во многих аналогичных случаях, отсутствие «минидыр» значительно менее информативно, поскольку может быть следствием ряда причин, ясных из сказанного. Решить же, в чем именно дело (скажем, в том, что длина $l_f \gg l_g$), на основании отсутствия «минидыр» еще никак нельзя.

Анализ проблемы «минидыр» и их испарения тесно переплетается с исследованием сингулярностей, границ применимости ОТО, вопросом о рождении частиц в гравитационном поле. Другими словами, как уже отмечалось, этот аспект физики черных дыр сильно повышает и без того большой интерес к черным дырам. Сегодня черные дыры, подобно кваркам, уже заняли в физике и астрономии совершенно исключительное место.

§ 23. Квазары и ядра галактик. Образование галактик. Проблема скрытой массы (темной материи). Нужна ли «новая физика» в астрономии?

Квазары были открыты, если иметь в виду измерение красного смещения в их спектре (в спектре квазара 3C273), в 1963 г. Произошло это на четыре года раньше, чем были обнаружены пульсары. Но, если природа пульсаров оказалась вскоре выясненной (см. выше § 22), то о квазарах этого не скажешь. Правда, высказывавшиеся на первых порах (впрочем, это длилось немало лет) гипотезы о некосмологических расстояниях до квазаров¹ и их какой-то совсем необычайной природе сейчас уже не встречаются (или почти не встречаются) на страницах научной литературы. Квазаров (QSR) известно уже много сотен, и они считаются подклассом значительно более многочисленного семейства квазизвездных объектов (QSO) и активных ядер, наблюдающихся в ряде галактик (сейфертовских галактик и некоторых других).

Складывается впечатление, что при пренебрежении количественными различиями мы имеем дело с одним и тем же явлением — образованием в центре галактики (т.е. совокупности большого количества звезд и газа) сравнительно небольшого по размерам, но гигантского по массе ядра. Соответствующий размер ядра $R \lesssim 10^{16} \div 10^{17}$ см (напомним, что расстояние от Солнца до центра Галактики составляет около 10 кпк, что равно приблизительно $3 \cdot 10^{22}$ см). Его масса достигает $10^8 \div 10^9 M_\odot \sim 10^{41} - 10^{42}$ г (масса Галактики $M_G \sim 10^{12} M_\odot$).

Образование такого ядра в центре галактики, если она достаточно медленно вращается, представляется естественным — газ и звезды «стекают» в глубокую потенциальную яму. Гравитационное сжатие большой массы сопровождается, естественно, выделением большого количества гравитационной энергии — энергии порядка GM^2/R . Так, при

¹Космологическим расстоянием до внегалактического объекта (галактики, квазара) называют расстояние, вычисляемое из данных о красном смещении спектральных линий в спектре этого объекта, в предположении, что смещение обусловлено участием в расширении Метагалактики.

$R \sim 10^{16}$ см и $M \sim 10^9 M_{\odot} \sim 10^{42}$ г энергия $GM^2/R \sim 10^{61}$ эрг $\sim 10^{-2} Mc^2$. Светимость известных квазаров достигает 10^{48} эрг/с (это самая большая светимость, наблюдающаяся в природе; светимость всей нашей Галактики порядка 10^{44} эрг/с). Очевидно, энерговыделения $W \sim 10^{61}$ эрг хватит для поддержания даже столь гигантской светимости в течение $3 \cdot 10^5$ лет.

Помимо радио- и в основном инфракрасного и видимого излучения, по крайней мере, некоторые квазары являются источниками мощного рентгеновского излучения. Так, из 111 квазаров, обследованных космической рентгеновской обсерваторией «Эйнштейн» (спутник НЕАО-В \equiv НЕАО-2, запущенный 13 ноября 1978 г.), 35 квазаров оказались также излучающими в рентгеновской области (энергия фотонов в интервале $0,5 < E_x < 4,5$ кэВ) со светимостью $L_x \sim 10^{43} \div 10^{47}$ эрг/с. При этом у квазара 3C273 светимость $L_x \sim 10^{46}$ эрг/с. Для этого квазара известна и гамма-светимость L_{γ} ($50 < E_{\gamma} < 500$ МэВ) $\sim 3 \cdot 10^{46}$ эрг/с. Несомненно, такие огромные светимости в жесткой части спектра весьма многозначительны (см. § 24).

Но что же представляет собой излучающее ядро радиусом $R \sim 10^{16} \div 10^{17}$ см? Сама излучающая область, по-видимому, не находится в каких-то экстраординарных условиях. Здесь много релятивистских частиц (в частности, электронов), высока плотность излучения, имеется значительное для разреженных областей в космосе магнитное поле $H \sim 1 \div 100$ Э. Синхротронное излучение и обратное комптоновское рассеяние (рассеяние мягких фотонов на релятивистских электронах), а в какой-то мере и тепловое (т.е. тормозное) излучение горячей плазмы могут объяснить наблюдаемую картину. Более того, она — эта картина — мало зависит от того, что делается внутри излучающего ядра — в его центре (сердцевине), где находится «машина», приводящая квазар или ядро в действие. Поэтому об излучающем ядре иногда говорят как о «черном ящике». Но что же находится в «черном ящике», какова природа ядер квазаров и активных галактических ядер?

На этот вопрос еще нет вполне определенного ответа, и неизвестно, когда он будет получен. Наиболее вероятны две модели ядра: массивная черная дыра и магнитоид или спинар — магнитоплазменная вращающаяся масса (сверхзвезда) без черной дыры в своем центре. Обсуждается также модель плотного скопления звезд, но по ряду причин она менее правдоподобна, чем две предыдущие [78]. Характерно, что я ссылаюсь здесь на статью, опубликованную в 1977 г. С тех пор в астрофизике появилось так много новых данных и расчетов, что написанное около 15 лет назад должно было бы устареть. Но в данном случае это в общем не так.

Если считать, что черные дыры могут существовать, т.е. если опираться на ОТО (а это действительно наиболее разумно, как мы уже не раз подчеркивали), то модель массивной черной дыры в качестве ядра квазаров и активных галактических ядер кажется естественной и привлекательной. Действительно, большие массы оставаться в равновесии не способны, а черная дыра — это то состояние, в которое они могут перейти [78, 79]. Но, с другой стороны, если так рассуждать, то можно было бы ожидать присутствия массивных черных дыр в центре нашей Галактики и многих других галактик. Это, однако, противоречит ряду наблюдений и теоретических соображений, свидетельствующих в пользу того, что масса черной дыры в центре Галактики, если такой объект там присутствует, сравнительно невелика — меньше, скажем, $10^4 M_{\odot}$. Впрочем, споры на эту тему продолжаются, и все же возможно, что в центре Галактики имеется в настоящее время неактивная черная дыра с большой массой. Выяснение этого вопроса — одна из актуальнейших задач астрономии.

Как можно было бы объяснить отсутствие в центре ряда галактик черной дыры?

Коллапсу «до конца» — до образования массивной черной дыры — препятствует необходимость отдать во вне момент импульса. Точнее, это обстоятельство замедляет коллапс. Затем в качестве противоборствующих факторов в строй могут вступить фрагментация

большой массы на меньшие, образование тесных двойных звезд и ядерные процессы. В результате мыслима, по-видимому, ситуация, при которой плотная газовая масса или скопление разлетаются или, во всяком случае, очень долгое время не коллапсируют с образованием массивной черной дыры. Достаточно, чтобы подобная задержка в образовании массивной черной дыры составляла несколько миллиардов лет, чтобы их появление в галактиках и квазарах было редкостью или даже практически вообще не наблюдалось.

Сказанное отнюдь не является решительным возражением против возможности связать активность в квазарах и галактических ядрах с массивными черными дырами. Речь идет лишь о том, что нельзя без дальнейших доказательств принимать такую гипотезу как нечто почти обязательное (а именно такова тенденция, ясная из литературы). Проблема состоит в том, чтобы выяснить природу кернов квазаров и активных галактических ядер путем наблюдений. Определенные, хотя и не блестящие возможности здесь имеются, в частности, на пути изучения вариаций интенсивности излучения. Нужно упомянуть и перспективы, открывающиеся для достижения той же цели на пути развития астрономии нейтрино с высокими энергиями (см. § 25 и [80]).

Вопрос о природе квазаров и галактических ядер, безусловно, должен быть отнесен к числу «ключевых» проблем внегалактической и в какой-то мере, имея в виду центр Галактики, и галактической астрономии. Но то же можно сказать еще по крайней мере о двух проблемах — о природе «скрытой массы» (missing mass) во Вселенной (в последнее время чаще говорят не о скрытой массе, а о темной материи — dark matter) и об образовании галактик (включая квазары) и крупномасштабной структуры Вселенной.

Галактики и скопления галактик — сравнительно молодые образования в том смысле, что они появились только на довольно поздних этапах эволюции расширяющейся Вселенной — примерно через 10^8 – 10^9 лет после той сверхгорячей и сверхплотной фазы, которая существовала вблизи классической сингулярности (условного начала расширения наблюдаемой части Вселенной; см. § 21). Всего же с тех пор прошло $T_0 \sim (10 \div 15) \cdot 10^9$ лет.

Более точное значение T_0 зависит от средней плотности вещества во Вселенной ρ и постоянной Хаббла H_0 , которые еще остаются несколько неопределенными — в литературе приводятся значения $H_0 = 50 \div 100$ км/(с · Мпк) (в нашу эпоху, что отмечено индексом 0) и $\rho = (0,03 \div 1)\rho_c$. Вполне возможно, что $\rho = \rho_c$ (именно такой результат получается в модели «раздувающейся» Вселенной; см. § 21). Этот случай особенно прост как физически (пространственная кривизна равна нулю — пространство евклидово), так и формально (многие формулы короче и яснее). Так, возраст Вселенной (время от сингулярности до наших дней) T_0 и ее современная плотность ρ_0 равны (при $\rho = \rho_c$)

$$T_0 = \frac{2}{3H_0} \sim 3 \cdot 10^{17} \text{ с} \sim 10^{10} \text{ лет},$$

$$\rho_0 = \rho_{c,0} = \frac{1}{6\pi G T_0^2} = \frac{8 \cdot 10^5}{T_0^2} \sim 10^{-29} \text{ г/см}^3,$$

где при переходе к числам полагается, что постоянная Хаббла $H_0 = 75$ км/(с · Мпк) $= 2,4 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$.

Время в прошлом удобно характеризовать параметром красного смещения $z = (\lambda - \lambda_0)/\lambda_0$ (здесь λ — наблюдаемая на Земле длина волны излучения, λ_0 — длина волны этого же излучения в источнике; разумеется, вблизи Земли, а практически и в пределах Галактики $z = 0$). Для Вселенной с $\rho = \rho_c$ (в эпоху, когда давлением можно пренебречь) время, отсчитываемое от сингулярности, равно

$$t = \frac{2}{3H_0(1+z)^{\frac{3}{2}}} \approx \frac{3 \cdot 10^{17}}{(1+z)^{\frac{3}{2}}} (\text{с}) \quad (21)$$

и, естественно, при $z = 0$ время $t = T_0$.

Температура реликтового (теплового) излучения, заполняющего Метагалактику, изменяется по закону $T(K) = 3(1 + z)$ (здесь, чтобы не путать температуру со временем, первая обозначена через $T(K)$, тем более что она измеряется в Кельвинах; температура реликтового излучения в настоящее время принята равной 3 К, хотя сейчас в литературе больше склоняются к значению 2,7–2,8 К). Реликтовое излучение «оторвалось» от вещества при температуре порядка 3000 К, чему отвечает значение $z_{\text{отр}} \sim 10^3$, и по формуле (21) время $t_{\text{отр}} \sim 10^{13}$ с $\sim 3 \cdot 10^5$ лет. Для самых далеких обнаруженных квазаров (вместе с тем это вообще самые далекие обнаруженные дискретные светящиеся объекты) $3,5 < z \sim 4$. Следовательно, квазары и галактики заведомо образовались при $z \gtrsim 5$, чему отвечает время $t \lesssim 2 \cdot 10^{16}$ с $\sim 7 \cdot 10^8$ лет (см. (21)); при $z = 10$ уже $t \sim 10^{16}$ с $\sim 3 \cdot 10^8$ лет. Отсюда и получаются приведенные выше оценки возраста Вселенной и галактик. Автора часто раздражало, когда, встречаясь с подобными цифрами, нужно было искать в книгах, как пересчитывать z на время или какова связь величин T_0 и H_0 . Поэтому и показалось уместным сделать небольшое отступление, касающееся этой «технической» стороны дела (подробнее см. литературу, указанную в [I]).

Как следует из сказанного, возраст галактик того же порядка, что и возраст Вселенной, т.е. порядка времени расширения T_0 . Однако галактики были названы выше молодыми образованиями, поскольку возникли в условиях, близких к современным (например, при $z \approx 10$ температура реликтового излучения составляла $T \approx 30$ К). В то же время поведение Вселенной существенно отличается от современного лишь при $z > z_{\text{отр}} \sim 10^3$. Ядерные же реакции и синтез ядер в горячей Вселенной интенсивно шли лишь при $t \lesssim 100$ с ≈ 3 мин — отсюда и название книги [81]; при $t \approx 3$ мин температура $t \sim 10^9$ К $\sim 10^5$ эВ (в этой области давлением вещества и излучения пренебрегать уже нельзя и формула (21) непригодна).

Итак, галактики появились сравнительно поздно, почти что в нашу эпоху. Но те неоднородности и флуктуации плотности вещества, рост которых в конечном счете приводит к образованию таких «сильных неоднородностей», как скопления галактик (а возможно и газовые облака и звезды), появились раньше. Проблема образования галактик состоит в выяснении характера и механизма роста исходных неоднородностей, а затем их эволюции. При этом в последнее время особенное внимание уделяется образованию крупномасштабных неоднородностей — скоплений и сверхскоплений галактик (имеющих массу $M \sim 10^{15} M_{\odot}$ и характерный размер $R \sim 100$ Мпк; характерная масса галактик $M \sim 10^{12} M_{\odot}$ и $R \sim 20 \div 100$ кпк). Это большая тема, и автору придется ограничиться указанием некоторой литературы (см. [I, 82]).

Впрочем, мы еще не вполне оставляем проблему образования галактик и их скоплений, поскольку переходим к другой, тесно с ней связанной и в известном отношении даже более таинственной и принципиальной проблеме — к вопросу о «скрытой массе» (или, по другой терминологии, «темной материи»). Уже около полустолетия назад астрономы начали подозревать, что распределение масс в галактиках отличается от того, которое следует из данных об оптической светимости, и, конкретнее, «сильно конденсированная светящаяся система представляется заключенной в большой и более или менее однородной массе со значительной плотностью» [83].

Невидимая масса, которая здесь фактически упоминается, и получила название «скрытая масса». Указание на ее существование было получено в результате изучения не только галактик, но и скоплений галактик (более того, некоторое время вопрос о скрытой массе обсуждался именно на примере скоплений). Такие скопления должны быть устойчивы только в том случае, если их полная энергия, равная сумме кинетической и потенциальной энергий гравитационного взаимодействия, отрицательна (энергия гравитационного взаимодействия отрицательна, поскольку принимается, что она стремится к нулю при достаточном удалении масс друг от друга). Между тем наблюдаются явно устойчивые,

стабильные скопления, а их полная энергия, если учитывать только известные массы (т.е. в основном массы звезд, входящих в галактики), оказывается положительной.

Положение изменилось бы, если удалось бы найти в скоплениях какие-то еще не обнаруженные массы, вносящие достаточно большой вклад в гравитационное взаимодействие и тем самым стабилизирующие скопления. Речь, таким образом, опять идет о скрытой массе.

Как мне кажется, в настоящее время проще всего выявить роль скрытой массы можно на основании данных о вращении спиральных галактик и, в частности, нашей Галактики [83]. Предположим, что массы (звезды) вращаются вокруг центра галактики по круговым орбитам (часто в хорошем приближении это справедливо). Тогда скорость v массы m , находящейся на расстоянии r от центра, по закону ньютоновской динамики определяется из равенства гравитационной и центробежной сил

$$mv^2/r = GM(r)m/r^2,$$

где G — гравитационная постоянная (неоднократно уже фигурировавшая выше) и $M(r)$ — масса в галактике, заключенная внутри радиуса r (распределение масс здесь для простоты считается сферически-симметричным). Если, например, масса M сосредоточена на расстояниях $r < r_0$, то при $r > r_0$

$$v^2(r) = GM(r_0)/r. \quad (22)$$

Отсюда следует один из законов Кеплера: $\tau^2 = 4\pi^2 r^3/(GM)$ (период обращения τ планеты или звезды вокруг центральной массы M равен $2\pi r/v$). В применении к галактикам закон (22) означает, что в отсутствие невидимой (скрытой) массы скорость вращения звезд за пределами светящейся части галактики должна уменьшаться примерно как $1/\sqrt{r}$. Фактически же «кривые вращения» (rotation curves) — зависимость скорости вращения v от радиуса r — свидетельствуют о явном нарушении такого закона. Конкретно, даже на весьма значительных расстояниях скорость v иногда не только не уменьшается с расстоянием, но даже несколько увеличивается (разумеется, на достаточно больших расстояниях скорость начнет падать, но эта область, насколько мне известно, еще не прослеживается). Зная из наблюдений зависимость $v(r)$, можно, очевидно, в предположении о справедливости обычных классических законов движения найти и массу $M(r)$. Из такого анализа ряда примеров следует, что невидимой («темной») является примерно 90% всей массы (!).

Как объяснить такие результаты? Естественнo предполагать, что в галактиках и их скоплениях действительно имеется некоторая невидимая масса, и тогда основным становится вопрос о природе этой массы. Это не газ, ибо нейтральный водород фиксируется радиоастрономическим методом, а горячий ионизированный газ — по его рентгеновскому излучению. Соответствующие данные не позволяют предположить, что имеется нужное из динамических соображений количество газа. Остаются очень слабо светящиеся звезды, планеты (например, типа Юпитера), нейтронные звезды, черные дыры и какие-то очень слабо взаимодействующие частицы с неравной нулю массой покоя. Как мы знаем, нейтронные звезды все же обычно «обнаруживают себя» по радиоизлучению, а при наличии аккреции и по излучению в других диапазонах. Черные дыры тоже, в силу той же аккреции, нельзя считать совсем невидимыми. Но, вероятно, можно подобрать (придумать) такие условия, при которых допустимо связать скрытую массу с некоторыми звездами (включая сюда и черные дыры) и планетами. Пути анализа такой возможности в принципе ясны, хотя практически продвинуться здесь вперед очень трудно.

В настоящее время (и уже ряд лет) обсуждается также гипотеза, связывающая темную (т.е. «скрытую») массу со слабо взаимодействующими частицами — в первую очередь с известными нейтрино различных сортов (ν_e , ν_μ и ν_τ), а также различными гипотетическими частицами. Среди последних фигурируют WIMPы (Weakly Interacting Massive

Particles — слабовзаимодействующие частицы с массами в несколько гигаэлектронвольт; к числу WIMПов относятся различные тяжелые нейтрино, «суперсимметричные» частицы — фотино и т.д.; о WIMПах и их роли в астрофизике см., например, статью [103] и указанную там литературу). Другие упоминаемые «кандидаты» — аксионы (гипотетические псевдоскалярные частицы). На другом полюсе, можно сказать, находятся такие «кандидаты» на роль темной материи, как, по сути дела, макроскопические, «космические струны». Последние представляют собой микроскопически тонкие (речь идет обычно о толщине порядка 10^{-29} см) протяженные нити с гигантской полной массой (см. [43, 44]). Все это — целый мир образов и представлений, касаться которых здесь нет возможности. Из всех упомянутых сейчас частиц и объектов явно выделяются нейтрино, существование которых установлено. Согласно [84], наибольшее внимание должны в этом плане привлекать тау-нейтрино (ν_τ) с массой $m(\nu_\tau) \approx 15 \div 65$ эВ. Но это тоже еще чистой гипотеза, ибо масса ν_τ неизвестна. В [84] предлагаются пути определения $m(\nu_\tau)$. В литературе широко обсуждаются возможные методы детектирования различных гипотетических составляющих темной материи. Без преувеличения можно сказать, что вопрос о природе космологической темной (скрытой) материи — великая проблема современной астрономии.

В этой связи не представляется излишним подойти к проблеме скрытой массы и с несколько иной стороны. Как мы видели, само существование скрытой массы устанавливается в результате не только наблюдений, но и использования законов движения классической механики (см., например, (22)). А почему, собственно, эти законы должны быть применимы к галактикам и их скоплениям? Не могут ли в таких условиях иметь место такие отступления от законов классической механики, которые объясняют, например, наблюдаемые кривые вращения в спиральных галактиках без всякого введения скрытых масс? Соответствующие попытки уже делались; последняя из них (известная автору) была предпринята в 1983 г. [85]. Она сводится к замене обычного уравнения движения (так называемого второго закона Ньютона) $m\mathbf{a} = \mathbf{F}$, где m — масса частицы (звезды и т.д.), \mathbf{a} — ускорение и \mathbf{F} — сила, на такое: $m\mu(a/a_0)\mathbf{a} = \mathbf{F}$, где некоторая функция $\mu(a/a_0) \rightarrow 1$ при $a \gg a_0$ и $\mu(a/a_0) \approx a/a_0$ при $a \ll a_0$. При этом $a_0 \approx 2 \cdot 10^{-8}$ см/с² $\sim cH_0$ (здесь $H_0 \sim 3 \cdot 10^{-18}$ с⁻¹ — постоянная Хаббла в нашу эпоху). Ускорения, сопоставимые с a_0 , как раз и встречаются в галактиках и их скоплениях (например, скорость движения Солнечной системы при ее вращении в Галактике и $v \approx 250$ км/с и соответствующее ускорение $a = v^2/r \sim 10^{-8}$ см/с², $r \approx 3 \cdot 10^{22}$ см). Если закон движения имеет вид $ma^2/a_0 = F$, то вместо выражения (22) получаем $v^4 = GM(r_0)a_0$, и скорость не будет уменьшаться с расстоянием, что в общем и наблюдается.

В земных экспериментах или при анализе движений в Солнечной системе встречаются ускорения $a > a_0$ (например, ускорение Земли при ее вращении вокруг Солнца $a \approx 1$ см/с²).

Именно поэтому очень трудно проверить гипотезу, выдвинутую в [85], — для этого нужно не только измерять ускорения $a \lesssim 10^{-8}$ см/с² (что при современной точности измерения смещений, вероятно, вполне возможно), но сделать это в некоторой «абсолютной» системе отсчета (ее роль должна играть, видимо, система, в которой покоится или, во всяком случае, не ускоряется реликтовое тепловое излучение как целое). Трудно поэтому сказать, когда удастся непосредственно проверить предположение об изменении законов движения при малых ускорениях. Но должен отметить, что очень надеюсь на опровержение этого предположения, поскольку оно радикально, а каких-либо оснований под собой не имеет (помимо желания избавиться от скрытой массы). Между тем, как нас учит весь опыт развития науки, на изменения фундаментальных законов физики нельзя идти без глубоких оснований. Несколько утрируя, можно сказать, что это следует делать лишь в крайнем случае. Подробнее эта тема обсуждается в помещенной в настоящей книге статье «Нужна ли „новая физика” в астрономии?». Тем не менее и здесь сделаем несколько

замечаний на этот счет (при этом известное перекрытие с указанной статьей оказывается неизбежным).

Вопрос ставился так: можно ли ожидать в астрономии несправедливости уже известных физических законов? Не нужна ли, таким образом, в астрономии «новая физика»? И, в частности, можно ли ожидать отступлений от классических решений ОТО где-либо или когда-либо в космосе, помимо ранних (в смысле близости к классической сингулярности) фаз эволюции Вселенной?

В каком-то смысле это, видимо, извечный и довольно многих астрономов волнующий вопрос: сводится ли астрономия к «земной» физике, к физике, действующей в наших лабораториях? Аналогичный вопрос многие годы обсуждается в применении к биологии: сводится ли все биологическое к физике, к молекулярным представлениям, или нет¹? Дать на подобные вопросы априорный ответ, конечно, нельзя. Подход, который представляется самым естественным (он и фактически наиболее распространен), можно сформулировать так: давайте применять известную физику без ограничений; если же на этом пути встретятся действительно непреодолимые трудности, то мы будем готовы проанализировать новые представления, пойти на какую-то ломку или обобщение физических теорий. Вероятно, с такой формулировкой согласятся почти все, но это еще не означает единства взглядов, ибо все дело в том, когда же считать трудности непреодолимыми!

Физики, занимающиеся астрономией, в этом отношении обычно значительно более консервативны (как я убежден, в «хорошем» смысле этого слова, а именно в смысле «здорового консерватизма» или фундаментальности взглядов), чем «чистые» астрономы. Складывается впечатление, что у некоторых астрономов имеется буквально какая-то внутренняя потребность освободиться от физических пут, выйти на простор, никакими известными физическими законами не ограниченных исканий. Приведем, например, такое замечание Джинса [86]: «Каждая неудача при попытках понять происхождение спиральных ветвей делает все более и более трудным противостоять подозрению, что в спиральных туманностях действуют совершенно неизвестные нам силы, быть может, отражающие новые и неожиданные метрические свойства пространства. Предположение, которое настоятельно возникает, состоит в том, что центры туманностей имеют характер «сингулярных точек». В этих точках материя втекает в наш мир из какого-то иного и совершенно постороннего пространства. Тем самым обитателю нашего мира сингулярные точки представляются местами, где непрерывно рождается материя».

На эти взгляды Джинса сейчас иногда ссылаются чуть ли не как на пророчество. Но ведь опубликованы они были в 1928 г., когда о строении галактик было не так уж много известно, а теория их эволюции практически совсем еще не была развита (к тому же сейчас вопрос о происхождении спиральных ветвей считается в значительной мере выясненным).

В настоящее время мы знаем о галактиках несравненно больше; в частности, установлен факт существования у них некоторого ядра, играющего важную роль и иногда активного. Но следуют ли отсюда также гораздо более радикальные предположения Джинса [86] и Амбарцумяна [87] о роли ядер как источников вещества или о том, что эти ядра «представляют собой новую форму существования материи, возможно, вовсе не известную современной физике»?

По мнению большинства астрофизиков, это не так, и далеко еще не исключена (и, напротив, вполне правдоподобна) возможность объяснить все наблюдаемые в галактиках и их ядрах, а также в квазарах явления, не прибегая к существенно новым физическим представлениям. Так, в согласии со сказанным в начале настоящего параграфа галактические

¹Эволюция взглядов в этом вопросе заключается, в общем, во все большем, а часто и неограниченном расширении «радиуса действия» физики в биологии. Поучительно изменение взглядов Бора на этот счет (см. помещенную в настоящей книге на с. 323 статью и указанную там литературу).

ядра и квазары вполне могут представлять собой или содержать в своей центральной части сверхмассивные плазменные тела ($M \lesssim 10^9 M_\odot$, $R \lesssim 10^{17}$ см) с быстрыми внутренними движениями вращательного типа и магнитными полями. Другая возможность, считающаяся более вероятной и также не выходящая за пределы ОТО, состоит в том, что в центре галактических ядер и квазаров находятся массивные черные дыры.

В случае скрытых (темных) масс положение аналогично. Естественно считать, что известные законы физики не нарушаются и во Вселенной действительно имеются большие несветящиеся массы, например нейтринные короны, окружающие галактики и т.п. Поэтому-то огромное большинство физиков и астрономов не склонны вводить новые представления типа изменения закона движения. Кстати, другим примером радикально новых гипотез, фигурировавших в литературе, является предположение о физической нестабильности скоплений, в которых все время рождается новое вещество (разумеется, неизвестно каким образом), а отдельные галактики покидают скопления. Никаких подтверждений такая точка зрения, насколько нам известно, не получила.

Вместе с тем сделанные выше ссылки на «большинство» невольно заставляет вспомнить Галилея, подчеркивавшего, что в вопросах науки мнение одного бывает дороже мнения тысячи. Поэтому здесь совсем не предлагается использовать пресловутое «большинство» в качестве аргумента в пользу неограниченного применения известных нам физических законов; речь идет только о констатации сложившейся ситуации. Последняя (надеюсь, она правильно отражена) сводится к тому, что даже «астрономическое общественное мнение», не говоря уже о «физическом общественном мнении», еще ни в какой мере не согласилось с убедительностью доводов в пользу необходимости вводить существенно новые физические представления для понимания процессов в ядрах галактик, в квазарах, в галактиках и в скоплениях галактик.

Затронутый вопрос о возможности обнаружения новых фундаментальных законов физики на астрономическом материале имеет и некоторые другие аспекты. Здесь помимо сказанного выше подчеркнем лишь следующее. Необходимость введения новых физических представлений сама по себе не вызывает сомнений. Это заведомо необходимо в области микрофизики и в отношении космологической проблемы и вообще при приближении к сингулярностям (речь идет о сингулярностях, появляющихся в решениях классической ОТО — не квантованной теории гравитационного поля). Но никак нельзя утверждать, что новые фундаментальные представления и законы физики обязательно должны быть введены или выявлены в тех областях или для тех объектов, где условия (плотность, температура и т.д.) не находятся за пределами уже известного в физике. С другой стороны, и в подобных условиях, но в применении к таким системам, как ядра галактик, квазары, галактики и скопления галактик, нельзя исключить возможности выявления каких-то принципиальных моментов, связанных, например, с присутствием огромных масс и космических расстояний, с ролью очень маловероятных процессов и т.д. и т.п. Другими словами, центр тяжести проблемы следует перенести на конкретную почву.

Разумеется, такое заключение достаточно тривиально. Оно имеет своей целью, однако, подчеркнуть необоснованность встречающихся иногда взглядов, согласно которым из относительности и неполноты наших знаний вытекает необходимость введения новых представлений и законов даже при отсутствии указаний на неприменимость уже известной физики.

Итак, как мне представляется, наиболее вероятно, что для объяснения процессов в ядрах галактик, в квазарах, в галактиках и в скоплениях галактик никакая «новая физика» не нужна. Но все же именно галактические ядра, квазары и скопления галактик находятся «под подозрением»: как раз для них ищут отклонения от ОТО, от закона сохранения барионного заряда и т.п. Как ни важна теория при анализе всех этих проблем, без новых, более полных и точных наблюдений, конечно, не обойтись. В этом отношении, если

иметь сейчас в виду оптическую астрономию, особенно большие надежды возлагаются на телескопы на спутниках и новые очень большие наземные телескопы.

В свете всего сказанного вряд ли нужно повторять (но тем не менее мы это делаем!), что вопросы о строении и природе квазаров и галактических ядер, о происхождении галактик и их скоплений занимают в астрономии и физике выдающееся по своему значению и важности место.

§ 24. Происхождение космических лучей и космического гамма- и рентгеновского излучения

Уже более шестидесяти лет назад было установлено, что на Землю из космоса приходит сильно проникающее излучение — космические лучи. Природа (состав) этого излучения долгие годы оставалась неясной. Но сейчас известно, что космические лучи — это заряженные частицы: протоны, ядра, электроны, позитроны и антипротоны [88, 89]. Правда, вклад всех частиц совершенно разный. Так, протоны составляют примерно 90% всего потока частиц, ядра ^4He (α -частиц) примерно в 10 раз меньше, все остальные ядра вносят в общий поток вклад примерно 1%; поток электронов также примерно 1% полного потока, поток позитронов еще на порядок величины меньше, а антипротонов на три—четыре порядка величины меньше, чем протонов (вероятно, все антипротоны имеют вторичное происхождение — образуются при соударениях частиц космических лучей с ядрами атомов межзвездного газа). Из космоса к нам приходят также рентгеновские и гамма-лучи и, несомненно, нейтрино. Сейчас принято, однако, называть космическими лучами только заряженные частицы космического происхождения (такое условие тем более оправданно, что в области больших энергий роль заряженных частиц является доминирующей, например, если говорить о потоке или энергосодержании).

Концентрация космических лучей (скажем, с кинетической энергией $E_{\text{кл}} \gtrsim 1$ ГэВ) у Земли и в значительной части Галактики $N_{\text{кл}} \sim 10^{-10} \text{ см}^{-3}$, что ничтожно мало по сравнению с концентрацией частиц газа в галактическом диске ($n \sim 1 \text{ см}^{-3}$) и даже в галактическом гало ($10^{-3} \lesssim n \lesssim 10^{-2} \text{ см}^{-3}$) или в межгалактической среде ($10^{-7} \lesssim n \lesssim 10^{-5} \text{ см}^{-3}$). Однако плотность энергии космических лучей равна

$$w_{\text{кл}} \sim E_{\text{кл}} N_{\text{кл}} \sim 10^{-12} \text{ эрг/см}^3. \quad (23)$$

что уже не меньше плотности внутренней (кинетической) энергии газа

$$w_{\text{г}} = \frac{3}{2} k n T \sim 10^{-14} \div 10^{-12} \text{ эрг/см}^3$$

($n \lesssim 1 \text{ см}^{-3}$, $T \lesssim 10^4 \text{ К}$ в диске и $T \lesssim 10^6 \text{ К}$ в гало). Плотность энергии магнитного поля $w_{\text{н}} = H^2/(8\pi)$ в диске (где $H \lesssim 5 \cdot 10^{-6} \text{ Э}$) также не превосходит $w_{\text{кл}}$. Таким образом, релятивистские частицы — космические лучи — уже в нашей Галактике являются существенным энергетическим и динамическим фактором (речь идет, разумеется, о межзвездной среде). Еще большую роль космические лучи играют в оболочках сверхновых звезд, в радиогалактиках и квазарах. Установление этих факторов, тесно связанное с развитием радиоастрономии, является одним из важнейших достижений астрофизики за последнюю четверть века [88, 89].

Проблема происхождения космических лучей дискутируется десятилетиями, но остается достаточно «важной и интересной», поскольку споры на этот счет продолжаются, а большое значение самого вопроса не вызывает сомнений. Основным для проблемы происхождения космических лучей до недавнего времени представлялся выбор между моделями трех типов — метагалактическими, галактическими с гало и дисковыми галактическими.

В метагалактических моделях предполагается, что основная часть достигающих Земли космических лучей приходит из Метагалактики, т.е. втекает в Галактику извне. В галактических же моделях считается, что космические лучи (быть может, за исключением частиц с энергией $E_{\text{кл}} \gtrsim 10^{17}$ эВ) образуются в самой Галактике, в первую очередь при взрывах сверхновых звезд, а также вблизи пульсаров, находящихся в оболочках сверхновых, а возможно, и при взрывах галактического ядра.

По моему мнению, которого я придерживаюсь с 1953 г., приемлемыми являются только галактические модели. Однако опровергнуть метагалактические модели весьма нелегко, и они обсуждаются до настоящего времени. В этих моделях предполагается, что в какой-то окружающей Галактику области (а быть может, и во всей Метагалактике) $w_{\text{кл}}, M_{\text{Г}} \sim w_{\text{кл}} \sim 10^{-12}$ эрг/см³ ($w_{\text{кл}}$ — плотность энергии космических лучей в Галактике). В галактических же моделях происхождения основной части космических лучей, наблюдаемых у Земли, считается, что плотность энергии этих лучей $w_{\text{кл}}, M_{\text{Г}} \ll 10^{-12}$ эрг/см³ (вероятно, даже $w_{\text{кл}}, M_{\text{Г}} \lesssim 10^{-15}$ эрг/см³). Но, к сожалению, измерить значение $w_{\text{кл}}, M_{\text{Г}}$ до последнего времени не представлялось возможным и приходилось довольствоваться различными оценками и косвенными соображениями. Теперь же не только появилась реальная надежда решить этот вопрос с помощью прямых наблюдений — речь идет о применении гамма-астрономии, но на этом пути получены первые результаты и они свидетельствуют против метагалактических моделей [88—90].

Что касается галактических моделей, то многолетняя дискуссия концентрируется на выборе между дисковыми моделями и моделями с гало. В моделях с гало космические лучи заполняют некоторую квазисферическую или даже более уплощенную, но большую область вокруг галактического диска (характерный размер гало $R \approx 3 \div 10$ кпк $\approx (1 \div 3) \cdot 10^{22}$ см; напомним, что расстояние от Солнца до центра Галактики составляет 10 кпк). В дисковых моделях космические лучи считаются захваченными в области дискообразной формы (радиус $R \approx 10$ кпк, толщина диска $h \approx 0,3 \div 0,5$ кпк).

Различие между моделями обоих типов сильнее всего сказывается на среднем времени жизни космических лучей в Галактике $\tau_{\text{кл}}$ (это время для протонов и легких ядер определяется скоростью их выхода из системы, т.е. из области захвата). В моделях с гало $\tau_{\text{кл}} \sim (1 \div 3) \cdot 10^8$ лет, в типичных дисковых моделях $\tau_{\text{кл}} \sim (1 \div 3) \cdot 10^6$ лет. Только модели с гало (главное здесь, что $\tau_{\text{кл}} \gtrsim 10^8$ лет) представляются непротиворечивыми, но «закрывать» некоторые дисковые модели оказалось нелегким делом, хотя я лично считаю, что в 1977 г. проблема в основном была решена в пользу моделей с гало. В дальнейшем такие модели нашли новое подтверждение. Решающим здесь оказались радиоастрономические наблюдения, в частности обнаружение радио-гало у наблюдаемых «с ребра» галактик NGC 4631 и NGC 891 (см. [88, 89], где приведена обширная литература).

Помимо выбора между моделями проблема происхождения космических лучей имеет, конечно, и ряд других сторон. Упомянем о плазменных эффектах в астрофизике, механизмах ускорения частиц при взрывах сверхновых звезд и вблизи пульсаров, солнечных космических лучах и их распространении в Солнечной системе, проблемах химического состава космических лучей и энергетического спектра различных их компонент (включая электронно-позитронную). Особо нужно выделить область сверхвысоких энергий $E_{\text{кл}} \gtrsim 10^{17}$ эВ. Происхождение космических лучей с такой энергией (наблюдаются частицы с энергией, достигающей 10^{20} эВ) представляется сейчас неясным [88, 89].

Астрофизика космических лучей — порождение послевоенной астрофизики и занимает в ней все более и более важное место. Впрочем, нередко говорят не об астрофизике космических лучей, а об астрофизике высоких энергий, к которой относят также вопросы рентгеновской и гамма-астрономии (сюда следует присоединить и астрономию нейтрино высоких энергий).

Рентгеновская астрономия, если не говорить об изучении Солнца, родилась в 1962 г. в результате случайного и неожиданного открытия (при измерениях на ракете) мощно-

го рентгеновского источника Sco X-1 (Скорпион X-1). Затем был обнаружен целый ряд других космических рентгеновских источников (рентгеновских «звезд»), причем особенно успешными оказались наблюдения с помощью первого же спутника, специально предназначенного для целей рентгеновской астрономии (спутник был запущен в конце 1970 г. и получил название «Ухуру», что на языке суахили — этот американский спутник был запущен из Кении — означает «свобода»). Сейчас известно уже очень много рентгеновских «звезд» — среди них пульсар в Крабовидной туманности, рентгеновские пульсары Cen X-3 и Her X-1 и кандидат в черные дыры Cyg X-1 (см. § 22), другие галактические источники, связанные со звездами, сама Крабовидная туманность и другие оболочки сверхновых звезд, а также различные внегалактические источники (галактики и квазары). Обнаружен также диффузный рентгеновский фон (т.е. излучение, не связанное, по крайней мере при достигнутом угловом разрешении, с дискретными источниками). Наконец, наблюдаются рентгеновские линии, возникающие при переходах в высокоионизированных атомах (примером может служить линия железа с энергией 6,7 кэВ, обнаруженная в спектре излучения от центра Галактики [91]).

Известен целый ряд механизмов рентгеновского излучения: тормозное излучение горячей плазмы, синхротронное излучение релятивистских электронов, рассеяние радио-, инфракрасного и оптического излучения на релятивистских электронах с трансформацией этого излучения в рентгеновское (такой процесс часто называют обратным комптоновским рассеянием). Все эти механизмы, несомненно, вносят свой вклад в наблюдаемый поток, но этот вклад различен в разных случаях (например, для Крабовидной туманности основное значение имеет синхротронное излучение, для целого же ряда других рентгеновских источников — видимо, тормозное излучение). Безусловно, выдающуюся роль при образовании мощного рентгеновского излучения играет аккреция, особенно в двойных системах. Нужно учитывать поглощение рентгеновских лучей в межзвездном газе, можно искать линии характеристического рентгеновского излучения атомов и т.д. и т.п.

В общем рентгеновская астрономия после примерно восьми — десяти лет накопления сил вырвалась на широкий простор. Известной кульминацией явился уже упоминавшийся в § 23 запуск в 1978 г. космической обсерватории «Эйнштейн». Угловое разрешение находящегося на ней рентгеновского телескопа составляло несколько угловых секунд, т.е. приближается к лучшему угловому разрешению наземных оптических телескопов. На обсерватории «Эйнштейн», а частично и на других спутниках уже получено так много результатов и результатов такого качества, что рентгеновскую астрономию можно считать возмужавшей, вышедшей в целом на уровень оптической астрономии и радиоастрономии.

Таким образом, рентгеновская астрономия сегодня — это уже третья после оптической и радиоастрономии важнейшая ветвь астрономии, если говорить о классификации по диапазонам или методам исследования. За короткий срок рентгеновская астрономия принесла первоклассные открытия (см., в частности, ниже об обнаружении рентгеновских всплесков). Трудно поверить, что их поток скоро прекратится. В плане оценки роли и перспектив развития рентгеновской астрономии представляется небезынтересным такой факт. Специальная комиссия Американской Национальной академии наук, целью которой была разработка программы астрономических исследований на 80-е годы, на первое место по важности поставила проект космической рентгеновской обсерватории (AXAF — Advanced X-ray Astrophysical Facility). Фактически, правда, развитие пошло по несколько иному пути, и проект AXAF был отложен, хотя отнюдь не оставлен.

В случае гамма-астрономии положение несколько иное. Хотя вопрос о возможностях гамма-астрономии был поднят по крайней мере еще в 1958 г. [92] и с тех пор неоднократно обсуждался, вполне надежных данных в этой области долгое время не было. Причина, если угодно, техническая. Измеряемый числом фотонов в единицу времени поток гамма-лучей весьма слаб (другое дело, что поток энергии при этом не так уж мал вслед-

ствие относительно большой энергии каждого фотона)¹. Так, в случае фотонов с энергией $E_\gamma > 100$ МэВ нужно измерять плотности потоков, меньшие $10^{-5} \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ (и желательно, составляющие лишь $10^{-7} \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$). Для таких измерений требуются приборы (счетчики, искровые камеры и т.д.) с большой площадью, способные работать («летать») достаточно долго. Поэтому ракеты, сыгравшие выдающуюся роль на первом этапе развития рентгеновской астрономии, для целей гамма-астрономии не подходят. Измерения же на высотных баллонах и на спутниках сопряжены с большими трудностями, которые еще не полностью преодолены. Тем не менее сейчас ряд важных результатов уже получен [88, 90]. Так, обнаружены дискретные источники космических гамма-лучей, не осталось сомнений в наличии заметного гамма-излучения из области галактического диска, установлено существование изотропного фона гамма-излучения явно метagalактического происхождения, открыты гамма-всплески.

Поясню на одном примере, почему некоторые гамма-астрономические наблюдения потенциально исключительно важны и многообещающи.

Так, значительная доля гамма-излучения с энергией $E_\gamma > 50 \div 100$ МэВ должна генерироваться протонно-ядерной компонентой космических лучей в межзвездной и межгалактической средах. Дело в том, что протоны и ядра, входящие в состав космических лучей, при соударениях с протонами и ядрами в газе порождают, в частности, π^0 -мезоны. Последние моментально (среднее время жизни π^0 -мезона равно $0,84 \cdot 10^{-16} \text{ с}$) распадаются на два гамма-фотона с энергией $E_\gamma = m_{\pi^0} c^2 = 67,5$ МэВ каждый (здесь имеются в виду покоящиеся π^0 -мезоны). Гамма-лучи образуются также при распаде Σ^0 -гиперонов (процесс $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + \gamma$) и в результате распада ряда мезонов и гиперонов с образованием π^0 -мезонов ($K^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^0$, $\Lambda \rightarrow n + \pi^0$ и т.д.). Такие гамма-лучи «ядерного» происхождения отличаются своим спектром (они имеют в основном энергию, большую 30–50 МэВ), и поэтому их можно в принципе отделить от гамма-лучей, образующихся в результате других процессов, например при тормозном излучении релятивистских электронов. Поток «ядерных» гамма-лучей пропорционален интенсивности генерирующих их космических лучей, и, таким образом, появляется возможность определить эту интенсивность вдали от Земли — в районе галактического центра, в радиогалактиках и т.д. Между тем, если не говорить о гамма-астрономическом методе, все сведения об основной — протонно-ядерной — компоненте космических лучей вдали от Земли либо получали путем экстраполяции околосолнечных данных о космических лучах, либо оценивали из радиоастрономических измерений с привлечением дополнительных гипотез (пусть часто и вполне правдоподобных)². Значение такого шага — более или менее непосредственного определения интенсивности (и плотности энергии) протонов и ядер в космических лучах вдали от Земли гамма-астрономическим методом — трудно переоценить.

В частности, именно на таком пути можно надеяться окончательно решить затянувшийся спор о галактическом или метagalактическом происхождении космических лучей [88–90]. В метagalактических моделях плотность энергии космических лучей в ближайших к нам сравнительно небольших галактиках — в Магеллановых Облаках — должна быть такой же, как в Галактике и окружающем ее пространстве, т.е. составлять $w_{\text{кл}}, M_\Gamma \sim w_{\text{кл}} \sim 10^{-12} \text{ эрг/см}^3$ (см. (23)). Отсюда следует, что Магеллановы Облака, содержащие известное нам количество газа, должны испускать гамма-лучи, плотность потока которых на Земле равна $F_\gamma \sim 3 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^2$ (при энергии $E_\gamma > 100$ МэВ). Если будет наблюдаться меньший поток гамма-лучей, метagalактические модели могут быть решительно опровергнуты. Еще чувствительнее и точнее несколько другой путь — определение от-

¹Гамма-лучами называем электромагнитное излучение с длиной волны, меньшей 0,1 Å, т.е. фотоны с энергией $E_\gamma \geq 0,1$ МэВ.

²Из радиоданных, также не без дополнительных предположений, но все же более непосредственно удается получить сведения о релятивистских электронах в радиоизлучающих областях (подробнее см. [88, 89]).

ношения потоков гамма-лучей от Малого и Большого Магеллановых Облаков. Согласно метагалактическим моделям, это отношение должно быть вполне определенным, в галактических же моделях оно может быть совсем иным.

Гамма-астрономические наблюдения Магеллановых Облаков — дело будущего, хотя, можно думать, и недалекого. Вместе с тем уже измерения потока гамма-лучей галактического происхождения, приходящих из направления на антицентр Галактики, свидетельствуют скорее о том, что с удалением от Солнечной системы (в направлении на антицентр) плотность энергии космических лучей убывает [89, 90]. Такой результат естествен и, собственно, несомненен для галактических моделей, но противоречит моделям метагалактическим. К сожалению, и этот метод — измерение потока гамма-лучей в направлении на антицентр — еще не привел к достаточно точным результатам. Тем не менее во избежание недоразумений следует подчеркнуть, что по совокупности всех данных метагалактические модели представляются крайне мало вероятными и уже почти не обсуждаются. При этом нужно, однако, повторить оговорку, касающуюся космических лучей со сверхвысокими энергиями ($E_{\text{кл}} \gtrsim 10^{17}$ эВ): их происхождение неизвестно, они могут приходить в основном из Метагалактики (например, из Местного Сверхскопления галактик [88–89]).

Выше внимание было сконцентрировано на гамма-лучах, возникающих при распаде π^0 -мезонов, в связи с особой важностью этого вопроса для изучения протонноядерной компоненты космических лучей. Отсюда, однако, ни в какой мере не следует делать вывод о том, что многие другие гамма-астрономические «каналы» менее важны, являются второстепенными. Напротив, с течением времени становится все яснее, что гамма-астрономия представляет собой (особенно в перспективе) очень широкую и многогранную область исследований. Упомянем здесь о тормозном гамма-излучении, создаваемом релятивистскими электронами, и гамма-излучении дискретных источников (большинство из них еще не идентифицировано), о гамма-излучении при аннигиляции электронов и позитронов (при аннигиляции медленных частиц возникает линия с энергией, близкой к $mc^2 = 0,51$ МэВ), о гамма-излучении ядер (спектр излучения медленных ядер, возбуждаемых космическими лучами, является, естественно, линейчатым), о гамма-излучении, отвечающем так называемым гамма-всплескам [1, 90]. И это еще не все. Нужно упомянуть о линиях поглощения и испускания (относящихся, правда, и к рентгеновскому диапазону), возникающих при переходах с различных уровней электронов, находящихся в сильном магнитном поле (циклотронные переходы).

Наконец, особо следует отметить уже реализованную возможность наблюдения на земной поверхности гамма-фотонов с энергиями $E_\gamma > 10^{11} \div 10^{12}$ эВ по создаваемым ими вспышкам излучения Вавилова — Черенкова в земной атмосфере. Например, плотность потока такого излучения от пульсара в Крабовидной туманности составляет (в среднем по времени) $F_\gamma(E_\gamma > 2,5 \cdot 10^{11} \text{ эВ}) = (4,4 \pm 1,4) \cdot 10^{-11}$ фотон/(с · см²). Другие измерения привели к несколько иным значениям, что, вполне возможно, связано с переменностью интенсивности излучения в источнике. Важнее для нас сейчас то обстоятельство, что при энергиях $E_\gamma \gtrsim 3 \cdot 10^{11}$ эВ гамма-светимость пульсара в Крабе $L_\gamma \sim 10^{35}$ эрг/с. Сколь велика такая светимость, особенно ясно видно, если вспомнить, что полная светимость Солнца $L_\odot = 3,86 \cdot 10^{33}$ эрг/с. Для некоторых других источников также получаются большие потоки гамма-лучей с энергией $E_\gamma \gtrsim 10^{12}$ эВ. Возможно, наблюдаются и еще значительно более жесткие гамма-лучи — с энергией E_γ , достигающей 10^{15} – 10^{16} эВ (для столь больших энергий, когда фотонов очень мало, используется обработка данных о широких атмосферных ливнях в космических лучах — такие ливни, вызванные фотонами, имеют свою специфику). Особое внимание привлекает к себе в этой связи источник Cyg X-3 (Лебедь X-3), находящийся от нас на расстоянии около 10 кпк и представляющий собой двойную систему (одной из компонент этой системы является, вероятно, нейтронная звезда). К сожалению, ситуация в отношении нейтрального (незаряженного) излучения с энергией $E > 10^{14} \div 10^{15}$ эВ от источников Cyg X-3, Her X-1 и некоторых других остается

противоречивой и неясной. Достаточно сказать, что в 1989 г. опубликована статья [97], в которой ставится под сомнение само существование указанного излучения от Cyg X-3 (выше оно было названо нейтральным, поскольку еще не ясно, является ли это излучение, если оно вообще реально, именно гамма-излучением). Современное состояние проблемы освещено в [88—90, 97]. Проблема нейтрального космического излучения с очень высокой энергией, скажем для определенности большей 10^{15} эВ (1 ПэВ), является одной из наиболее актуальных в современной астрофизике. Строится ряд больших установок, которые в ближайшие годы позволят, вероятно, выяснить, с чем мы здесь имеем дело.

Сказанным, за исключением нижеследующих нескольких замечаний о гамма-всплесках, придется ограничиться. Однако, как можно думать, сколь многообещающи перспективы развития гамма-астрономии, и так достаточно ясно. Вполне вероятно, что вскоре гамма-астрономия окажется в той же роли, в какой находилась рентгеновская астрономия в семидесятые годы, — превратится в область, в общем равноправную по значению и масштабам исследований с оптической, радио- и рентгеновской астрономией.

Теперь для большей конкретности — несколько слов о гамма- и рентгеновских всплесках. В шестидесятые годы американцы запустили четыре спутника «Вела», предназначенные для контроля над соблюдением соглашения о запрещении ядерных взрывов в космосе и снабженные поэтому детекторами гамма-лучей. Ядерные взрывы при этом не были обнаружены, но в период с июля 1969 г. по июль 1972 г. было зарегистрировано 16 всплесков (bursts) гамма-излучения [93] продолжительностью от долей секунды до десятков секунд. Особенно существенно при этом то, что всплески наблюдались сразу на нескольких спутниках «Вела», находившихся друг от друга на больших расстояниях. Поэтому не приходилось опасаться того, что всплеск появлялся в результате неисправности аппаратуры на одном из спутников. В дальнейшем просмотрели «записи», сделанные на других спутниках с подходящей аппаратурой, летавших в тот же период, и также обнаружили некоторые из всплесков, зарегистрированных спутниками «Вела» (регистрации всех всплесков на всех спутниках трудно ожидать, поскольку аппаратура работает не все время, может находиться в «тени» Земли и т.п.).

Не нужно думать, что на разных спутниках гамма-всплески детектировались строго одновременно. Напротив, это не так в силу конечности скорости света (равной, разумеется, и скорости гамма-фотонов) и немалого расстояния между спутниками (так, спутники «Вела» летали на расстоянии около 120000 км от центра Земли, вследствие чего расстояние между спутниками достигло 240000 км, что привело к максимальному запаздыванию всплесков, равному почти секунде; аппаратура же регистрировала приход всплесков с точностью до сотых долей секунды). Кстати, по времени запаздывания всплесков и, разумеется, с учетом известного положения спутников удастся установить, что всплески приходят не от Солнца или Земли.

В настоящее время гамма-всплескам посвящен не только целый ряд работ, но уже имеются довольно подробные обзоры (ссылки см. в [90]). Обычно энергия гамма-фотонов во всплесках невелика («по масштабам» гамма-астрономии) и лежит в интервале 0,1—1,5 МэВ, а иногда в рентгеновском диапазоне. В то же время потоки энергии велики. Например, для всплеска, лучше всего изученного на первом этапе, полная принятая энергия на 1 см^2 за время около 80 с (такова была продолжительность t этого всплеска) составляла $\Phi \sim 5 \cdot 10^{-4}$ эрг. Если источник излучения находится в Галактике, скажем, на расстоянии $R \sim 100 \text{ пк} \approx 3 \cdot 10^{20} \text{ см}$, то полное энерговыделение в источнике $W \sim 4\pi R^2 \Phi \sim 10^{39}$ эрг, и его мощность $L \sim W/t \sim 10^{37}$ эрг/с. Для источника в других, но близких галактиках (например, для вспыхнувшей там сверхновой звезды) при $R \sim 3 \text{ Мпк} \sim 10^{25} \text{ см}$ энергия $W \sim 10^{48}$ эрг и $L \sim 10^{46}$ эрг/с. Наконец, для самых далеких возможных источников (типа коллапсирующих галактических ядер) $R \sim 10^{28} \text{ см}$, $W \sim 10^{54} \text{ эрг} \sim M_{\odot} c^2$ и $L \sim 10^{52}$ эрг/с.

Мы привели последние цифры потому, что довольно длительное время вопрос о местоположении источников гамма-всплесков оставался открытым и обсуждались также различные внегалактические модели. Источники гамма-всплесков не идентифицированы и сейчас, но по ряду соображений считается, что они расположены в Галактике или, в крайнем случае, некоторые из них могут находиться, скажем, в Большом Магеллановом Облаке и вообще в области с размерами до 100 кпк.

Есть основания полагать, что источники гамма-всплесков представляют собой старые нейтронные звезды (уже не являющиеся пульсарами или, точнее, не являющиеся пульсарами, испускающими достаточно интенсивное радиоизлучение, которое в настоящее время можно регистрировать на Земле). Но это еще нужно доказать, а механизм образования гамма-всплесков остается невыясненным (если речь идет о нейтронной звезде, то излучение, возможно, связано с аккрецией или, скорее, с каким-то процессом в звезде, но как оно возникает, какова здесь роль магнитного поля, ядерных реакций и т.д., — все эти вопросы ждут ответа).

Изучение гамма-всплесков на некоторое время оказалось в известном смысле в тени в связи с открытием несравненно более частых рентгеновских всплесков (первые публикации на эту тему появились в 1975 г.). Большинство источников рентгеновских всплесков (их называют барстерами), несомненно, находится в Галактике, поскольку они концентрируются вблизи галактической плоскости. Более того, ряд рентгеновских барстеров идентифицирован с двойными системами типа тех, в которых обнаружены рентгеновские пульсары. Точнее, сходство ограничивается тем, что имеются компактная звезда (в большинстве случаев, если не во всех, это — нейтронная звезда) и вторая звезда, наблюдаемая в оптике. Однако в отличие от рентгеновских пульсаров оптический партнер в случае барстеров значительно слабее (менее ярк и менее массивен). В результате в барстере аккреция вещества с оптического партнера на нейтронную звезду происходит не столь бурно. Это вещество накапливается на поверхности нейтронной звезды, и время от времени в нем бурно идут термоядерные реакции — они и являются источником вспышки (всплеска).

По крайней мере в одном случае (речь идет о «быстром барстере» МХВ 1730—355) помимо термоядерных вспышек происходят вспышки за счет нерегулярности аккреции. В последнем случае могли бы возникать и гамма-всплески, которые ведь наблюдаются в области мягкого гамма-излучения, непосредственно примыкающего к рентгеновской области. Вопрос этот, однако, остается открытым, но, по-видимому, источники и механизмы рентгеновских и гамма-всплесков различные, хотя в обоих случаях мы имеем дело с нейтронными звездами. Открытие гамма- и рентгеновских всплесков наряду с обнаружением рентгеновских пульсаров принадлежит к числу крупнейших достижений в области наблюдательной астрономии после открытия радиопулсаров в 1967, 1968 гг.

Если у читателей в результате всего сказанного не сложилось впечатление, что развитие астрофизики высоких энергий представляет захватывающий интерес, то автору придется признать свое неумение отразить своеобразие, значительность и перспективность этой новой области астрономии. Откровенно говоря, надеюсь, что этого не произошло.

§ 25. Нейтринная астрономия

Гипотеза о существовании нейтрино была высказана Паули в 1930 г. Только через четверть века — срок немалый в наше бурное время — нейтрино удалось зарегистрировать вблизи ядерных реакторов. Естественно, возник и такой вопрос: нельзя ли так же регистрировать и нейтрино внеземного происхождения?

Поскольку источниками звездной энергии являются ядерные реакции, совершенно очевидно, что нейтрино должны испускаться всеми звездами. В первую очередь речь идет, конечно, о Солнце (расстояние от Земли до Солнца составляет $1,5 \cdot 10^{13}$ см, а до ближайших

звезд оно порядка $4 \cdot 10^{18}$ см; отсюда ясно: при прочих равных условиях поток солнечных нейтрино должен быть в 10^{11} раз больше их потока от ближайших звезд). Попытки детектировать солнечные нейтрино путем использования ядерной реакции $^{37}\text{Cl} + \nu_e \rightarrow ^{37}\text{Ar} + e^-$ (ν_e — электронное нейтрино и e^- — электрон) были начаты двадцать лет назад. Поток нейтрино, который должен регистрироваться хлорным детектором, неоднократно рассчитывался, особенно для так называемых стандартных моделей Солнца. Недавно я видел такие результаты двух различных расчетов: $7,9 \pm 2,6$ и $5,8 \pm 1,3$ SNU (SNU — солнечная нейтринная единица: при потоке в 1 SNU 10^{36} ядер ^{37}Cl захватывают в среднем одно нейтрино в секунду). Наблюдаемый поток долгое время считался меньшим, равным, скажем, $2,33 \pm 0,25$ SNU. Но за период с 1986 по 1988 г. приводится цифра $4,2 \pm 0,7$ SNU. Быть может, это связано с улучшением методики измерений, но возможны и временные вариации потока. К стыду рода человеческого столь важные измерения уже 20 лет ведутся на одной-единственной установке, а проекты введения в строй других установок еще не реализованы.

Если наблюдаемый поток действительно примерно в три раза меньше рассчитанного, как это долго утверждалось, то и в этом случае, должен признаться (или даже покаяться), подобное расхождение на меня не производило и не производит впечатления, учитывая, сколь трудно точно рассчитать поток нейтрино от Солнца (существенно при этом расчете то, что упомянутая реакция с ^{37}Cl идет за счет нейтрино с довольно высокой энергией, большей 0,81 МэВ, испускаемых в основном при распаде ядра ^8B ; поток таких нейтрино весьма чувствителен к температуре в центре Солнца и вообще к выбору солнечных моделей). Правда, осцилляции нейтрино, столь много обсуждаемые в последнее время, могли бы в определенных условиях (важна в первую очередь разность масс нейтрино различных сортов, т.е. ν_e , ν_μ и ν_τ) объяснить наблюдаемое на опыте уменьшение потока нейтрино в три раза по сравнению с вычисленным без учета осцилляции. Но делать отсюда вывод о том, что расхождение между теорией и опытом обусловлено именно осцилляциями нейтрино, было бы совершенно преждевременно.

Проблема солнечных нейтрино может быть, по-видимому, в значительной мере решена в результате дальнейших измерений с хлорным детектором, но необходимо провести измерения и с помощью других детекторов, в первую очередь из ^7Li и особенно из ^{71}Ga . Изотоп ^{71}Ga поглощает нейтрино с энергией, превышающей всего 0,23 МэВ, причем превращается в ^{71}Ge . Поэтому галлиевый детектор сможет регистрировать основную часть испускаемых Солнцем нейтрино, образующихся при реакции $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu_e$ и обладающих энергией, достигающей 0,42 МэВ. Поток таких нейтрино в хорошем приближении определяется светимостью Солнца и, следовательно, уже не зависит от модели Солнца (в предположении, что поток стационарен). Отделение германия от галлия вполне осуществимо, и, таким образом, галлиевый детектор (его масса должна быть равна 20—40 т) перспективен [116]. Установка с галлием уже начала работать на советской нейтринной станции на Кавказе.

Зарождение нейтринной астрономии — большое событие, поскольку прием нейтрино — это единственный способ получения информации из центральных областей звезд (оттуда, правда, вышли бы и гравитационные волны; но такие волны, вообще говоря, звездами не генерируются и, кроме того, их было бы трудно детектировать). Надеяться на прием нейтрино от обычных звезд в обозримое время не приходится. Но вспышки сверхновых звезд и образование нейтронных звезд (нет никакой уверенности, что такое образование всегда сопровождается заметной вспышкой) могут порождать мощные потоки нейтрино. Соответствующие потоки доступны наблюдениям, и уже работает несколько пригодных для этой цели подземных нейтринных телескопов. Эти установки действительно зарегистрировали «всплеск» нейтринного излучения от вспышки сверхновой звезды SN 1987A, произошедшей 23 февраля 1987 г. в Большом Магеллановом Облаке [71, 94, 95]. Например, в установке Камиоканде (Япония) объемом 2140 м^3 (речь идет об объеме воды, в котором

регистрировалось излучение Вавилова — Черенкова) наблюдалось 11 событий, в которых позитрон, порожденный взаимодействием с антинейтрино (реакция $p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+$), обладал энергией в диапазоне от 7,5 до 36 МэВ. Оценки приводят к заключению, что при вспышке сверхновой были излучены нейтрино (и антинейтрино) с энергией порядка $3 \cdot 10^{53}$ эрг. В то же время в кинетическую энергию сброшенной оболочки, на оптическое излучение и на ускорение космических лучей приходится только около 1% этой полной энергии, т.е. порядка 10^{51} эрг. Изучение сверхновых и ранее занимало видное место в астрономии. Наблюдение сверхновой SN 1987A (это первая сверхновая после сверхновой Кеплера 1604 г., наблюдавшаяся на Земле невооруженным глазом) естественно привлекло к себе огромное внимание. Материала в этой области очень много (например, обзорная статья [71] занимает 90 страниц и содержит около 300 ссылок на литературу). В таких условиях нецелесообразно здесь вдаваться в какие-либо подробности (см. [71, 94, 95, 118]). Итак, давняя мечта — зарегистрировать нейтрино от вспышек сверхновых, по-видимому, стала реальностью (слово «по-видимому» фигурирует здесь потому, что нейтринные наблюдения SN 1987A все же не вполне однозначны и вызывают споры). К следующей вспышке наблюдатели будут, вероятно, подготовлены лучше. Исключительно важно было бы зарегистрировать также нейтрино космологического происхождения, образовавшиеся на ранней стадии эволюции Вселенной, но здесь пока не видно реальных путей для достижения цели. Однако как раз в отношении перспектив усовершенствования методов измерений пессимизм, как нас учит история физики и астрономии, не оправдан. Какое-то неожиданное открытие или идея нового способа детектирования могут быстро изменить ситуацию.

Пусть это и некоторое отступление, но не нашлось более подходящего места, чтобы сообщить об одном проекте, связанном с регистрацией нейтрино. Правда, не космических нейтрино, а нейтрино от гигантского ускорителя, в котором образуется пучок нейтрино с энергией порядка $10 \text{ ТэВ} = 10^{13} \text{ эВ}$. Таким пучком предполагается «просвечивать» Землю с целью поиска полезных ископаемых, а также изучения строения Земли.

Вернемся, однако, к нейтринной астрономии.

В последние годы все большее внимание привлекает к себе нейтринная астрономия высоких энергий (см. [89, 94, 95] и указанную там литературу). Нейтрино с высокой энергией, превосходящей сотни мегаэлектронвольт и тем более превосходящей много гигаэлектронвольт, создаются практически лишь протонно-ядерной компонентой космических лучей. В этом отношении они аналогичны гамма-лучам, возникающим при распаде π^0 -мезонов (см. § 24). Речь идет, однако, если иметь в виду возможности регистрации нейтрино, о космических лучах с гораздо большей энергией, генерирующих нейтрино с энергией $E_\nu \gtrsim 10^3 \text{ ГэВ}$. Существуют проекты (в первую очередь проект DUMAND и установка на озере Байкал, в которых создаваемый нейтрино ливень должен регистрироваться глубоко под водой оптическим методом), осуществление которых позволит, вероятно, регистрировать нейтрино от квазаров и активных галактических ядер. Именно на таком пути, быть может, удастся выяснить, является сердцевина (кern) квазара массивной черной дырой или магнитоидом [80, 94].

Двух десятилетий оказалось недостаточно для возмужания нейтринной астрономии. Но стоящие задачи в экспериментальном отношении столь сложны, что этому вряд ли нужно удивляться. Еще через десять лет, вероятно, ситуация будет уже иной. Так или иначе, нейтринная астрономия «стучится в дверь», она представляет собой одну из самых интересных новых областей научных исследований, обещающую принести ценные результаты, а быть может, и открытия.

§ 26. О современном этапе развития астрономии

За двадцать пять—тридцать последних лет в астрономии сделано несколько открытий первостепенного значения (квазары, реликтовое тепловое излучение, рентгеновские «звезды», космические лазеры на линиях молекул ОН, Н₂О и других молекул, пульсары, рентгеновские и гамма-всплески), не говоря уже о многих крупных достижениях несколько меньшего масштаба. Если отнести к успехам именно в астрономии также часть достижений в области космических исследований (изучение Луны и планет), то победное шествие астрономии в наши дни станет еще более впечатляющим.

Различные научные направления, если говорить о качественной стороне дела, развиваются неравномерно. Так, можно констатировать, что астрономия после второй мировой войны вступила в период особенно блистательного развития, связанного с превращением астрономии из оптической во всеволновую; речь идет, очевидно, о появлении и становлении радиоастрономии, рентгеновской астрономии, гамма-астрономии и т.д. Раньше автор даже считал указанный процесс перехода ко всеволновой астрономии содержанием или сущностью «второй астрономической революции». Первая же такая революция связывалась с именем Галилея, начавшего использовать телескопы.

Таким образом, в основу были положены, можно сказать, создание новых методов исследования и, разумеется, связанные с этим колоссальные успехи и астрономические открытия. Такая точка зрения не свободна, однако, от возражений, которые представляются обоснованными. Так, переход от геоцентрической к гелиоцентрической картине мира — процесс, не менее важный, глубокий и революционный, чем использование телескопов. Поэтому первую астрономическую революцию правильнее всего связывать и с переходом к гелиоцентрической системе, и с использованием телескопов. Во второй астрономической революции главное — это не только выход за пределы оптического диапазона, но и открытие нестационарности (расширения) Вселенной и все становление внегалактической астрономии. В конце астрофизической части настоящей статьи представляется уместным сделать еще несколько замечаний, характеризующих развитие астрономии в последнее время.

Во-первых, успехи астрономии, несомненно, обусловлены развитием физики и космической техники, позволившим создать и использовать фантастически чувствительную аппаратуру, а в ряде случаев и поднимать ее за пределы атмосферы.

В качестве примера приведу эпизод, который произвел на меня впечатление, хотя к тому времени я уже много лет занимался радиоастрономией. На небольшой выставке, устроенной в радиоастрономической обсерватории вблизи Кембриджа (Англия), посетителей приглашали к стенду, где лежали небольшие белые листки бумаги. Взяв листок и перевернув его, посетитель видел такую надпись: «Взяв со стола этот листок бумаги, Вы затратили больше энергии, чем та энергия, которую за всю историю радиоастрономии приняли все существующие во всем мире радиотелескопы».

Плотность потока энергии (точнее, спектральную плотность потока энергии) радиоизлучения принято измерять в единицах 10^{-23} эрг/(с · см² · Гц) = 10^{-26} Вт/(м² · Гц). При такой плотности потока в полосе шириной $\Delta\nu = 10^{10}$ Гц на площадь в 1 км² = 10^{10} см² за 1 год = $3 \cdot 10^7$ с поступает энергия, равная $3 \cdot 10^4$ эрг = $3 \cdot 10^{-3}$ Дж. Источники, поток от которых равен указанной единице измерения (и даже на два-три порядка слабее), уже обнаруживаются существующей аппаратурой. Однако обычно работа ведется с источниками раз в десять мощнее, причем полное их число измеряется всего лишь сотнями. Сказанное позволяет убедиться в правильности приведенного примера и делает более осязаемым утверждение о поразительной чувствительности радиоаппаратуры.

Во-вторых, превращение астрономии из оптической во всеволновую колоссально ее обогатило и преобразовало. В-третьих, как ни замечательны последние астрономические

открытия, они еще не вывели нас за пределы известных физических представлений и законов, не заставили что-либо пересмотреть в фундаменте физики.

Третье утверждение разделяется не всеми. Так, приходится сталкиваться также с мнением, что главная черта современного этапа развития астрономии — появление новых представлений, переворот во взглядах. Между тем, полностью отдавая дань перечисленным последним открытиям в астрономии, никак нельзя считать их более глубокими и значительными, чем открытие расширения Вселенной и выяснение ее характерных масштабов (время $T_0 \sim 10^{10}$ лет, расстояние $R \sim cT_0 \sim 10^{28}$ см). Сделано же это было в основном в двадцатые годы нашего века. Главное же, новые открытия при всей их бесспорной значительности не дают, по нашему мнению, каких-либо реальных указаний на то, что астрономия порождает «новую физику». Подробнее об этом речь уже шла в § 23.

Что будет дальше, какова тенденция развития астрономии? Попытаться дать ответ на такие вопросы очень рискованно. Но лучше ошибиться, чем молчать из осторожности. Поэтому позволю себе сделать некоторый прогноз, впрочем, отнюдь не претендующий на оригинальность.

Можно думать, что довольно скоро вторая астрономическая революция завершится — астрономия станет всеволновой (сейчас некоторые диапазоны еще далеко недостаточно освоены), а те открытия, которые в каком-то смысле «лежали на поверхности», будут сделаны. После этого должен, казалось бы, наступить более мирный период (речь идет об изучении далеких объектов; исследования планет и захватывающей проблемы внеземных цивилизаций мы здесь не касаемся). Другими словами, пройдет «героический период» и развитие астрофизики (пусть лишь на время) выйдет на некоторое плато. Впрочем, нельзя не отметить, что у астрономии имеются богатые резервы, связанные с возможностью расцвета нейтринной астрономии и астрономии гравитационных волн, а также с созданием гигантских радиотелескопов в космосе.

Наконец, главный вопрос (по крайней мере главный с точки зрения физиков): приведет ли астрономия к столь желанному для ряда ее представителей изменению каких-либо фундаментальных физических представлений? Примерами таких изменений могли бы явиться необходимость введения скалярного поля в релятивистскую теорию тяготения, обнаружение изменения физических констант со временем или отклонений от известных физических законов при больших плотностях внутри или вблизи огромных масс (ядра галактик, квазары, нейтронные звезды) и т.д. и т.п.

В отношении возможности изменений физических констант со временем (речь может в принципе идти о заряде и массах частиц, скорости света и т.д.) особого внимания, как мне кажется, заслуживает вопрос об изменениях гравитационной постоянной G . Вселенная нестационарна (расширяется), и вместе с тем ее динамика определяется гравитационным взаимодействием. Поэтому предположение о зависимости этого взаимодействия от времени хотя и ни в какой мере не обязательно (как с логической точки зрения, так и на основе имеющихся данных экспериментов и наблюдений), но по крайней мере не кажется совершенно беспочвенным. Так или иначе, решающее слово здесь принадлежит измерениям, причем общая теория относительности может быть положена в основу космологических исследований, только если производная $|\dot{G}| \equiv |dG/dt|$ достаточно мала. Поскольку время расширения Метагалактики $T_0 \sim 10^{10}$ лет, изменения G были бы заведомо существенны, если бы $|\dot{G}|/G \gtrsim 10^{-10}$ год $^{-1}$. Сейчас экспериментальная оценка как раз такова, что $|\dot{G}|/G \lesssim 10^{-10}$ год $^{-1}$. В литературе, правда, появлялась оценка $|\dot{G}|/G = (0,2 \pm 0,4) \cdot 10^{-11}$ год $^{-1}$, полученная путем обработки информации о расстоянии Земля — Марс, собранной с помощью аппаратов «Викинг», работавших на поверхности Марса. Однако этот результат был затем признан ненадежным. Если величина G изменяется, то изменяется и гравитационная сила Gm_1m_2/r^2 между любыми массами m_1 и m_2 , в результате чего траектории, в частности, планет будут отличны от соответствующих траекторий для случая $G = \text{const}$.

При указанной точности постоянства G (особенно, если она окажется еще выше, т.е. значение $|\dot{G}|/G \lesssim 10^{-11} \text{ год}^{-1}$ что, вероятно, скоро удастся проверить) для задач небесной механики, геофизики и космологии эпохи образования галактик и скоплений (параметр красного смещения $z \lesssim 10 \div 100$) можно положить $G = \text{const}$, как это и делается в ОТО и в ньютоновской теории всемирного тяготения.

Нет пока что каких-либо указаний и на возможную переменность иных физических постоянных. В последние годы (впрочем, эта проблема обсуждалась и ранее) большое внимание уделяется анализу точности закона всемирного тяготения $\varphi \sim 1/r$ и, конкретно, поискам каких-то «дополнительных» сил (их иногда называют пятой или, если речь идет о двух силах, пятой и шестой силами). Эти силы обычно стараются описать законом типа $\varphi_{5,6} \sim \alpha \exp \{-r/x\} / r$. Имеющиеся данные противоречивы, и, во всяком случае, наличие таких дополнительных сил заведомо еще не установлено [120].

Поиски новых фундаментальных идей и представлений в астрономии (включая космологию) заслуживают, конечно, самого пристального внимания, но по самой сути дела предвидеть здесь ничего не дано. Таким образом, поставленный выше «главный вопрос», по существу, остается без ответа. Могу лишь отметить, что сам я несколько не был бы удивлен (и, более того, склонен верить именно в такую возможность), если бы «новая физика» в астрономии понадобилась (и появилась, так сказать, на астрономической почве) только вблизи классических сингулярностей, т.е. оказалась существенной лишь в космологии и для понимания заключительной фазы гравитационного коллапса, а также для прогнозирования далекого будущего Вселенной [76].

Может оказаться, что это не так, что астрономические открытия обогатят сам фундамент физики и в других отношениях, и в других «местах». Автор отстаивает лишь тезис, что такой ответ вовсе не обязателен и ссылок на общие соображения, историю и известные сейчас факты здесь еще совершенно недостаточно.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

§ 27. Несколько замечаний о характере развития науки

Наука занимает весьма значительное место в современном мире. В частности, с научной деятельностью в той или иной степени связаны уже миллионы людей. Естественно поэтому, что и сама наука — характер ее развития и различные особенности — стала объектом большого числа статей и исследований, которые часто относят к «науке о науке» (или науковедению), а также к методологии и истории науки. Правда, насколько я могу судить, активно работающие физики и астрономы (и, вероятно, представители других естественнонаучных дисциплин) сравнительно мало интересуются науковедением и историей науки. В известной мере это понятно, поскольку каждая конкретная проблема, скажем, в области физики твердого тела, для специалиста достаточно резко очерчена и изолирована от общего мирового потока научных исследований и их истории. Вместе с тем, не говоря уже о том, что многие науковедческие и историко-научные вопросы весьма любопытны, они неизбежно возникают перед всеми, кто задумывается о будущем науки и путях ее развития как в целом (в мировом масштабе), так и в более узких рамках (скажем, для СССР). Один из широко дебатированных вопросов науковедения — структура научных революций и, собственно, само понятие научной революции. Мы уже коснулись этой темы в § 26, а подробнее мнение автора на этот счет изложено в статье, помещенной ниже в этой книге. Однако споры о том, что такое научная революция, представляются в целом несколько схоластическими и, во всяком случае, не имеют особого значения в рамках настоящей статьи. Напротив, как мне кажется, и здесь будет уместно сделать несколько замечаний, касающихся темпов роста науки.

Темп развития науки как в целом, так и для широких дисциплин (физики, математики, биологии и т.д.) уже лет триста отличается довольно хорошим постоянством и характеризуется приростом на 5—7% в год. Это означает, что различные научные показатели, или «продукты», — число научных работников, число статей, число журналов и т.п. — возрастают по экспоненциальному закону

$$y_i(t) = y_i(0)e^{t/T_i}; \quad (24)$$

здесь $y_i(t)$ — количество рассматриваемого «продукта» (скажем, число физических журналов) в момент t , $y_i(0)$ — количество того же «продукта» в момент $t = 0$ (т.е. в момент, принимаемый за начало отсчета времени) и T_i — время, за которое «продукт» возрастает в $e \approx 2,72$ раза. Прирост на 7% в год означает, для примера, что характерное время $T_i = 15$ лет, т.е. «продукт» за 15 лет возрастет в 2,72 раза, за 30 лет — в 7,4 раза, за 60 лет — примерно в 50 раз и за 120 лет — уже в 2500 раз. Справедливость в большом числе случаев (хотя и далеко не всегда) экспоненциального закона развития (24) вполне естественна: это означает, что прирост продукта dy_i за некоторое небольшое время dt , близкое к моменту t , пропорционален количеству «продукта» в момент t , т.е.

$$dy_i = (y_i(t)/T_i)dt.$$

При отсутствии ограничивающих факторов так и происходит, например, с числом публикаций и с числом научных работников; чем их больше, тем больше они готовят себе подобных и больше пишут статей. Несмотря на то, что экспоненциальная зависимость хорошо известна и весьма проста, к ней как-то трудно «привыкнуть», полностью осознать ее последствия. Поскольку в развитых странах продолжительность активной научной деятельности, т.е. «жизни» одного поколения, составляет около тридцати лет (примерно такова, например, средняя разница в возрасте между родителями и детьми), то при экспоненциальном росте с $T_i = 15$ лет за время деятельности лишь одного поколения ученых их число возрастает в 7,4 раза, и за всю предыдущую историю рода человеческого было произведено в $[y_i(2T_i) - y_i(0)]/y_i(0) = 6,4$ раза меньше научного «продукта», чем за последний период в 30 лет.

Другой пример: около 90% всех ученых, работавших на земном шаре во все времена, живы в настоящее время¹. Или вот такой факт: в 1913 г. в России было менее 12 тыс. научных работников, численность же их в СССР в середине семидесятых годов составляла около 1,2 млн. человек, т.е. за 60 лет возросла в 100 раз. Если бы такой темп роста продолжался еще 60 лет, то почти треть населения СССР должна была бы стать научными работниками.

Совершенно очевидно, что это невозможно, и, несомненно, раньше или позже развитие науки или, по крайней мере, рост числа научных работников и некоторых других «показателей» должен замедлиться или даже выйти на режим насыщения. В развитых странах (в СССР в том числе) эффект насыщения в развитии науки чувствуется в известных отношениях уже ряд лет. С другой стороны, требования к науке, предъявляемые жизнью, техникой, всем обществом, отнюдь не снижаются. Таким образом, возникает некоторое противоречие между необходимостью замедлить темп роста числа ученых и требованиями к самой науке.

Выход из положения можно видеть, разумеется, только в одном — в повышении эффективности научной работы. Однако решение такой задачи сталкивается с трудностями

¹Этот известный пример был приведен и в моей статье, помещенной также в настоящей книге (с. 122). И вот что любопытно и показывает, сколь на самом деле нелегко воспринять тяжелую поступь экспоненциального закона: в редакции так и не поверили в то, что 90% ученых живы в настоящее время, и в тексте статьи поставили слово «живы» в кавычки (!). Другие примеры, свидетельствующие о том, как трудно «воспринять» экспоненциальный закон, приведены в статье [96].

принципиального характера. В самом деле, возможности повышения производительности труда в промышленности и в сельском хозяйстве почти безграничны или по крайней мере огромны. В области же творческой деятельности, в частности творческой научной деятельности, аналогичных возможностей явно нет. Конечно, практически еще очень многое можно сделать, улучшая условия работы в научных учреждениях и, что более принципиально, широко используя вычислительные машины. Но все равно в науке «узким местом» остается сам человек.

Рассчитывать на то, что человек за десятилетия изменится (в смысле возрастания его способностей), конечно, не приходится. Но здесь нужно сделать одну оговорку. Известны случаи, когда у людей наблюдалась феноменальная память или способность исключительно быстро производить в уме довольно сложные математические операции. Поскольку речь при этом идет не об инопланетянах, а о людях, обнаружение феноменальных способностей свидетельствует об огромных резервах, таящихся в человеческом мозге. Такой выход подтверждается и другими аргументами. Наличие больших резервов мозга представляется естественным результатом биологической эволюции — мозг, как и другие органы тела, должен работать надежно и, значит, обладать большим «запасом прочности». Но в наше время вполне разумно, по-видимому, ставить вопрос о мобилизации резервов мозга и их использовании для повышения эффективности творческого труда. Нелегко сказать, в какой мере здесь можно ожидать практических результатов, но, вторгаясь в чужую область, позволю себе отнести вопрос о мобилизации ресурсов мозга к числу особенно важных и интересных проблем биологии.

В заключение — об одном психологическом «эффекте», вызванном быстрым ростом числа ученых. В силу такого роста средний возраст научных работников сравнительно невелик. Точной цифры я не знаю, но, вероятно, средний возраст физиков не превосходит тридцать пять — сорок лет. Человеку тридцатипятилетнего возраста все, что было лет тридцать и более назад, кажется чем-то доисторическим, а в области науки представляется предысторией многое, происшедшее лет пятнадцать назад и более, т.е. до начала активной профессиональной работы (нужно бы здесь сделать ряд оговорок, но, надеюсь, и так ясно, что имеется в виду). Следствием такой ситуации является широко распространенная в научных кругах переоценка темпов развития науки. Молодому человеку кажется, что десять, пятнадцать и уже подавно двадцать пять лет — это очень длительный срок не только в человеческой жизни, но и в науке. Последнее же справедливо лишь в весьма ограниченном смысле. Достаточно напомнить, что специальной теории относительности более восьмидесяти лет, общей теории относительности уже более семидесяти лет, нерелятивистская квантовая механика создана почти шестьдесят пять лет назад, сверхпроводимость была открыта в 1911 г., а космические лучи — в 1912 г. И несмотря на восемь десятилетий, и сверхпроводимость, и космические лучи остаются в центре внимания физиков, а их исследование в тех или иных аспектах упомянуто в нашем списке «особенно важных и интересных» проблем современных физики и астрофизики (см. § 2 и 24). Более того, история этих двух направлений, с которыми я достаточно хорошо знаком, свидетельствует о том, что решения некоторых возникавших вопросов приходилось ждать и двадцать пять, и сорок пять лет (достаточно напомнить, что микроскопическая природа сверхпроводимости была выяснена лишь в 1957 г.).

Какую мораль автор хотел бы извлечь из сказанного? Только ту, что не нужно ждать переворотов в науке не только каждый год, но и каждое десятилетие. Например, за пять лет (1985-1990 гг.) в области физики и астрофизики достигнут, разумеется, немалый прогресс, но не приходится говорить о переворотах. Конкретно, за это пятилетие из очень крупных событий я могу упомянуть лишь открытие высокотемпературной сверхпроводимости.

Что произойдет до 1 января 2001 г., когда начнется XXI в.? Ждать ведь осталось всего десятилетие. Для сегодняшних школьников это очень много, но для людей, работа-

ющих уже лет сорок, это совсем не такой длительный срок — достаточно вспомнить путь, пройденный, скажем, с 1980 г. (Разве тогда физика была существенно иной?)

У автора этой статьи мало шансов увидеть начало следующего века и еще меньше шансов находиться тогда в форме, позволяющей правильно оценивать состояние науки. Но подавляющее большинство читателей, как я надеюсь, встретит XXI в. в расцвете сил. И мне хотелось бы, чтобы они подумали тогда о том, как следовало бы изменить список «особенно важных и интересных» проблем физики и астрофизики. Я не был бы удивлен, если бы добрая половина проблем, фигурирующих в нашем списке, сохранилась и в списке 2001 г.

§ 28. Вместо заключения

Выше было затронуто много тем, много проблем. Подвести здесь какие-то итоги вряд ли возможно (да и нужно ли?). Так или иначе, не будем пытаться этого делать и ограничимся лишь еще несколькими замечаниями общего характера, рассчитанными на так называемых неискушенных читателей.

История науки сплошь пестрит неверными прогнозами. В качестве иллюстрации приведем такой пример. 11 сентября 1933 г. на съезде Британской ассоциации содействия развитию науки (аналог нашего общества «Знание») выступил Резерфорд, как известно, открывший атомные ядра и их расщепление. Резерфорд в своей речи заявил, однако (это было широко освещено в газетах), что «всякий, кто ожидает получения энергии в результате трансформации атомов, говорит вздор». Иными словами, Резерфорд отрицал реальность использования атомной (ядерной) энергии. В этом он был не одинок и совершенно прав в том смысле, что в 1933 г. действительно не было видно никакого пути использования ядерной энергии. Однако всего через пять лет ситуация полностью изменилась — было открыто деление урана, а через девять лет (в 1942 г.) заработал первый атомный котел.

Этот пример и другие, аналогичные ему, могут породить глубокое недоверие ко всякому планированию и прогнозированию в науке. В частности, может показаться сомнительной сама возможность говорить о каких-то «особенно важных», но еще совсем не решенных проблемах. В этой связи, как мне кажется, уместно подчеркнуть следующее. В науке, когда речь идет о фундаментальных исследованиях, планирование и прогнозирование в смысле указания каких-то сроков во многих случаях (и даже как правило) действительно не представляется возможным. Когда, например, будет открыта высокотемпературная сверхпроводимость? В согласии со сказанным в § 2 мой ответ на поставленный вопрос еще в 1985 г. был бы следующим: может быть, высокотемпературная сверхпроводимость уже открыта в какой-то лаборатории (но мы еще об этом не знаем), может быть, она будет открыта завтра, а может быть, подобное явление существовать вообще не может и, следовательно, никогда не будет открыто. Иными словами, срок (время) научного открытия или решения научной проблемы есть понятие «неустойчивое», и обычно им лучше вообще не пользоваться. В случае высокотемпературной сверхпроводимости ответ оказался таким: она была открыта в 1986—1987 гг.

Совсем другое дело сама проблема! После обнаружения дефекта масс в атомных ядрах стало ясно, что эти ядра являются кладовыми энергии. Так в двадцатые годы возникла проблема ядерной (атомной) энергии. Естественно, такую проблему нужно было бы упоминать в любом разумном списке «важнейших физических проблем» вплоть до начала сороковых годов, когда она оказалась решенной, просуществовав около двадцати лет. Вообще, научная проблематика, как таковая, представляется довольно устойчивым понятием.

Таким образом, нет оснований возражать против планирования и прогнозирования и в области фундаментальных научных исследований, если только понимать под этим

выявление стоящих на повестке дня проблем, предварительную оценку их потенциальной значимости и т.п., но не указание «сроков исполнения» (мы не касаемся здесь, конечно, сроков пуска каких-то установок и т.д.).

Даже с учетом сказанного любой список «особенно важных и интересных проблем» условен и не абсолютен. Совершенно очевидно, в частности, что различные «важные» проблемы не равноценны и трудно сопоставимы, а их список должен изменяться со временем. Если бы, например, был получен хотя бы один сверхпроводник с комнатной критической температурой и было понятно, за счет каких факторов это достигнуто, то проблему высокотемпературной сверхпроводимости, скорее всего, можно было бы из нашего списка исключить. Так же нужно поступить, если получится отрицательный ответ на поставленный вопрос, скажем, выяснится, что «комнатнотемпературные» сверхпроводники нельзя создать или что долгоживущих сверхтяжелых ядер не существует.

Далее, во избежание недоразумения следует еще раз подчеркнуть, что заниматься вопросами, не включенными в наш список, также совершенно необходимо. Не говоря уже об отсутствии сколько-нибудь жестких перегородок между множеством различных физических и технических вопросов, исследований и разработок, достаточно вспомнить о том, как рождается новая «особенно важная» проблема. В большинстве случаев ее родителями, как и источниками открытий, являются «рядовые» проблемы, подобно тому как гении рождаются у обыкновенных родителей. Вряд ли кто-либо назвал бы в тридцатые годы особенно важным изучение люминесценции жидкостей под влиянием гамма-лучей. Но именно на этом пути был открыт эффект Вавилова — Черенкова. То же можно сказать об эффекте Мёссбауэра, о ряде последних астрономических открытий (например, об обнаружении пульсаров) и т.д.

Иными словами, многие замечательные открытия и научные достижения оказываются непредвиденными и неожиданными.

В общем, если определенная концентрация внимания на известных «особенно важных проблемах» сегодняшнего дня естественна и разумна, то это никак не должно приводить к забвению других направлений, к негармоничному развитию физики и астрофизики в целом.

Более того, если выделение «особенно важных и интересных проблем» даже в целом содержит, как уже подчеркивалось, немалую условность — не может быть однозначным, четким и определенным, — то такое утверждение и подавно справедливо в применении к частным случаям, к отдельным людям и небольшим коллективам. Если, например, физик обнаружил (в эксперименте или «на кончике пера») какой-то новый эффект или придумал новый метод измерений, то для него, естественно, этот эффект или метод на некоторое время становится особенно важным и интересным. При этом принадлежность проблемы к числу модных или фигурирующих в каких-то «списках», как правило, не имеет существенного значения. Позволю себе здесь сослаться и не собственный опыт. Хотя я давно стал и остаюсь «адвокатом» известного выделения ведущих проблем и т.п., но отнюдь не занимаюсь сам (и не советую заниматься связанным со мной коллегам) только (или даже в основном) такими проблемами. Важное и интересное для себя лично физик может найти и фактически находит во многих задачах разных рангов, что не противоречит выделенности ряда проблем с точки зрения развития физики в целом.

Наконец, о «человеческом факторе» в еще более непосредственном смысле этого понятия.

Естественные науки имеют своей целью изучение природы, многочисленных объектов и процессов, управляющих ими законов. В этом отношении, скажем, физика совершенно не зависит, выражаясь философским языком, от познающего субъекта. Но наукой занимаются именно эти субъекты — люди, причем их сейчас уже миллионы. Некоторые научные исследования требуют больших средств, связаны с экономикой, с промышленностью и т.д.

и т.п. Все это приводит к тому, что развитие науки окрашено в человеческие тона, связано и переплетено с политикой, экономикой, техникой, социологией, психологией. Такие связи часто сложны, с трудом поддаются анализу, недостаточно ясны. В результате им уделяется, по крайней мере в научной литературе, относительно очень мало внимания. Стремление (в значительных пределах вполне оправданное и естественное) освободить и отделить собственно науку, ее содержание, от всех ее упомянутых надстроек, связей и лесов сильно повлияло на формирование научного стиля, на то, как пишутся книги и статьи. Далеко не самый важный, но характерный пример — изгнание из научной литературы личного местоимения «я». Например, автор настоящей статьи в научной статье просто не может написать «я», а выше иногда буквально заставлял себя это делать, ибо писать без конца «мы», «как нам кажется» и «по нашему мнению» тоже как-то странно, а быть может, и смешно, когда речь идет о попытке популярного изложения.

Но от того, что все личное, «человеческое», не относящееся к делу стараются скрыть от глаз, чтобы оно не мешало сосредоточиться на самой науке, значение этого «человеческого» в процессе научной деятельности отнюдь не уменьшается. Если бы невидимка, вооруженный магнитофоном, побывал в научной или студенческой среде, то, вероятно, не более половины магнитофонной ленты было бы занято разговорами о самой науке.

Какую выбрать специальность или специализацию, чем заняться, какая область или научное направление перспективны, что сегодня особенно важно, интересно, привлекательно (а то и выгодно, удобно и т.п.)? Эти вопросы широко обсуждаются и не могут не обсуждаться.

Единственным стимулом написать эту статью явилась мысль: сколько есть интересного в разных областях физики и астрофизики, а многие молодые физики или будущие физики об этом не знают и им нелегко это узнать. Возник вопрос, а нельзя ли здесь сделать что-либо позитивное, хотя бы кратко перечислив и прокомментировав некоторые животрепещущие проблемы физики и астрофизики. Но затем, как часто бывает, все начало усложняться, ибо оказалось неясным, что и как отбирать и упоминать, на какого читателя рассчитывать и, наконец, кому все это нужно. Это трудные вопросы, о них уже шла речь в предисловии и во введении, и, заканчивая статью, которая уже несколько раз переделывалась, я все равно не могу дать на них ясный и четкий ответ. Отсюда многочисленные оговорки, боязнь, что тебя не так поймут, сделают неверные выводы.

Среди возможных неверных выводов самый, пожалуй, необоснованный и беспочвенный — это подозрение в том, что автор пытается кого-то поучать, навязывать свое мнение о том, что «важно и интересно» и что не важно и не интересно. Напротив, совершенно несомненно, что в таком деликатном деле неизбежны расхождения во мнениях, должны возникать разные взгляды и суждения. Поэтому прийти к какой-то более или менее общей позиции и тем самым принести пользу развитию науки можно только в результате коллективного обсуждения аргументов и контраргументов, путем выявления неясных и дискуссионных вопросов и попыток как-то в спорах родить истину или хотя бы приблизиться к ней. Нужно, правда, добавить, что споры бывают разные и речь не идет о спорах с теми (а таких людей, к сожалению, не так уж мало), для кого всякий оппонент и научный противник — это враг, которого желательно оскорбить, унижить и, если можно, заставить замолчать. Разумеется, я призываю к обсуждению и спорам о путях развития науки, о важном и интересном в науке не со скрежетом зубным, а в атмосфере терпимости и доброжелательности. Хочу закончить призывом к коллегам — к физикам и астрофизикам: «не проходите мимо» и почаще высказывайте свои взгляды по общим вопросам развития науки. Помимо всего прочего только тогда широкие круги читателей смогут познакомиться с разными мнениями и сделать для себя действительно обоснованные выводы.

И последнее. Я принял твердое решение (правда, не в первый раз, но в данном случае, надеюсь, окончательное) никогда более не переделывать настоящую статью. В этой

связи те, кто захочет ознакомиться с ней через несколько лет, могут прочесть заглавие так: «Какие проблемы физики и астрофизики представлялись особенно важными и интересными в 1985—1990-х?». Разумеется, в каждый данный момент интереснее всего то, что загадочно и находится в центре внимания именно в этот момент. Но все течет и эволюция наших взглядов со временем тоже достаточно любопытна и поучительна. Поэтому я все же надеюсь, что «время жизни» статьи окажется не столь уж коротким.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

В тексте статьи было затронуто так много вопросов, что любая попытка снабдить статью сколько-нибудь подробной библиографией была бы совершенно нереальной. Тем не менее в предыдущем издании (1985 г.; выше цитировалось как [1]) были даны ссылки на несколько сотен статей и книг, опубликованных до 1985 г. Разумеется, эта литература частично может быть использована и сейчас. Вместе с тем по причинам, указанным в предисловии к статье, в настоящем издании количество ссылок сильно сокращено.

1. Гинзбург В.Л. Теоретическая физика и астрофизика. — М.: Наука, 1987.
2. Хеглер М., Кристиансен М. Введение в управляемый термоядерный синтез. М.: Мир, 1980; Parker R.R. *e.a.* // Nuclear Fusion. — 1989. — V. 29, N 3. — P. 489; Pease R.S. // Nature. — 1990. — V. 345. — P. 474; Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная и ядерная физика Ч. 2, § 98. — М.: Наука, 1989.
3. Cohen J.S., Davies J.D. // Nature. — 1989. — V. 338. — P. 705.
4. Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости / Под ред. В.Л. Гинзбурга и Д.А. Киржница. — М.: Наука, 1977; см. также Природа. — 1987. — N 7. — С. 16.
5. Superconductivity, Superdiamagnetism, Superfluidity / Ed. by V.L. Ginzburg. — Moscow: Mir Publishers, 1987.
6. Ginzburg V.L. Progress in Low Temperature Physics / Ed. D.R. Brewer. — 1989. — V. 12. — P. 1; Высокотемпературная сверхпроводимость. — 1990. — N 1. — с. 7.
7. Bednorz J.G., Müller K.A. // Zs. f. Physik B (Condensed Matter). — 1986. — V. 64. — P. 189.
8. Шаплыгин И.С., Кахан Б.Г., Лазарев В.Б. // Журн. неорганической химии — 1979. — Т. 24 — С. 1478.
9. Головашкин А.И. // УФН. — 1987. — Т. 152. — С. 553.
10. High Temperature Superconductivity / Ed. J.W. Lynn. — Berlin; Springer-Verlag, 1990; Physical properties of high-temperature superconductors / Ed. D.M. Ginsberg. — Singapore; World Scientific, 1989, 1990. — V. I, II; Гинзбург В.Л. // УФН. — 1991. — Т. 161, N 4.
11. Горбачевич А.А. // ЖЭТФ. — 1989. — Т. 95. — С. 1467.
12. Steinhardt P.J. // Science. — 1987.—V. 238. —P. 1242; 1990.—V. 247. —P. 1020.
13. Cohen M.L. // Nature. — 1989. — V. 338. — P. 291.
14. Hansma P.K., Elings V.B. *e.a.* // Science. — 1988. — V. 242. — P. 209.
15. Электронно-дырочная жидкость в полупроводниках. — М.; Наука, 1988.
16. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.V. Статистическая физика. — М.: Наука, 1976. — Ч. I, гл. 14.
17. Levell Sengers J.M.H. // Physica. — 1976. — V. 82A. — P. 319.
18. Гинзбург В.Л., Собянин А.А. // УФН. — 1988. — Т. 154. — С. 545; см. также [5].
19. Гинзбург В.Л., Леванюк А.П., Собянин А.А. // УФН. — 1980. — Т. 130. — С. 615; Phys. Rep. — 1980. — V. 47. — P. 151; Рассеяние света вблизи точек фазовых переходов / Под ред. Г.З. Камминза и А.П. Леванюка. — М.: Наука, 1990.
20. Сверхтекучесть гелия-3; Сб. статей. — М.: Мир, 1977; Квантовые жидкости и кристаллы: Сб. статей. — М.: Мир, 1979; Минаев В.П. УФН. — 1983. — Т. 139. — С. 303; Dobbs E.R. // Contemp. Phys. — 1983. — V. 24. — P. 389; Lounasmaa O.V., Pickett G. // Sci. Amer. — 1990. — V. 262, N 6. — P. 64; Thuneberg E. V., Pekola J.P. // Europhysics News. — 1991. — V. 22. — P. 3.

21. *Silvern I. F.* // Physica. — 1982. — V. 109—110 B. — P. 1499; *Helv. Phys. Acta.* — 1983. — V. 56. — P. 3; *Sprink R., Walraven J., Silvera I.* // Phys. Rev. Lett. — 1983. — V. 51. — P. 479; *Сильвера И.Ф., Валравен Ю.* // УФН. — 1983. — Т. 130. — С. 701.
22. *Гинзбург В.Л., Собянин А.А.* // Письма в ЖЭТФ. — 1972. — Т. 15. — С. 343; *Акуличев В.А., Буланов В.А.* // ЖЭТФ. — 1973. — Е. 65. — С. 668; *Акуст. журн.* — 1974. — Т. 20. — С. 817; *Maris H.J., Seidel G.M., Huber T.E.* // J. Low-Temp. Phys. — 1983. — V. 51. — P. 471.
23. Квантовые кристаллы: Сб. статей. — М.: Мир, 1975.
24. *Белинцев Б.Н.* // УФН. — 1983. — Т. 141. — С. 55.
25. *Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э.* Теория колебаний. — М.: Физматгиз, 1959. Это — второе издание, которое содержит ряд дополнений; первое издание вышло в 1937 г. и было без изменений переиздано в 1981 г. (М.: Наука).
- 26а. *Рабинович М.И., Трубецков Д.И.* Введение в теорию колебаний и волн.— М., Наука. 1984; см. также УФН. — 1990. — Т. 160, N 1. — С. 3.
- 26б. *Заславский Г.М., Сагдеев Р.З.* Введение в нелинейную физику. — М.: Наука, 1988.
27. *Arntbruster R., Münzenberg G.* // Sci. Amer. — 1989. — V. 260, N 5. — P. 36.
28. *Перелыгин В.П., Стеценко С.П.* // Письма в ЖЭТФ. — 1980. — Т. 32. С. 622.
29. *Слив Л.А.* // УФН. — 1981. — Т. 133. — С. 337.
30. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1966. —Т. 2. —С. 406.
- 31а. *Комар А.А.* Кварки — новые субъединицы материи. — М.: Знание, 1982.
- 31б. *Окунь Л.Б.* Физика элементарных частиц. — М.: Наука, 1984; УФН. — 1987. — Т. 151. — С. 469.
- 31в. *Окунь Л.Б.* Лептоны и кварки. — М.: Наука, 1990.
32. *Гейзенберг В.* // УФН. — 1977. — Т. 121. — С. 657.
33. *Drell S.D.* // Physics Today. — 1978. — V. 31, N 6. — P. 23; *Намбу Й.* // УФН. — 1978. — Т. 124. — С. 147.
34. *Sachs R.G.* // Science. — 1972. — V. 176. — P. 587.
35. *Янг Ч.* // УФН. — 1980. — Т. 132. — С. 169.
36. *Pais A.* // Rev. Mod. Phys. — 1979. — V. 51. — P. 861.
37. *Pais A.* Suble is the Lord ... The Science and Life of Albert Einstein. — Oxford Univ. Press, 1982 (рус. пер. *Пайс А.* Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. — М.: Наука, 1989).
38. *Вейнберг С, Глэшоу Ш., Салам А.* // УФН. — 1980. — Т. 132. — С. 201, 219, 229.
39. *Πiopoulos J.* // Contemp. Phys. — 1980. — V. 21. — P. 159; *Hoofit G.* // Scient. Amer. — 1980. — V. 242, N 6. — P. 90.
40. *Киржениц Д.А.* // УФН. — 1978. — 125. — С. 169.
41. *Hartle J.B.* Excess Bagage. — Preprint, 1989 (статья, видимо, будет опубликована в сборнике, посвященном 60-летию М. Гелл-Манна); см. также *Vilenkin A.* // Phys. Rev. — 1989. — V. D39. — P. 1116.
42. *Коулмен С.* // УФН. — 1984. — Т. 144. — С. 277.
43. *Vilenkin A.* Quantum Gravity and Cosmology / Ed. H. Sato, T. Inami. — World Scientific, 1986; *Nature.* — 1987. — V. 326. — P. 772.
44. *Гинзбург В.Л., Муханов В.Ф., Фролов В.П.* // ЖЭТФ. — 1988. — Т. 94. — С. 1.
45. *Schwarz J.H.* // Physics Today. — 1987. — V. 40, N 11. — P. 33; см. также УФН. — 1986. Т. 150. — С. 561, 577, 579. Природа. — 1990. — N 1. — С. 93.
46. *Ефремов А.В.* // Природа. — 1989. — N 6. — С. 31; см. также Природа. — 1989. — N 5. — С. 64, 69.
47. *Риман Б.* О гипотезах, лежащих в основе геометрии; Сочинения. — М.: Гостехиздат, 1948. — С. 279.
48. *Эйнштейн А.* Собр. научных трудов. — М.: Наука, 1966. — Т. 2. — С. 88.
49. *Горелик Г.Е.* Размерность пространства. — М.: Изд-во МГУ, 1983.
50. *Дрелл С.* // УФН. — 1980. — Т. 130. — С. 507.

51. *Никольский С.И.* // Вестн. АН СССР. — 1984. — N 8. — С. 108.
52. *Дорман И.В.* Космические лучи, ускорители и новые частицы. — М.: Наука, 1989.
53. *Фейнберг Е.Л.* // УФН. — 1983. — Т. 139. — С. 3.
54. *Фитч В.Л., Кронин Дж.В.* // УФН. — 1981. — Т. 135. — С. 185, 195.
55. *Эйнштейн А.* Собр. научных трудов. — М.: Наука, 1965 — Т. 1. С. 682.
56. *Гинзбург В.Л., Фролов В.П.* // УФН. — 1987. — Т. 153. — С. 537.
57. *Fulamase T., Kei-ichi Maeda* // Phys. Rev. — 1989. — V. D39. — P. 399.
58. *Линде А.Д.* // УФН. — 1984. — Т. 144. — С 177; *Линде А.Д.* Физика элементарных частиц и инфляционная космология. — М.: Наука, 1990.
59. *Гинзбург В. Д., Манько В. И.* // Физика элементар. частиц и атом, ядра. — 1976. — Т. 7. вып. 1. — С. 3.
60. *Дайсон Ф.* // УФН. — 1971. — Т. 103. — С. 529 (Physics Today. — 1970. — V. 23, N 9. — P. 23).
61. *Гинзбург В.Л.* // УФН. — 1979. — Т. 128. — С. 435 (статья помещена также в сб.: *Гинзбург В.Л.* О теории относительности. — М.: Наука, 1979).
62. *Уилл К.* Теория и эксперимент в гравитационной физике. — М.: Энерго-атомиздат, 1985.
63. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. Т. II. Теория поля. — М.: Наука, 1988.
64. *Эйнштейн А.* Собр. научных трудов. — М.: Наука, 1965. — Т. I. — С. 631.
65. *Thorn K.S.* Gravitational radiation // 300 Years of Gravitation / Ed. S.W. Hawking, W. Israel. — Cambridge: Cambr. Univ. Press, 1988.
66. *Брагинский В.Б.* // УФН., — 1988. Т. 156. — С. 93; *Гришук Л.П.* // Там же. — С. 297; см. также Вестн. АН СССР. — 1988. — N 9. — С. 57; *Eichler D. e.a.* // Nature. — 1989. — V. 340. — P. 126.
67. *Новиков И.Д.* Эволюция Вселенной. — М.: Наука, 1983.
68. *Эйнштейн А.* Собр научных трудов. — М.: Наука, 1965. — Т. I. — С. 601.
69. *Пайнс Д.* // УФН. — 1980. — Т. 131. — С. 479.
70. *Бескин В. С., Гуревич А.В. Истомин Я.Н.* // УФН. — 1986. — Т. 150. — С. 257; Astrophys. and Space Sci. — 1988. V. 146. P. 205.
71. *Имшеник В.С., Надеждин Д.К.* // УФН. — 1988. — Т. 156. — С. 561; *Моррисон Д.Р.О.* // УФН. — 1988. — Т. 156. — С. 719.
72. *Новиков И.Д., Фролов В.П.* Физика черных дыр. — М.: Наука, 1986.
73. *Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.* Строение и эволюция Вселенной. — М.: Наука, 1975,
74. *Гинзбург В.Л.* // УФН. — 1956. — Т. 59. — С. 11.
75. *Hawkins S.W.* // Nature. — 1974. — V. 248. — P. 30
76. *Dyson F.J.* // Rev. Mod. Phys. — 1979. — V. 51. — P. 447.
77. *Гинзбург В.Л.* // Письма в ЖЭТФ. — 1975, — Т. 22. — С. 514; *Гинзбург В.Л., Фролов В.П.* // Письма в «Астрон. журн.» — 1976. — Т. 2. — С 474.
78. *Ginzburg V.L., Ozernoy L.M.* // Astrophys. and Space Sci.— 1977. — V. 48. — P. 401.
79. *Rees M.J.* // Contemp. Phys. — 1980. — V. 21. — P. 99.
80. *Beresinsky V.S., Ginzburg V.L.* // Mon. Not. RAS. — 1981. — V. 194. — P. 3; *Shapiro I.M., Silberberg R.* // Space Sci. Rev — 1983 — V 36. — P. 51.
81. *Вайнберг С.* Первые три минуты. — М.: Энергоиздат, 1981.
82. *Peebles P.J.E., Silk J.* // Nature. — 1988. — V. 335. — P. 601.
83. *Oort J.H.* // Astrophys. J. — 1940. — V. 91. — P. 273; см. также Science. — 1983. — V. 220. — P. 1233, 1339.
84. *Harari H.* // Phys. Lett. — 1989. — V. 216B.— P. 413; *Sciama D.* // Nature — 1990. — V. 348. — P. 617.
85. *Milgrom M.* // Astrop. J. — 1983. — V. 270. — P 365, 371, 384.
86. *Jeanes J.H.* Astronomy and Cosmogony. — Cambridge: Cambr. Univ. Press, 1928. — P. 352.

87. Амбарцумян В.А. // УФН. — 1968. — Т. 96. — С 3 (см. также Вопр. философии. — 1973. — N 3. — С. 91).
88. Астрофизика космических лучей / Под ред. В.Л. Гинзбурга. — М.: Наука, 1990.
89. Гинзбург В.Л. // УФН. — 1988. — Т. 155. — С. 185.
90. Гинзбург В.Л., Догель В.А. // УФН. — 1989. — Т. 158. — С. 3; Space Sci. Rev. — 1989. — V. 49. — P. 311.
91. Koyama K., Awaki H. e.a. // Nature. — 1989. — V. 339. — P. 603.
92. Morrison Ph. // Nuovo Cimento. — 1958. — V. 7. — P. 858.
93. Klebesadel R.W., Strong I.B., Olsen R.A. // Astrophys. J. (Lett.). — 1973. — V. 182. — P. 185. (см. также другие ссылки в [I]).
94. Домогацкий Г.В., Комар А.А., Чудаков А.Е. // Природа. — 1989. — N 3. — С. 22.
95. Bakich A.M. // Space Sci. Rev. — 1989. — V. 49. — P. 259; ¹ // Rep. Prog. Phys. — 1989. — V. 52. — P. 1421.
96. Bartlett A.A. // Amer. J. Phys. — 1978. — V. 46. — P. 876.
97. Chardin G., Gerbier G. // Astron. and Astrophys. — 1989. — V. 210. — P. 52; см. также Phys. Rev. Lett. — 1989. — V. 63. — P. 1121.
98. Barrow J.D. // J. Astron. Soc. — 1988. — V. 29. — P. 101.
99. Козик В.С. и др. // Ядер, физика. — 1980. — Т. 32. — С. 301; Любимов В.А. и др. // ЖЭТФ. 1981. — Т. 81. — С. 1158.
100. Горячие точки космологии // Природа. — 1989. — N 7. С. 3.
101. Ashcroft N.W. // Nature. — 1989. — V. 340. — P. 345.
102. Ellis J. // Nature. — 1989. — V. 340. — P. 277.
103. Bouquet A., Kaplan J., Martin F. // Astron. Astrophys. — 1989. — V. 222. — P. 103.
104. Вайнберг С. // УФН. — 1989. — Т. 158. — С 639; Rev. Mod. Phys. — 1989. — V. 61. — P. 1.
105. Царев В.А. // УФН. — 1990. — Т. 160, N 11. — С 1.
106. Головин И.Н. // Физика плазмы. — 1990. — Т. 16. — С. 1397.
107. Liu A.Y., Cohen M.L. // Science. — 1989. — V. 245. — P. 841.
108. Physics of Low-dimensional Systems // Physica Scripta. — 1989. — V. T27.
109. Di Leila L. // Europhysics News. — 1990. — V. 21. — P. 203.
110. Decamp D. e.a. // Phys. Lett. B. — 1990. — V. 241. — P. 141.
111. Abrams G.S. e.a. // Phys. Rew. Lett. — 1989. — V. 63. — P. 724; см. Также Nature. — 1989. — V. 340. — P. 677.
112. Miller D.J. // Nature. — 1991. — V. 349. — P. 379.
113. Mansfield P. // Rep. Prog. Phys. — 1990. — V. 53. — P. 1183.
114. Luminet J.P. // Europhysics News. — 1990. — V. 21. — P. 143; Rees M.J. // Sci. Amer. — 1990. — V. 263, N 5. — P. 26.
115. Snowden Ifft e.a. // Astrophys. J. — 1990. — V. 364. — P. L25; Bonometto e.a. // Phys. Lett. — 1989. — V. B222. — P. 433; Carr B., Primack J. // Nature. — 1990. — V. 345. — P. 478.
116. Panacall J.N. // Sci. Amer. — 1990. — V. 262, N. 5, — P. 26; Волффенштейн Л., Бейер Ю.У. // УФН. — 1990. — Т. 160, N 10. — С. 155.
117. Смирнов Б.М. // УФН. — 1990. Т. 160, N 4. — С. 1.
118. Schramm D.N., Truran J.M. // Phys. Rep. — 1990. — V. 189. — P. 89.
119. Gaisser T.K. // Science. — 1990. — V. 247. — P. 1049.
120. Will C.W. // Sky and Telescope. — 1990. — V. 80. — P. 472.
121. Omnes R. // Ann. of Phys. — 1990. — V. 201. — P. 354.
122. Robertson D.S. e.a. // Nature. — 1991. — V. 349. — P. 768.

¹Hillebrandt W., Höflich P.

II

КАК РАЗВИВАЕТСЯ НАУКА?

Замечания по поводу книги Т. Куна «Структура научных революций»¹.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Наблюдающееся в наше время значительное повышение роли науки и внимания к ней породило появление «науки о науке» (науковедения) и стимулировало новые исследования в области истории и методологии науки. В результате образовалось или, во всяком случае, сильно расширилось и укрепилось научное сообщество (об этом термине речь еще пойдет ниже) науковедов и историков науки. Это сообщество выработало свой язык, имеет свои журналы, проводит свои конференции и симпозиумы. Вместе с тем несомненно, что науковедение и история науки, подобно художественной литературе и в отличие от естественных наук, в особенно заметной мере должны быть обращены во вне — рассчитаны не только на специалистов, но, если угодно, и на «потребителя».

Художественная литература, которую читают только литературоведы, это не «большая» литература. И читатели, даже весьма далекие от литературоведческих кругов, имеют право судить о художественной литературе, причем их мнение является вполне существенным. Аналогично физик или астроном имеют право голоса при обсуждении книг по истории науки и науковедению, в то время как высказывания неспециалистов о физике и астрономии в большинстве случаев вызывают лишь сожаление или раздражение со стороны профессионалов. Впрочем, весьма вероятно, что нижеследующие замечания вызовут у историков науки такую же реакцию. Тем не менее в силу изложенного мне показалось допустимым в ответ на предложение редакции журнала «Природа» высказаться по поводу книги Т. Куна «Структура научных революций», вышедшей в 1975 г. в русском переводе.

Выбор именно этой книги для дискуссии о развитии науки представляется, по-видимому, удачным. Действительно, в содержательном послесловии к русскому переводу, написанном С. Р. Микулинским и Л. А. Марковой, книга Т. Куна характеризуется как «самая известная из всех работ по истории науки, вышедших на Западе в последние десятилетия» и сообщается, что она «вызвала огромный интерес не только историков науки, но также философов, социологов, психологов, изучающих научное творчество, и многих естествоиспытателей различных стран мира» (с. 265). Сам Т. Кун также явно высокого мнения о своем сочинении и его значении, причем такое впечатление возникает отнюдь не только в силу не принятого в научной литературе на русском языке, но обычного в США бесконечного употребления автором личных местоимений («я», «мне», «меня» и т.п.) и выражения благодарности родителям, жене и детям.

Итак, речь идет о книге, претендующей на многое, что является очень хорошим раздражителем для критики. Ниже мы попытаемся оценить степень оригинальности и глубины

¹Кун Т. Структура научных революций: Пер. с англ. / Общ. ред. и послесл. С. Р. Микулинского и Л.А. Марковой. — М.: Прогресс, 1975.

труда Т. Куна¹, а также сделаем несколько замечаний по существу вопросов, связанных с проблемой развития науки.

§ 1. О содержании книги Т. Куна

«Не зная законов языка ирокезского, можешь ли ты делать такое суждение по сему предмету, которое не было бы неосновательно и глупо?» — этот афоризм Козьмы Прутова, который любил повторять Л.Д. Ландау, часто всплывал в памяти, когда я читал книгу Т. Куна и писал настоящую статью. В данный момент, правда, имеется в виду совсем невинная сторона дела — нельзя дать какую-то оценку книги, хотя бы кратко не резюмировав ее содержания.

Научное сообщество, парадигма, нормальная наука, решение головоломок, аномалия, экстраординарное исследование, кризис в науке, научная революция — таковы излюбленные Т. Куном термины, образующие с соответствующими пояснениями как бы скелет книги. «Научное сообщество состоит из исследователей с определенной научной специальностью» (с. 222; здесь и ниже указываются страницы книги Т. Куна). Достаточно уже этого определения, подкрепляемого многими справедливыми пояснениями и замечаниями, чтобы понять: речь идет о всем известном факте существования научных специализаций, как широких (математики, физики, астрономы), так и более частных (геометры, физики-теоретики, радиофизики, радиоастрономы и т.п.).

Более оригинален, но менее ясен и определен термин «парадигма». В дополнении, написанном в 1969 г., сам автор сообщает, что «один благосклонный читатель... сделал вывод», что термин «парадигма» употребляется в основном тексте книги «двадцатью двумя различными способами» (с. 228). В общем, парадигма — это «принятая модель или образец» (с. 42), или «совокупность убеждений, ценностей, технических средств и т.д., которая характерна для членов данного сообщества» (с. 220).

В дополнении (с. 236) автор отмечает также, что «парадигма как общепринятый образец составляет центральный элемент того, что я теперь считаю самым новым и в наименьшей мере понятым аспектом данной книги». Понять и использовать этот «элемент» не формально, а как нечто полезное действительно нелегко, если парадигмой называют и образцы спряжения латинских глаголов (с. 42), и великие научные теории типа классической механики, теории относительности или квантовой механики.

Те исследования, которые представители научного сообщества ведут на базе (или в рамках) данной парадигмы, именуются «нормальной наукой». По утверждению автора, «цель нормальной науки ни в коей мере не требует предсказания новых видов явлений... ученые в русле нормальной науки не ставят себе цели создания новых теорий, обычно к тому же они нетерпимы и к созданию таких теорий другими» (с. 43). Понимая вместе с тем, что и при заданной парадигме развитие науки отнюдь не представляет собой скольжение по гладкому льду, Т. Кун относит к нормальной науке «решение головоломок», т.е. трудных задач, но заведомо разрешимых (если правильна принятая парадигма).

Но вот встречается задача, исследование которой не укладывается на прокрустово ложе парадигмы, и тогда возникает «аномалия». Ее осознание заключается «в установлении того факта, что природа каким-то образом нарушила навеянные парадигмой ожидания»

¹Во избежание недоразумений необходимо подчеркнуть, что речь идет не более чем об оценке (мнении, впечатлении) со стороны одного из «потребителей» — члена научного сообщества физиков, а не о попытке детального критического анализа книги Т. Куна и его взглядов в целом. В последнем случае необходимо было бы познакомиться как с рядом статей Т. Куна, так и с довольно обширной литературой, цитируемой в обсуждаемой книге (в том числе в послесловии) и, например, в одновременно появившейся на русском языке книге: *Мамчур Е.А. Проблема выбора теории.* — М.: Наука, 1975 (см. также рецензию на эту книгу в журнале «Природа», 1976, N 5).

(с. 78). Исследование аномалий перерастает в кризис, «т.е. общее сознание, что что-то происходит не так» (с. 227). Реакцией на кризис является появление новых теорий, новых представлений и в конечном счете создание (формирование) новой парадигмы. Исследования (разумеется, лишь некоторые из них) в период кризиса именуются экстраординарными, а «некумулятивные эпизоды развития науки, во время которых старая парадигма замещается целиком или частично новой парадигмой, несовместимой со старой» (с. 123), как раз и называются научными революциями. Последние пять (из тринадцати) разделов книги посвящены различным комментариям на тему о научных революциях. Здесь несколько поражает раздел X «Революции как изменение взгляда на мир». Казалось бы, заглавие говорит за себя, но, оказывается, «историк может поддаться искушению и сказать, что, когда парадигмы меняются, вместе с ними меняется сам мир». С такой солипсической идеей автор, видимо, не согласен, но его философская позиция в целом не представляется ясной и скорее всего близка к агностицизму (см. ниже).

Сказанным придется ограничиться, и, разумеется, никакое краткое изложение или резюме не может заменить чтения книги. Но в надежде, что ее структура и идея отражены выше правильно, мы уже можем перейти к некоторым оценкам.

§ 2. Общая оценка

Если не касаться вопросов терминологии, то основная идея книги сводится к утверждению о смене периодов медленного, эволюционного и, так сказать, непринципиального развития науки периодами кризиса и более или менее резкого перехода (научной революции) к новым теориям и представлениям. Как это общее положение, так и некоторые другие, частично ясные из сказанного, могут в настоящее время считаться совершенно общеизвестными. Коротко говоря, если речь идет о принципах и основных идеях, содержащихся в книге, то те из них, которые верны, представителям научного сообщества, скажем физиков, достаточно давно и хорошо известны. Такое утверждение нельзя, впрочем, рассматривать как упрек, ибо неправомерно требовать даже от очень хороших книг, чтобы они открывали новую эпоху и провозглашали переворот в соответствующей области. И если это замечание все же сделано и звучит как упрек, то в связи с той крайне высокой оценкой, которая дается книге, а также со словами о «революции в историографии науки» (с. 18), видимо, отражающими мнение автора о своей деятельности (впрочем, он ссылается в качестве предшественника, например, на А. Койре).

Возникает, между прочим, вопрос, почему же то, что мы считаем общеизвестным, автор рассматривает как новое. Ответ, как можно думать, весьма прост. Точку зрения как свою, так и некоторых предшественников и единомышленников автор противопоставляет учебникам и другой литературе, с которой знакомился в 1945—1947 гг. (см. предисловие к книге). Очевидно, речь идет о книгах, написанных до второй мировой войны, а частично и в первую четверть нашего века. Но за 50—60 лет при экспоненциальном развитии науки ее «продукт» увеличивается раз в пятьдесят, а в некоторых областях и еще больше (см. ниже). В соответствии с этим, если бы мы стали знакомиться с физикой по материалам такой давности, то не смогли бы составить никакого представления о ее теперешнем состоянии. И относится это не только к фактам, но и к глубокому проникновению диалектического подхода, идей развития во все поры научного здания. В начале же века, как мы все знаем, картина была совсем иной. Коротко говоря, идеи, пропагандируемые Т. Куном, когда-то действительно были новыми, но не являются таковыми для естествоиспытателей нашего и даже предшествующего поколений.

История науки отстает от самой науки, и, видимо, и в 1962 г., когда появилась книга Т. Куна, некоторым историкам она показалась все же новым словом в наукознании. Успеху могли способствовать и сравнительная краткость книги, четкость построения, возможно,

и новая терминология. Кроме того, ряд сделанных Т. Куном замечаний и наблюдений, безусловно, правилен и интересен. Поэтому, если бы сказанным дело и ограничивалось, нам оставалось бы, спустив книгу с пьедестала, похвалить ее за удачное освещение некоторых аспектов развития науки. Но в этом случае настоящая статья не была бы, вероятно, вообще написана, так как к ее подлинной цели мы только теперь подошли. Именно, по моему мнению, позиция Т. Куна обладает некоторыми недостатками фундаментального характера, о которых интересно поговорить и поспорить. Эти недостатки:

- непонимание принципа соответствия и, конкретно, соотношения между старыми и новыми теориями принципиального значения;
- отсутствие в ряде случаев подлинного историзма или, если угодно, непонимание неоднородности развития науки;
- отсутствие того понимания настоящего и устремления в будущее, которого мы вправе ожидать от глубоких исследований в области общей истории и методологии науки.

§ 3. О принципе соответствия и о возможной законченности теории в области ее применимости

Одним из важнейших методологических завоеваний науки нашего века является понимание принципа соответствия в широком смысле слова. На эту тему немало написано, а здесь не место касаться принципа соответствия в целом. Ограничимся поэтому вполне конкретным примером, который для дальнейшего особенно важен.

Классическая (ньютоновская) механика представляет собой в известном отношении законченную и замкнутую (полную) физическую теорию¹. Практически до начала XX в. эта теория считалась замкнутой в буквальном смысле слова и рассматривалась в качестве подлинной базы естествознания. (Такая база в отличие от законов спряжения глаголов, возможно, и на самом деле заслуживает специального термина вроде «парадигмы».) Как известно, оказалось, что в действительности классическая механика имеет ограниченную область применимости и, конкретно, верна лишь при пренебрежении релятивистскими эффектами (величины порядка v^2/c^2 и φ/c^2 , где v — скорость тела, φ — ньютоновский гравитационный потенциал и $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с — скорость света в вакууме) и квантово-механическими явлениями, которыми можно, вообще говоря, пренебречь лишь в случае малости отношения λ/L , где $\lambda = h/(mv)$ — дебройлевская длина волны ($h = 6,626176 \cdot 10^{27}$ эрг · с — постоянная Планка, m — масса частицы) и L — характерный размер «системы» (Солнечной системы, молекулы и т.п.).

По канонам метафизической, недиалектической науки это значит, что классическая механика ошибочна, неверна, ибо не абсолютно точна. Правильное понимание соотношения между абсолютным и относительным, напротив, не только не дает никаких оснований провозглашать классическую механику ошибочной, но и позволяет считать ее совершенно справедливой, однако лишь в некоторой области применимости, а не абсолютно. То же можно сказать и о теории относительности и квантовой механике, содержащих классическую механику в качестве некоторого предельного частного случая, но в свою очередь

¹Здесь, правда, нужны были бы некоторые оговорки, касающиеся, например, предположения о существовании инерциальных систем отсчета. Но для дальнейшего это не существенно (см., например: Гинзбург В.Л. Гелиоцентрическая система и общая теория относительности. // Вопросы философии. — 1973. — № 6. — С. 111; № 9 — С. 95; Эйнштейновский сборник, 1973. — М.: Наука, 1974. — С. 19; О теории относительности: Сборник статей. — М.: Наука, 1979. — С. 7).

имеющих небезграничную область применимости (например, нерелятивистская квантовая механика пригодна лишь при пренебрежении релятивистскими эффектами).

Логически возможно, что классическая механика ограничена не только, так сказать, с релятивистской и квантовой сторон, но и еще в каких-то отношениях (например, для очень больших масс). Но логически столь же возможно, а практически крайне вероятно (во всяком случае, так оценивает ситуацию большинство физиков), что никаких других существенных ограничений области применимости классической механики не существует, т.е. она замкнута в ее уже известной области применимости¹. Так или иначе, даже независимо от того, полностью или неполностью мы уже сейчас знаем границы применимости классической механики, в некоторой области (и практически заведомо весьма широкой области) эта теория верна. Наличие границ применимости, т.е. известная приближенность теории, ни в коей мере не идентично ее ошибочности. Противоположное мнение вообще ведет к абсурду — признанию ошибочности любой естественнонаучной теории, поскольку ни одна не может претендовать на какую-то беспредельную и абсолютную точность и справедливость.

К этому нужно добавить, что далеко не все научные теории и представления, особенно в прошлом, обладали такими качествами, как классическая механика, т.е. сохраняли свое значение и свой фундамент и при дальнейшем развитии науки. Например, античная (аристотелева) механика, хотя и весьма схематически, на современном языке может быть сведена к утверждению, что скорость тела пропорциональна действующей на него силе. Фактически же (и в этом состоит одно из основных положений механики Галилея — Ньютона) силе пропорционально ускорение тела, а не его скорость. Поэтому в отношении античной механики действительно можно сказать, что она была ошибочна. Можно это сказать и в отношении представлений о флогистоне и теплороде, ибо таких субстанций в природе просто-напросто не существует.

Сказанное вовсе не означает отрицания научной ценности для своего времени античной механики и теорий теплорода и флогистона. Соответствующие представления были научными (в отличие, скажем, от лженауки типа астрологии), но оказались лишь вехами на пути к осознанию и формулированию достаточно полно и точно отражающих реальность физических представлений и законов. Можно, конечно, пуститься в рассуждения о том, где начинается ошибочность и где кончается ограниченная область применимости, но этим не место заниматься в настоящей статье, да и приведенные примеры достаточно ясны в этом отношении (по крайней мере для тех, кто знает фактическую сторону дела, т.е., например, разницу между кинетической теорией тепла и представлением о теплороде).

Все вышеизложенное в настоящем параграфе представляется азбучными истинами, если не для всех без исключения физиков (их ведь сейчас многие тысячи, а в семье не без урода), то во всяком случае для современного научного сообщества физиков в целом. Но пришлось эти истины сформулировать, ибо, к большому удивлению, признаюсь, я обнаружил, что Т. Кун придерживается совсем другой точки зрения. Говоря о механике Ньютона и о теории относительности Эйнштейна, он замечает, что «с точки зрения настоящей работы эти две теории совершенно несовместимы... Теория Эйнштейна может быть принята только в случае признания того, что теория Ньютона ошибочна» (с. 131).

Признавая, что сторонники подобного мнения находятся в меньшинстве, автор довольно точно освещает мнение большинства (т.е. мнение, изложенное нами выше), связывая его почему-то с логическим позитивизмом. Затем в качестве опровержения мнения большинства Т. Кун ссылается на то, что признание преемственности научных теорий, в смысле, поясненном выше на примере классической механики (в этом и состоит принцип соответ-

¹Несколько подробнее на эту тему см.: *Гинзбург В.Л.* Новые физические законы и астрономия. // Вопросы философии. — 1972. — N 11. — С. 14; *Ginzburg V.L.* Does Astronomy Need New Physics. // *Quart. J. Roy. Astron. Soc.* — 1975 — V. 16. — P. 265 (см. с. 156 настоящей книги).

ствия), будто бы равнозначно утверждению о справедливости любой научной теории или гипотезы, которая хотя бы в каком-то отношении для какого-то круга явлений была справедлива. В качестве примера приводится теория флогистона, которая не противоречила ряду фактов. Значит, если признать справедливость классической механики в некоторой области, то почему же не признать и правильность теории флогистона? О таком же «пустяке», что никакого флогистона вообще в природе не существует, Т. Кун решил забыть. Впрочем, дело, конечно, не в забывчивости. Дело в сомнениях в существовании у естественнонаучного исследования цели — познания природы: «Мы слишком привыкли рассматривать науку как предприятие, которое постоянно приближается все ближе и ближе к некоторой цели, заранее установленной природой. Но необходима ли подобная цель?» (с. 215). «Часто приходится слышать, что следующие друг за другом теории всегда все больше и больше приближаются к истине... Возможно, что есть какой-то путь спасения понятия «истины» для применения его к целым теориям, но во всяком случае не такой, какой мы только что упомянули» (с. 259).

Если не считать, что последующие научные теории приближаются к истине, и вообще сомневаться в самом существовании «истины» и законности термина «реально существуют» (с. 259, 260), то теорию флогистона, возможно, действительно допустимо поставить в один ранг с классической механикой и считать их в равной мере ошибочными или, напротив, правильными. Те же, для кого подобная точка зрения совершенно неприемлема (к ним относится и автор настоящей статьи), имеют все основания считать изложенную позицию Т. Куна не выдерживающей критики.

§ 4. Элементы антиисторизма

В книге Т. Куна прослеживаются и обсуждаются общие черты в развитии науки с особым упором на научные революции и их структуру. Речь, таким образом, идет о закономерностях развития в применении к науке. Несомненно, во всех научных революциях есть нечто общее, но не менее важны и значительны различия между ними. Да, собственно, если общие законы развития уже известны, а сейчас это так, то именно конкретный анализ разницы между отдельными типами научных революций, а также конкретными революциями и составляет основную задачу исследования. Между тем у Т. Куна все научные революции на одно лицо, и, более того, практически любое более или менее резкое изменение ситуации в науке может быть названо революцией: «Для меня революция представляет собой вид изменения, включающий определенный вид реконструкции предписаний, которыми руководствуется группа. Но оно не обязательно должно быть большим изменением или казаться революционным тем, кто находится вне отдельного (замкнутого) сообщества, состоящего, быть может, не более чем из 25 человек» (с. 227). Если с такими же критериями подходить к изменениям в общественной жизни, то революцией можно называть не только любой дворцовый переворот, но и значительную реорганизацию любого учреждения, насчитывающего, быть может, не более 25 сотрудников. Главное же, может создаться впечатление, что нет глубокого различия между разными подлинными научными революциями, связанными, скажем, в физике с изобретением рычага и колеса, с введением представлений о шарообразности Земли и о ее движении (как по орбите вокруг Солнца, так и вращении вокруг оси), с переходом от античной к ньютоновской механике, с созданием теории относительности и квантовой теории и т.д. Не будем здесь подробнее останавливаться на этом вопросе (см., впрочем, ниже), тем более что Б.М. Кедров справедливо подчеркнул и проиллюстрировал на конкретном материале этот же момент¹. К тому же и сказанного достаточно, чтобы сделать вывод о наличии элементов антиисторизма в книге Т. Куна.

¹См.: Кедров Б.М. О научных революциях // Наука и жизнь. — 1975. N 10—12.

Такой вывод нельзя оспорить ссылкой на неправомотность критики авторов книг за то, чего они не написали (тем более что «опять скажу: никто не обнимет необъятного!» — К. Прутков). Но мы и не отрицаем допустимости ограничиться в сравнительно небольшом по объему труде лишь одной стороной проблемы, в данном случае обсуждением черт, общих для всех научных революций. Однако хотя бы одна страница из 250 должна же содержать пусть лишь упоминание о другой стороне той же проблемы (мы уже не говорим о том, что эта сторона — нетождественность характера и типа разных подлинных научных революций — представляется и менее тривиальной, и более актуальной). То же самое можно сказать об отсутствии в книге упоминания об экспоненциальном законе роста науки и некоторых других моментах, затронутых ниже.

Прежде чем перейти к этим вопросам, сделаем, однако, еще одно замечание, касающееся типа научных революций и самого этого термина. Выше мы подчеркнули достаточно очевидный факт — большую разницу между резкими изменениями в науке (переворотами, революциями), характеризующимися совсем разными масштабами и разными особенностями по существу. Но все же во главу угла ставились (пусть и неявно) содержание революции, степень радикальности связанных с ней изменений принципов или, если угодно, изменений парадигмы.

А теперь обратимся к развитию астрономии в нашем столетии. В 1945—1946 гг. (дату здесь можно указать достаточно четко, так как она в значительной мере определялась окончанием второй мировой войны) явно начался принципиально новый этап в развитии астрономии. Его главная черта — переход от оптической астрономии, каковой последняя была в течение всей своей предшествующей истории, к всеволновой астрономии. Родились радиоастрономия, рентгеновская астрономия, гамма-астрономия; к ним примыкают астрофизика космических лучей и нейтринная астрономия. В результате лицо современной астрономии и научного сообщества астрономов изменилось столь сильно, как, вероятно, никогда в прошлом за такой же тридцатилетний интервал времени.

Констатация подобной ситуации побудила меня писать¹ о подлинной революции в астрономии, сравнимой лишь с той, которая была связана с переходом от наблюдений невооруженным глазом к применению оптических телескопов (что впервые было сделано Галилеем, открывшим 7 января 1610 г. спутники Юпитера). Аналогичная точка зрения высказывалась и другими авторами. Но она означает, что революциями в астрономии, да еще самыми значительными, признаются периоды перехода к принципиально новым методам исследования. В результате — колоссальное расширение наблюдательных возможностей и подъем астрономии в целом на новую ступень. Трудно, казалось бы, возражать против подобного подхода. Вместе с тем очевидно, что здесь применяется совсем иной критерий, чем при оценке значения, например, научных революций, связываемых с именами Коперника и Эйнштейна. Гелиоцентрические воззрения Коперника, их содержание и роль определяются не новыми методами, а новыми представлениями². Галилей был коперниканцем, и главная его заслуга в астрономии — это создание нового метода и его использование, а не выдвижение принципиально новых представлений.

Аналогична до известной степени ситуация и в нашем веке. С точки зрения введения новых глубоких представлений в астрономии самым важным является правильная оценка межгалактических расстояний (и тем самым создание образа Метагалактики) и в еще большей мере установление нестационарности Вселенной. Последнее и несомненно великое открытие оказалось связанным с применением к космологической проблеме общей теории относительности (А. Эйнштейн, 1917 г.; А.А. Фридман, 1922 и 1924 гг.; Г. Леметр, 1927 г., и др.) и измерением красного смещения в спектрах далеких галактик (Э. Хаббл, 1929

¹См., например: *Гинзбург В.Л.* Современная астрофизика. — М.: Наука, 1970.

²Отметим, что весьма обстоятельный и содержательный анализ коперниканской революции принадлежит Куну (*Kuhn T.* The Copernican Revolution. — Cambridge. Mass., 1975).

г.). В 30-е годы были теоретически «изобретены» также нейтронные звезды и «черные дыры», находящиеся только сейчас в центре внимания астрономии (нейтронные звезды были обнаружены лишь в 1967—1968 гг. с открытием пульсаров). Таким образом, если оценивать ранг научных революций по глубине и новизне вводимых представлений, то мы должны отдать «предпочтение» гелиоцентрической системе и общей теории относительности по сравнению с теми переворотами в астрономии, которые связаны с изобретением и применением телескопа и переходом к всеволновой астрономии.

Не правильное ли, однако, вообще не заниматься сравнениями в смысле иерархии или, еще грубее, классификациями типа: самая важная, самая глубокая, вторая по важности и т.п. Вопрос, какая революция важнее, может напоминать вопрос ребенка: кто главнее — мама или папа? Не правильное ли не укладывать научные революции и вообще развитие науки на прокрустово ложе схем, а, понимая общий характер этого развития, анализировать его конкретные черты и своеобразие? Это непростые вопросы, спорные вопросы. Но так или иначе ограничиться примитивным понятием о научной революции как об «изменении предписаний» или переходе к новой «парадигме» совершенно невозможно¹.

§ 5. Об экспоненциальном законе развития науки и некоторых его следствиях

Затронутые ниже вопросы, по нашему мнению, должны находиться в центре внимания при обсуждении актуальных проблем развития науки. Поэтому их и нельзя обойти молчанием в настоящей статье, для которой некоторый разбор книги Т. Куна является лишь отправной точкой и поводом для более широкой дискуссии.

Темп роста науки в целом или в отношении больших научных дисциплин (математика, физика и т.п.) уже лет двести—триста отличается большим постоянством и составляет примерно 5—7% в год. Другими словами, наука или, конкретно, такие «показатели» или «продукты», как число научных работников, количество научных или реферативных журналов, число статей и т.п., растут по экспоненциальному закону. Это значит, что рассматриваемые продукты y_i изменяются во времени t по закону

$$y_i(t) = y_i(0)e^{t/T_i},$$

где $y_i(0)$ — значение y_i в некоторый момент $t = 0$ (т.е. в момент, условно принимаемый за начало отсчета времени). Справедливость в большом числе случаев экспоненциального закона развития достаточно естественна, так как означает, что за небольшое время dt приращение количества «продукта» равно

$$dy_i = \frac{y_i(t)}{T_i} dt,$$

т.е. пропорционально самому количеству продукта $y_i(t)$ в момент t (поскольку научные работники готовят себе подобных учеников, то прирост последних при отсутствии дополнительных ограничений и должен быть пропорционален количеству их учителей). Прирост на 7% в год означает, что характерное время $T_i \approx 15$ лет. Ниже для простоты такое значение T_i мы и выбираем. Тогда за 15 лет показатели y_i вырастают в 2,72 раза, за 30 лет — в 7,4 раза, за 60 лет — примерно в 50 раз и за 120 лет уже в 2500 раз. Нужно было бы извиниться перед читателями за столь элементарные «выкладки», если бы не было из

¹ Автор остановился на этом вопросе также в статье «Замечания о методологии и развитии физики и астрономии», помещенной на с. 194—232 первого издания настоящего сборника (М.: Наука, 1985). О революции в астрономии см. также § 26 части I настоящей книги.

опыта известно, сколь трудно «привыкнуть» к неумолимой поступи экспоненциального закона развития.

В настоящее время в развитых странах «продолжительность жизни» одного поколения составляет, грубо говоря, 30 лет (это значит, что такова средняя разница в возрасте между родителями и детьми; такова же примерно продолжительность активной деятельности человека). Таким образом, за время деятельности лишь одного поколения ученых их число, а также число их работ и других «научных продуктов» возрастает в 7,4 раза, или, иными словами, за время жизни всех предшествующих поколений рода человеческого было произведено «научного продукта» в

$$[y_i(2T_i) - y_i(0)]/y_i(0) = 6,4$$

раза меньше, чем за последний период в 30 лет. Столь же впечатляюща и такая цифра: около 90% всех ученых мужей, работавших на земном шаре во все времена, живы в настоящее время. Или вот конкретная иллюстрация: в 1913 г. в России было менее 12 тыс. научных работников, к 1976 г. их общая численность в СССР составила около 1,2 млн. человек, т.е. за 60 лет выросла в 100 раз. Если учесть чад и домочадцев, а главное рабочих и служащих, связанных с научной деятельностью упомянутых 1,2 млн. человек, то мы придем к выводу, что в «сфере науки» сейчас у нас находятся примерно 8—10 млн. человек. Затраты на научные исследования по госбюджету СССР на 1975 г. достигли 17,5 млрд. рублей, что составляет 8,4% общих расходов. Поэтому если бы средний темп роста, наблюдавшийся за прошлые годы, сохранился, то в 2000 г. в СССР с наукой были бы непосредственно связаны чуть ли не 60—100 млн. человек при общем населении примерно 300 млн. человек. По всей вероятности, это совершенно невозможно, если только искусственно не зачислить в число ученых всех инженеров, врачей и т.п.

Приведенные цифры в некоторых случаях грубы, ориентировочны. Нужен, конечно, и более подробный и более глубокий анализ различных статистических данных. В частности, возникает вопрос о «показателях», адекватно характеризующих темпы развития науки на разных этапах. Но и того, что сказано, того, что достаточно хорошо известно, по нашему мнению, достаточно для фундаментального вывода: наука должна перейти и фактически переходит (по крайней мере в развитых странах) на режим насыщения — по ряду «показателей» эра экспоненциального роста для науки в целом кончается или даже окончилась. Таков фактор N 1, определяющий современное состояние и будущее науки.

С другой стороны, требования, предъявляемые к науке жизнью, техникой, ничуть не снижаются. Скорее даже, напротив, никогда еще в прошлом наука не только не была в таком «фаворе», но и реально не влияла столь сильно на развитие общества. Таким образом, хотя темп роста числа научных работников должен сильно сократиться, снижение темпа роста их продукции нежелательно — таков фактор N 2, характеризующий ситуацию.

Если бы речь шла о промышленности или сельском хозяйстве, то разрешение возникающего противоречия состояло бы в повышении производительности труда. Один человек уже в наше время может прокормить сто других, а одеть и обуть он может и сотни людей за счет технических усовершенствований, автоматизации и механизации. В области творческой научной деятельности, однако, подобных возможностей явно нет. Даже за тысячи лет человеческий род изменяется весьма мало, и рассчитывать на увеличение средних или максимальных наблюдающихся человеческих способностей в обозримое время не приходится. Несколько лучше обстоит дело с мобилизацией резервов мозга (если можно так выразиться). Методы суггестологии и суггестопедагогики уже, видимо, доказали свою плодотворность и перспективность, но преимущественно при обучении (например, обучении иностранным языкам) или при обсуждении путей решения какой-либо конкретной проблемы («мозговая атака») и т.п. Нечто принципиальное связано, правда, с использованием мощных вычислительных машин. Но в целом, как нам кажется, нет оснований надеяться

в обозримое время найти пути значительного повышения эффективности самого процесса творческой деятельности и в этом отношении резкого увеличения производительности труда в науке. Таков фактор N 3, который представляется нам определяющим (совместно с факторами N 1 и N 2) для развития науки как производительной силы в обозримом будущем.

Ввиду важности вопроса о производительности труда в науке, хотя он, в общем, лежит за рамками настоящей статьи, заметим еще следующее. Во-первых, отмеченная объективная трудность повышения производительности научной работы должна не уменьшить, а, напротив, повысить внимание к этой проблеме. Во-вторых, глубокие затруднения реально возникают только тогда, когда элементарные препятствия на пути плодотворной работы уже устранены, что в целом далеко еще не сделано. Если научный работник не обеспечен удобным рабочим местом, оборудованием и т.п., то повышение эффективности его работы очевидным образом возможно на пути устранения соответствующих недостатков. К их числу нужно отнести и отсутствие спокойной, творческой атмосферы. Известно немало примеров, свидетельствующих о том, как существенна возможность сосредоточиться и сколь губительными оказываются различные «помехи», начиная от обыкновенного шума и кончая недоброжелательством и т.п. И совсем не зря некоторые научные учреждения (и, разумеется, многие другие учреждения, а также отдельные заводы и фабрики) в разных странах находятся в парках с цветами, прудом и другими «излишествами». Речь здесь идет вовсе не о насаждении райских куц для научной или какой-то иной элиты, а об уважении к труду и создании оптимальных условий для его эффективности и плодотворности. Впрочем, хороший моральный климат важнее всего, но его и труднее всего создать. Но все это, конечно, другая тема, и здесь можно лишь пожалеть о том, что о ней у нас мало думают.

§ 6. О чертах «неоднородности» и «ограниченности» в развитии науки

Экспоненциальный закон и связанные с ним моменты характеризуют одну из сторон развития науки, причем поддающуюся до известных пределов количественному анализу. Но есть и другая очень важная сторона этого развития, которую попытаюсь определить термином «неоднородность», хотя он, возможно, и малоудачен. Неоднородность развития науки находит отражение уже в качественной несхожести различных научных революций, о чем уже упоминалось. Но неоднородность проявляется и в изменении с течением времени удельного веса (роли, значения) разных научных дисциплин и направлений. Так, в XVIII и XIX вв. физика и химия выступали, по-видимому, «на равных». В первой же половине XX в. их роль представляется прямо несоизмеримой. В этот период физика явно заняла первое место среди естественных наук по значению для практики, общественному вниманию, познавательной ценности (мы уже не говорим об отражении этой ситуации в кривом зеркале моды).

Какова здесь причина?

Она состоит в том, что именно в рассматриваемый период передний край (фронт) физики проходил по самым плодородным и густонаселенным землям естествознания, если позволено будет так выразиться. Действительно, изучалось и было выяснено строение атома и строение атомного ядра. Для этого пришлось построить квантовую механику и специальную теорию относительности, а также продвинуться далеко вперед в отношении методов и техники эксперимента. В результате был создан тот фундамент, на котором только и могли быть воздвигнуты здания современной химии, молекулярной биологии и ряда других областей естествознания. Для понимания исключительности этого этапа в

развитии физики напомним, что только в 1897 г., а строго говоря, даже несколько позже, было доказано существование электронов. Наличие у атома ядра было доказано в 1911 г., и лишь в 1913 г. была построена, да и то несовершенная, планетарная модель простейшего атома — атома водорода. Таким образом, понимание строения атомов и молекул, необходимое и для изучения структуры их совокупностей (твердых тел и т.д.), было достигнуто именно в это время. То же самое можно сказать об атомном ядре, которое, правда, и до сих пор изучено не так глубоко, как атом, но все же достаточно хорошо для конструирования атомных бомб, ядерных электростанций и термоядерных установок.

Все это было вчера. Сегодня же передний край физики, край, за которым дорога не видна (да, пожалуй, и вообще нет дороги, а лежит целина), переместился в область физики элементарных частиц, физики высоких энергий и т.п. Речь здесь, в общем, идет о том, какие могут существовать редкие виды частиц (живущих ничтожные доли секунды и создаваемых с превеликим трудом), какова структура таких частиц, как протон, нейтрон и электрон, каково взаимодействие различных частиц при высоких энергиях и т.д. и т.п. Таинственность и фундаментальность — мало что так привлекает. Колоссальная трудность продвижения вперед, внутренняя красота и гармония микромира, угадываемая и на новом этапе, — мало что так привлекает. Бешеное соревнование между сотнями и тысячами людей — мало что так привлекает. Между тем все эти черты характерны для той борьбы за понимание микромира, которая сейчас происходит (за исключением последнего момента — многочисленности, это относится и к вчерашнему дню).

И вместе с тем... Вместе с тем я придерживаюсь мнения (или, лучше, считаю весьма вероятной гипотезу), что физика в целом уже в некотором смысле пережила свой самый героический и важный в общечеловеческом плане период¹, что на смену «веку физики» пришел «век биологии». Не потому, конечно, что биология чем-то интереснее, лучше, важнее (все эти какие-то плоские термины здесь неприменимы). А потому, что на построенном физикой фундаменте биология уже также смогла достаточно развиться и вступить в самые плодородные и густонаселенные земли — смогла заняться механизмом наследственности на молекулярном уровне и генетической инженерией, обещает создание жизни «в пробирке», обещает радикальное удлинение человеческой жизни, обещает понимание процессов в человеческом мозге, а следовательно, и управление мозгом и т.п. Такие перспективы захватывающи далеко не только в чисто научном плане (как это полностью относится и к микрофизике не только в прошлом, но и сегодня), но и имеют фундаментальное значение с точки зрения всего дальнейшего развития человеческого общества².

Итак, конкретные науки (физика, биология) развиваются неоднородно во времени: в разные периоды играют разную роль (как общественную, так и в системе наук), занимают неодинаковое место, меняют форму и ставят перед собой разного типа цели. Тривиально? До известной степени, да. Но только до известной степени. Достаточно сказать, что в книгах и статьях по истории и методологии науки отмеченная неоднородность развития либо совсем не анализируется (по крайней мере на современном материале), либо не считается столь важной, как нам кажется. Более того, данная выше конкретная оценка ситуации в физике является спорной и встречает иногда весьма резкую критику. Пусть частью этой

¹Несколько подробнее см.: *Гинзбург В.Л.* О физике и астрофизике. — М.: 1974, § 16, а также § 18 части I настоящей книги. С другой точкой зрения на этот счет можно познакомиться в статье: *Марков М.А.* Будущее науки: Ускорители элементарных частиц следующих поколений. // УФН. 1973. Т. 11. С. 719. В этой статье М.А. Марков критикует, как он и сам подчеркивает, не столько действительно высказываемое мной мнение, сколько примитивное и догматическое суждение о малой важности микрофизики в плане дальнейшего развития физики, техники и т.п.

²Объектом изучения естественных наук является природа, но совершенно очевидны также значение и свойства изучающего субъекта и его деятельности. Например, для гипотетической цивилизации на уровне «элементарных частиц» (см.: Проблема СЕТИ: Связь с внеземными цивилизациями. — М.: Мир, 1975, с. 176, а также с. 171 настоящей книги) особенно важными были бы, вероятно, совсем другие научные проблемы и направления, чем для нашей цивилизации.

критики можно пренебречь, поскольку она явно отражает «интересы субъекта» (немало этих «субъектов» обладают крайне узким горизонтом и считают самым интересным и принципиально важным в науке именно то и только то, чем занимаются они сами или представители ближайшего к ним окружения).

Другое дело — ссылки на историю науки. Любят повторять рассказ М. Планка о том, как в молодости старший коллега жалел его в связи с тем, что все важное в физике уже сделано и представителям поколения Планка остается лишь стирать пыль с уже построенных физических приборов. Несомненно, в оценках развития науки делалось немало вопиющих ошибок, в частности, касающихся возможности практического использования физических открытий, полноты теории и т.п. Делаются такие ошибки и сегодня, неизбежны они и в будущем. Но что же это доказывает? Можно ли на этом основании согласиться с «теорией матрешки», согласно которой развитие науки сводится к открыванию все новой куклы, внутри которой лежит другая, более или менее похожая.

Все тела состоят из атомов и молекул, атомы и молекулы — из ядер и электронов, ядра — из протонов и нейтронов, протоны и нейтроны — из партонов, роль которых могут играть кварки. Появились статьи, в которых вводятся еще более фундаментальные частицы — условно назовем их протокварками. В качестве мотива для рассмотрения протокварков приводится тот довод, что сейчас рассматривается уже много кварков разных типов (двенадцать и более). Между тем сами кварки в свободном состоянии (т.е. как индивидуальные частицы, подобные электронам или протонам) не только еще не обнаружены, но, по всей вероятности, и вообще в таком состоянии не могут находиться. Предполагается поэтому, что если кварки существуют, то притягиваются друг к другу силами, не убывающими или даже увеличивающимися с расстоянием между кварками. Тем самым «удел» кварков в стационарном состоянии (т.е. не в процессе трансформации одних частиц в другие) — пребывать в связанной форме — в виде пар, троек и т.д. Если в свободном состоянии кварки действительно пребывать не могут, то и понятие «протон состоит из трех кварков» качественно отлично от утверждения, что ядро трития состоит из протона и двух нейтронов или что в атоме лития имеется три электрона. Тем меньше оснований считать беспредельным «дробление» вещества.

Если предел дробления действительно существует и, скажем, кварки — это последние фундаментальные кирпичи, да и то имеющие весьма ограниченную «индивидуальность», то с изучением кварков заканчивается многовековой процесс поиска ответа на вопрос: из каких составных частей состоит вещество? Ясно, что это не конец физики, даже понимаемой как наука о строении и законах движения вещества. Но столь же ясно, по нашему мнению, что нахождение «последнего кирпича» означает и обнаружение некоторого «дна»¹.

Здесь мы как раз подошли еще к одной черте, принципиально важной при обсуждении проблем развития науки, а именно к вопросу об ее «ограниченности». Термин этот взят в кавычки в первую очередь потому, не будем скрывать, чтобы его сразу же не взяли в штыки. Победное шествие науки и техники за последние столетия, провал различных пессимистических прогнозов и суждений о завершенности теорий — все это породило атмосферу, в которой даже робкое предположение или упоминание о наличии каких-либо пределов, границ и ограничений в природе и в человеческой деятельности часто воспринимается как узость взглядов — антиисторизм или даже крамола². Такой климат, — видимо, порождение эпохи экспоненциального роста науки. Но если согласиться с тем, что эта эпо-

¹В отношении астрономии см. в этой связи статью: *Harwit M. The Number of Class A Phenomena Characterizing the Universe // Quart. J. Roy. Astron. Soc. — 1975. — V. 16. — P. 378.*

²В качестве курьезного, но в историческом плане далеко не безобидного примера укажем на «возражения» против тех рассматриваемых в релятивистской космологии моделей, в которых объем Вселенной считается конечным. Как это — конечный объем? Значит, есть «конец», какая-то граница и т.п. В действительности же хорошо известно, что конечное не тождественно с ограниченным, а ограниченное не

ха кончилась или кончается, то особенно уместно и естественно думать и о появлении эффектов насыщения не только в процессе развития науки, но и в отношении содержания научного знания. Разумеется, «насыщение» в сфере науки не имеет ничего общего с предположением о какой-то ее остановке, каком-то конце. Не подлежит сомнению, что развитие науки не прекратится, пока существует род людской. Но какое развитие, в каких формах и, наконец, куда, в каких направлениях?

Все эти вопросы, понимаемые широко и устремленные в будущее, представляются недостаточно ясными, сложными и поэтому особенно заслуживающими дискуссии. Вот поэтому, собственно, выше и были подняты некоторые из них. При этом я ни в коей мере не претендую на многое. Чтобы развить и обосновать сделанные замечания, нужно, как минимум, написать целую книгу и, главное, во многом разобраться несравненно детальнее. Более того, даже в правильности некоторых тезисов, вроде касающихся роли микрофизики в будущем, я совсем не уверен. Уверенность есть, однако, в том, что само выдвижение подобных тезисов для обсуждения вполне законно. Соответствующая дискуссия необходима и актуальна, чего нельзя сказать о «новом» открытии законов развития или изобретения велосипеда.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Зачем нужны история науки и «наука о науке»? В применении к любому подлинно научному направлению такой вопрос вообще не является законным. Занятие наукой представляет собой один из видов интеллектуальной деятельности человека и в целом не нуждается в оправдании ссылками на непосредственную практическую нужность или полезность. Во всяком случае, нет оснований делать в этом отношении принципиальных различий между наукой и, скажем, живописью или музыкой¹. Совсем другое дело, что общественная поддержка (и, конкретно, финансовая и другая материальная поддержка) научной деятельности в большой мере определяется практическими соображениями. Несомненно и то, что потенциальная или непосредственная полезность является только плюсом и служит дополнительным стимулом при занятиях наукой. Сказанное — реакция на все еще встречающийся чисто утилитарный подход к науке.

В применении к истории науки и науковедению мы также должны сказать, что эти направления имеют право на существование уже в силу их познавательной ценности. Одновременно достаточно очевидно, что представители других научных сообществ интересуются историей науки и науковедением с несколько иных позиций. История науки, как и всякая история, «просто интересна», и нет нужды обосновывать и оправдывать подобное отношение к ней.

Но здесь есть одна тонкость, а скорее даже нечто более важное. Когда физик читает об истории физики или близких научных направлений, он предъявляет к материалу иные требования, чем при чтении книг, скажем, по всеобщей истории (таково, во всяком случае, мое собственное отношение, но есть основания считать его типичным). В последнем случае, если автор пишет хорошо и убедительно, то как-то хочется ему верить и не возникает на каждом шагу вопрос: точно ли это, верно ли? Поэтому не появляется обычно и настоящего желания обратиться к историческим документам, к подлинным материалам, особенно если речь идет о достаточно отдаленных временах. Другое дело, когда читаешь

значит «имеющее границу». Например, площадь поверхности обыкновенной сферы конечна и тем самым ограничена, но никаких границ поверхность сферы как двумерное многообразие не имеет. Точно так же в упомянутых космологических моделях рассматривается замкнутое трехмерное пространство, не имеющее границ, но обладающее конечным объемом.

¹ Тем самым я вовсе не собираюсь, конечно, отрицать разницу, существующую между наукой и искусством.

об истории событий или открытий, относящихся к твоей специальности. Увидев в книге Т. Куна замечания об открытии рентгеновских лучей, я сразу же захотел проверить и уточнить написанное там, обратился к двум книгам по истории физики, но удовлетворился, только прочитав статьи самого Рентгена¹.

И весьма существенно было то, что эти статьи оказались доступны в русском переводе, с квалифицированными комментариями и с биографическим очерком. Сказанное имеет целью пропагандировать издание хорошо известного, но все еще у нас совершенно недостаточно популярного типа книг по истории науки.

Это книги, посвященные какой-то конкретной проблеме и состоящие из двух частей: написанного автором книги исторического исследования, достаточно подробного и полного, и ряда оригинальных естественнонаучных работ, о которых идет речь². Нет нужды оправдывать и появление книг более знакомого типа: собраний трудов классиков науки, книг по истории той или иной дисциплины, исследований по отдельным вопросам.

Но особенно хотелось бы увидеть книги, посвященные общему анализу развития науки, ее прошлого, настоящего и будущего. Их создание, если речь идет о достаточно широком охвате материала в сочетании с глубиной изложения, — дело исключительной трудности. Требования здесь совершенно иные, чем при конкретном научно-историческом исследовании, анализе статистических данных о развитии науки или обсуждении частных проблем. Опыт прошлого учесть еще сравнительно легко, хотя мы знаем много примеров, когда история ничему не научила. Но все же еще значительно труднее на пестром фоне научной жизни сегодняшнего дня отбросить второстепенное и уловить глубинные потоки и тенденции развития, экстраполировать эти тенденции на какой-то период в будущее с целью понять, чего мы можем ожидать, к чему должны готовиться. Успех здесь возможен только как плод большого труда, опыта, интуиции и озарения.

Научное предвидение здесь как-то смыкается с поэтическим видением. Вспоминаются строки Маяковского:

На чешуе жестяной рыбы
прочел я зовы новых губ.
А вы
ноктюрн сыграть
могли бы
на флейте водосточных труб?

Информация, захлестывающая нас, огромна и в чем-то подобна шуму толпы. Хотим же мы услышать отдельные голоса, подсказывающие дорогу, зовущие за собой. Благодарная и главная задача истории и методологии науки — обострить наш слух, помочь продвижению вперед.

Критика, содержащаяся в публикуемой здесь рецензии на книгу Т. Куна, была в известной мере развита и уточнена в моей статье (докладе) «Замечания о методологии и развитии физики и астрофизики», опубликованной в N 12 журнала «Вопросы философии» за 1980 г. (с. 24) и затем в первом издании настоящей книги (О физике и астрофизике. — М.: Наука, 1985. — С. 194). Эта последняя статья из настоящего издания книги исключена, поскольку ее первая часть (посвященная в основном космологии) в значительной мере устарела и потеряла актуальность.

¹ Рентген В. О новом роде лучей. — М.; Л.: Гостехиздат, 1933.

² Хотелось бы видеть такие книги, посвященные истории открытия и исследования сверхпроводимости, сверхтекучести, космических лучей, эффекта Вавилова — Черенкова, ускорителей частиц, электрона и протона, рентгеновских лучей и т.д. и т.п. При этом удельный вес первой части и оригинальных работ может варьироваться; это зависит и от темы, и от автора книги. Но мы не имеем здесь в виду просто сборник оригинальных работ с кратким введением чисто вспомогательного характера. О сборниках работ близкого, но все же несколько иного типа см. подробнее на с. 136 настоящей книги.

КАК И КТО СОЗДАЛ ТЕОРИЮ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ?

Опыт рецензии с предисловием и комментариями

ПРЕДИСЛОВИЕ

В конце 1973 г. в Атомиздате вышла книга «Принцип относительности: Сборник работ по специальной теории относительности». Этот сборник был прислан издательством в редакцию журнала «Наука и жизнь» с просьбой его прорецензировать, и как член редколлегии я должен был решить, как поступить.

Массовый журнал не может и не должен, как правило, помещать рецензии на книги, рассчитанные на специалистов или вообще сравнительно узкий круг читателей. Поэтому вполне можно было бы лишь «принять к сведению» факт выхода в свет упомянутого сборника (его тираж 3825 экземпляров). Другая возможность — поместить краткую рецензию-информацию, что позволило бы читателям убедиться, в частности, в том, что купить сборник нельзя (разве что он где-нибудь сохранился в магазинах на периферии, в которых книг по теории относительности обычно не ищут). Наконец, хорошо известна третья возможность, которая меня и привлекла, — написать рецензию не только на саму книгу, а то, что называется а priori (по поводу).

А повод в данном случае действительно имеется. Речь идет о становлении одной из величайших физических теорий. Речь идет фактически и о многом другом. Во всяком случае при чтении сборника «Принцип относительности», содержащего хорошо знакомый в общем материал (в качестве примера замечу, что много лет назад я переводил включенный в сборник исторический обзор из книги В. Паули «Теория относительности» (2-е изд. — М.: Наука, 1983), у меня возникло довольно много весьма разнородных ассоциаций и соображений как о физике, так и в еще большей мере о физиках, истории науки, об этике, пресловутых вопросах приоритета и т.п. Изложить все это на бумаге для человека, привыкшего писать лишь довольно сухие статьи с формулами, дело весьма нелегкое, и предлагаемая рецензия с комментариями является лишь бледной тенью статьи, которую мне самому хотелось бы прочесть. Так или иначе, настоящая статья была написана, но оказалась столь длинной и местами недостаточно популярной, что для «Науки и жизни» она не подошла. Надеюсь, однако, что ее опубликование в другом месте представляется оправданным.

РЕЦЕНЗИЯ

История науки (физики, химии, биологии, математики) всегда выглядела Золушкой рядом с всеобщей историей или историей искусства и литературы. Это в общем вполне понятно и естественно. Во-первых, история науки может интересовать в основном лишь

самых ученых, да еще к тому же специалистов в той области, история которой излагается. В то же время, например, всеобщая история интересна любому культурному человеку, быть может, лишь за какими-то особыми исключениями (здесь уже приходится думать о самом определении понятия «культурный человек»). Во-вторых, история науки в отличие от других разделов истории обычно малоактуальна в смысле ее связей с сегодняшним днем. В самом деле, история древних Греции или Рима столь популярна потому, что мы находим аналогии, узнаем проявление, хотя и в других условиях, но хорошо знакомых нам человеческих черт и страстей. На далеком во времени материале мы изучаем человека и человеческое общество. Древняя скульптура и живопись также в значительной части живут для нас как произведения искусства, а не только являются объектами изучения для истории искусства или какими-то музейными экспонатами, подобными костям вымерших животных. А вот античная физика родственна таким музейным экспонатам. Древние считали, например, что движение тела является равномерным и прямолинейным, лишь пока на него действует сила, а при отсутствии сил тело должно покоиться. Такой подход следовал из повседневного опыта тех времен, когда еще не научились избавляться от сил трения. Только Галилей и Ньютон окончательно порвали с античной физикой и заменили ее представлениями, используемыми и сегодня в механике, — здесь имеется в виду хотя бы закон инерции, согласно которому равномерное и прямолинейное движение в инерциальных системах отсчета осуществляется не при наличии сил, а как раз при их отсутствии.

Вряд ли имеются основания развивать здесь эти соображения и подробнее пояснять, почему хорошо сохранившаяся древняя скульптура (и все, что с ней связано в историческом плане) имеет сегодня совсем иное «звучание», чем физика Аристотеля или астрономия Гиппарха — Птолемея. Напомнить же об этом я хотел для того, чтобы высказать, быть может, и спорный тезис: похоже на то, что Золушка на наших глазах преобразается и если и не затмит своих сестер, то станет равноправной с ними.

Наиболее явственно и даже ярко этот процесс, обусловленный резким повышением роли науки в жизни общества, находит отражение в произведениях, так сказать, биографического жанра. В качестве героев биографий, воспоминаний и художественных произведений все чаще фигурируют ученые, потеснившие в этом отношении королей, «фюреров», канцлеров и т.д. Разумеется, жизнь ученого — это жизнь человека, и соответствующая биография лишь частично связана с историей науки. Но в хорошей биографии такая связь должна быть глубокой и органичной. В «Автобиографических заметках», написанных на шестьдесят восьмом году жизни и названных им чем-то «вроде собственного некролога», Эйнштейн после многих страниц, посвященных в основном физике, замечает: «И это некролог? — может спросить удивленный читатель. По сути дела — да, хотелось бы мне ответить. Потому, что главное в жизни человека моего склада заключается в том, *что* он думает и *как* он думает, а не в том, что он делает или испытывает. Значит, в некрологе можно в основном ограничиться сообщением тех мыслей, которые играли значительную роль в моих стремлениях».

Повышаются интерес и внимание к истории науки и в других сферах (помимо биографической), в особенности когда речь идет об истории великих открытий и глубоких идей, появившихся в недавнем прошлом. К их числу в первую очередь относятся детища нашего века — теория относительности и квантовая теория, появление и развитие которых преобразовали физику и косвенно почти все естествознание.

Два вопроса находятся в центре внимания при ознакомлении с историей науки. Раньше всего это вопрос «как?» — как возникли и развивались идеи, как готовилось и было совершено открытие. Вторым является вопрос «кто?» — кто сделал открытие, высказал идею, воплотил ее «в плоть и кровь», развил, довел до сознания научной общественности. Вопрос «как?» представляется основным, первичным — он связан с самим содержанием науки и методами научного исследования. Вопрос же «кто?» может показаться второсте-

пенным, и, действительно, он не связан с существом дела, если иметь в виду, скажем, физику, а не психологию научного творчества, социологию научной среды или личную судьбу того или иного человека. Но фактически анализ проблем «как?» и «кто?» часто, если не в большинстве случаев, трудно разграничить. Науку ведь развивают люди, и если конечный продукт — совокупность определенных утверждений, уравнений, соотношений и т.д. — безличен или, вернее, почти безличен, то первоначальный процесс открытия или вывода и получения этих уравнений и соотношений сильно окрашен в человеческие тона и, конкретно, в тона, характерные и типичные для первооткрывателей. Тем самым если речь идет именно об истории науки, а не о том, как излагать материал в учебниках и монографиях, то на вопросы «как?» и «кто?» на практике приходится не только отвечать, но и, естественно, отвечать одновременно.

В какой же форме это лучше всего сделать? Универсальный ответ здесь, конечно, дать нельзя. Важнейшим фактором является время, отделяющее нас от рассматриваемой эпохи. Несмотря на то что форма в науке играет несравненно меньшую роль, чем в искусстве и литературе, она все же существенна и нередко быстро изменяется. Сейчас, например, в физике общеприняты векторные и тензорные обозначения, а еще в XIX в. и в начале XX в. доминировала запись формул в другом виде. Этот момент в известных пределах не принципиален, но даже подобное препятствие — по сути дела лишь использование непривычных обозначений — очень затрудняет чтение. Что же тогда сказать о еще более старых книгах, написанных не современным языком? Поэтому, когда речь идет об истории науки до середины XIX в., а иногда и до начала XX в., лучшей формой изложения представляются монографии или статьи, написанные современными авторами и, естественно, снабженные отрывками из оригинальных сочинений (это можно делать не только в виде цитат в тексте, но и в форме более обширных приложений).

Нисколько не противоречит этому пути, а лишь дополняет его издание оригинальных сочинений классиков, снабженное специальными статьями и комментариями, но роль таких собраний научных трудов классиков естествознания еще больше возрастает и, пожалуй, становится первой по важности, когда речь идет о наших современниках или почти что современниках — ученых XX в. Большой заслугой издательства «Наука» является издание, причем на хорошем уровне, серии «Классики науки», в которой уже вышли сочинения А. Эйнштейна, Н. Бора, Э. Резерфорда, Э. Ферми, А. Пуанкаре и некоторые другие. Той же цели с успехом служат менее «академические» издания — сборники статей видных физиков (Д. Максвелла, Л. Больцмана, Г. Лоренца, М. Лауэ, П. Эренфеста, Э. Шрёдингера, А. Зоммерфельда и др.), выходящие также в издательстве «Наука», и сборники трудов известных русских физиков дореволюционного времени и советских физиков, выпущенные рядом других издательств.

В большинстве случаев, однако, фундаментальные научные достижения и теории являются продуктом коллективного творчества (исключение, которое сразу же приходит на ум, это создание Эйнштейном общей теории относительности). Поэтому возникла еще одна и весьма удачная форма — сборник оригинальных работ, составленный по тематическому принципу. Пожалуй, это самый удобный и надежный, вообще говоря, способ получить ответ на вопросы, как и кто создал ту или иную великую естественнонаучную теорию или породил научное направление (нам вместе с тем придется еще напомнить, что сборники работ классиков являются формой, далеко не свободной от определенных ограничений).

Первый сборник такого типа, посвященный теории относительности, вышел в Германии еще в 1913 г. и затем не раз переиздавался. В СССР аналогичная книга «Принцип относительности: Сборник работ классиков релятивизма» появилась в 1935 г., она содержала основные работы Г. Лоренца, А. Эйнштейна, А. Пуанкаре и Г. Минковского по специальной теории относительности (СТО), а также ряд работ Эйнштейна по общей теории относительности (ОТО). Этот сборник пользовался большим и заслуженным успехом, но давно стал библиографической редкостью.

В силу сказанного можно было бы только приветствовать появление нового сборника работ классиков релятивизма. При известных условиях можно также согласиться с тем, что достаточно полного освещения истории возникновения и развития специальной теории относительности приходится достигать ценой исключения вопросов, связанных с общей теорией относительности. Действительно, если не ограничиваться оригинальными работами классиков, а поместить разнообразный дополнительный материал, то для изложения ОТО просто не останется достаточно места. Рецензируемый сборник «Принцип относительности» по идее так и составлен. Половину сборника (138 страниц из 330) составляет часть вторая — «Построение специальной теории относительности», где помещены все соответствующие статьи из предыдущего сборника, а также добавлен отрывок из книги Дж. Лармора (1900 г.), краткое предварительное сообщение А. Пуанкаре (1905 г.) и небольшой доклад М. Планка (1906 г.). Хотя, на мой взгляд, все эти добавления правильнее было бы поместить в других частях сборника, — но это вопрос спорный и, главное, не принципиальный. А вот первая и третья части сборника («Возникновение концепции относительности» и «К истории создания специальной теории относительности») вызывают самые серьезные возражения. При этом одна из существенных сторон проблемы здесь даже не историческая, не физическая, а скорее этическая.

Чтобы объяснить, в чем дело, проведу аналогию с литературой и ее историей. Некоторые великие писатели и поэты подвергались как при жизни, так и после смерти необъективной и тенденциозной критике. Кроме того, личная или общественная жизнь некоторых из них иногда бросала какую-то тень на их имя или могла быть неверно истолкована. Наконец, историки литературы, текстологи и коллекционеры собрали немало личных писем, записок и т.п., которые производят неприятное впечатление, по крайней мере без учета обстоятельств места и времени их появления.

Существует мнение, что многие подобные материалы вообще не должны публиковаться. Такой подход в ряде случаев я считаю совершенно неправильным, часто ханжеским и лицемерным. Если прошло достаточно много времени, то любые факты и материалы разного типа могут в принципе публиковаться и использоваться в специальных статьях, сборниках и монографиях, а также в полных академических собраниях сочинений.

Но вот никому еще, вероятно, даже не приходила в голову идея опубликовать классические стихотворения, близкие и дорогие многим читателям, вместе с отрывками из мемуаров или писем, порочащих их великих авторов, или вместе со статьями, содержащими обвинения этих авторов в плагиате. Так или иначе, ясные из сказанного здесь ограничения учитываются и должны учитываться при издании и переиздании классических произведений как писателей, так и ученых. Независимо от неизбежного расхождения во взглядах и оценках имени Пушкина и Льва Толстого не могут не пользоваться глубоким уважением совершенно подавляющего большинства литераторов (и, конечно, не только литераторов). В равной мере для совершенно подавляющего большинства физиков имени великих преобразователей естествознания не только ассоциируются с научными принципами, формулами и эффектами, но и являются, как правило, именами глубоко почитаемых людей, хотя они сами и ничего от нас не требовали, ибо, как отметил Эйнштейн в некрологе, посвященном памяти Макса Планка: «Человек, которому было суждено одарить мир великой созидательной идеей, не нуждается в похвале потомства. Его творчество даровало ему более значительное благо».

Все это имеет прямое отношение к обсуждаемому сборнику «Принцип относительности», так как при его составлении явно нарушены, по моему мнению, упомянутые, казалось бы, очевидные условия издания работ классиков. Самое яркое этому доказательство связано с включением в сборник большого куска (он занимает 25 страниц) из книги Эд. Уиттекера, озаглавленного так: «Теория относительности Пуанкаре и Лоренца». Это красноречивое заглавие не обманывает — Уиттекер действительно задался целью доказать, что Эйнштейн не является даже одним из основных авторов специальной теории

относительности! В классической же работе Эйнштейна 1905 г., по Уиттекеру, лишь «более пространно излагалась теория относительности Пуанкаре и Лоренца» (с. 216; здесь и ниже указываются страницы сборника).

Известный англо-ирландский физик и математик Дж. Синг назвал выводы Уиттекера в отношении Эйнштейна диффамацией (с. 245), что с точностью до перевода с английского эквивалентно слову «клевета». Прочитав Уиттекера и убедившись в том, как он искажает и подтасовывает факты (это относится даже к переводу цитат из Пуанкаре; см. с. 248), я могу только полностью присоединиться к заключению Дж. Синга (справедливости ради нужно, правда, отметить, что Уиттекеру еще очень далеко до тех, кто выдумал термины «неарийская физика», «реакционное эйнштейнианство» и т.п.). Не знаю, какой процент физиков буквально согласился с таким заключением, тем более что четкую грань между клеветой и явной недобросовестностью или искажением фактов провести трудно, но сути дела название не меняет. В этой связи представляется существенным, что даже сам составитель сборника А.А. Тяпкин также говорит о «явной предвзятости позиции Уиттекера» и т.п., хотя и считает его книгу «совершенно новым словом в историографии» (с. 321). Не будем здесь спорить с последним тезисом, жизнь сложна и удивительна, а посему предвзятость и даже клевета действительно могут в одном и том же сочинении уживаться с новым словом в историографии. Но если подобные сочинения можно использовать в собственных статьях, черпая из них какой-то материал, то их включение в сборники, содержащие в основном труды самих классиков естествознания, представляется неуместным. Основания для такого вывода уже были приведены, подкрепить же их ссылками на математические теоремы или на уголовный кодекс я не могу.

Включение сочинений Уиттекера хотя и важнейший, но далеко не единственный недостаток сборника. Все эти недостатки вместе взятые обусловлены в первую очередь тенденциозностью составителя сборника, который буквально поглощен идеей подчеркнуть и «защитить» приоритет Пуанкаре, а частично и Лоренца, вклад которых в создание СТО якобы далеко не достаточно признан и оценен в связи с преувеличением роли Эйнштейна.

Дать оценку такой позиции можно, очевидно, только на основе конкретного анализа фактического материала, ответив тем самым на вопрос: кто создал специальную теорию относительности? Форма рецензии не подходит для решения этой задачи, и на ней мы остановимся преимущественно во второй части статьи, условно названной комментариями. Но уже здесь можно осветить вопрос об авторстве СТО, если не с научной, то с «человеческой» стороны.

Три работы считаются важнейшими при создании СТО. Автором первой из них (1904 г.) был один из общепризнанных лидеров теоретической физики, голландский профессор Хендрик Антон Лоренц (1853—1928), за два года до этого получивший Нобелевскую премию по физике. Автором второй работы (1906 г., краткое сообщение было опубликовано в 1905 г.) явился уже тогда знаменитый французский математик Анри Пуанкаре (1854—1912), хорошо известный также своими исследованиями в области физики и методологии науки. Наконец, третья работа (1905 г.) была написана почти неизвестным мелким служащим швейцарского федерального патентного бюро Альбертом Эйнштейном (1879—1955).

Кому не известно, что новые произведения популярных и любимых писателей и поэтов сразу же привлекают внимание, в то время как сочинениям новичков нужно еще пробивать себе дорогу. В науке та же естественная тенденция проявляется, пожалуй, еще резче.

Почему же в интересующем нас случае — при создании СТО — все получилось наоборот: особенно известной, без преувеличения можно сказать, знаменитой стала именно работа Эйнштейна? Ответ на этот вопрос был очень четко сформулирован еще, например, в широко известной книге В. Паули «Теория относительности», впервые опубликованной в

1921 г. в наиболее авторитетной в то время «Энциклопедии математических наук». Книга Паули затем переиздавалась и была переведена на другие языки¹. Изложение истории создания СТО Паули заканчивает так: «Основы новой теории были доведены до известного завершения Эйнштейном. Его работа 1905 г. была направлена в печать почти одновременно с сообщением Пуанкаре и написана без осведомленности о работе Лоренца 1904 г. Исследование Эйнштейна содержит не только все существенные результаты обеих названных работ, но также прежде всего изложение совершенно нового и глубокого понимания всей проблемы» (с. 201). Другой известный физик, М. Борн, так вспоминает о впечатлении, произведенном на него чтением статьи Эйнштейна: «Хотя я был хорошо знаком с релятивистской идеей и с преобразованиями Лоренца, ход идей Эйнштейна был для меня откровением» (с. 236).

В совершенно новом и глубоком освещении проблемы, явившемся откровением, и состоит очевидная причина успеха работы Эйнштейна, причина того, что именно эта работа считается самой важной при создании СТО. Допускать же, что «немаловажную роль» здесь сыграли «националистические настроения немецкой школы физиков» (с. 307), представляется просто смехотворным, тем более что Эйнштейн был евреем и швейцарским гражданином.

Чтобы завершить рецензию, сделаем лишь еще два замечания.

Если основным недостатком третьей части сборника является присутствие некоторых материалов, помещение которых либо кажется нам неуместным (Уиттекер), либо вызывает сильные сомнения (не буду на них останавливаться за неимением места), то первая часть сборника страдает недостатком противоположного характера. Действительно, читатель ожидает, что здесь будут отражены идеи, результаты и трудности, особенно важные для понимания истоков СТО. Но в то время как этими истоками является прежде всего электродинамика движущихся сред, первая часть сборника целиком посвящена одностороннему освещению лишь одного аспекта предистории СТО — возникновению «концепции относительности». На более понятном языке это означает, что речь идет о таком расширении принципа относительности классической механики, которое охватывало бы также электродинамику и вообще «всю физику». Если напомнить, что такой принцип относительности справедлив только в инерциальных системах и означает полную равноправность всех этих систем отсчета при формулировке законов природы, то становится ясным следующее: история возникновения концепции относительности никак не может излагаться вне связи с вопросом об инерциальных системах и с другими основами механики Галилея и Ньютона. Тем не менее как классическая механика, так и дорелятивистская электродинамика движущихся сред остались, по существу, вне поля зрения составителя, и оно почти целиком заполнено Пуанкаре: в первой части сборника помещены только доклад Пуанкаре и четыре отрывка из его статей и лекций, а также еще лишь одна небольшая заметка Лоренца.

Можно думать, что картина уже достаточно выяснена: рецензируемый сборник — это не столько собрание трудов классиков релятивизма, снабженное каким-то более или менее нейтральным и вспомогательным дополнительным материалом, сколько полемическое и во многом спорное произведение по истории СТО, снабженное оригинальными статьями классиков релятивизма. В принципе и такая форма изложения допустима, но тогда так и нужно прямо заявить, отразив это и в построении, и в названии книги.

В свете сказанного отмечать технические недостатки издания кажется почти что излишним. Но все же трудно пройти мимо того факта, что сборник плохо отредактирован в литературном отношении (это не относится к переводам, уже издававшимся ранее) и изобилует опечатками.

¹См.: Паули В. Теория относительности. — 2-е изд. — М.: Наука, 1983.

Многие нужные книги по физике у нас очень трудно купить, так как они издаются совершенно недостаточными тиражами. И дело здесь не в недостатке бумаги, поскольку сейчас речь идет не о массовых изданиях, а о монографиях, сборниках обзорных статей и т.п. Книгу нужно было бы издать тиражом в 7–10 тыс. экземпляров, а выпускаются, скажем, лишь 3 тыс. экземпляров, и это несмотря на то, что увеличение тиража экономически выгодно. О необходимости изменить положение часто, но безрезультатно говорят, и я пользуюсь возможностью еще раз напомнить о необходимости повысить тиражи многих книг по физике. Правда, вышедший сборник «Принцип относительности» никак не принадлежит к числу таких книг, но вот хороший сборник на ту же тему издать нужно большим тиражом — он найдет широкий круг читателей.

КОММЕНТАРИИ

Ниже мы сделаем ряд фрагментарных замечаний, прямо или косвенно связанных с заголовком настоящей статьи.

§ 1. Что такое специальная теория относительности?

Одним из основных физических понятий является понятие об инерциальных системах отсчета. Данная система отсчета, служащая для определения координат и времени событий, инерциальна, если в ней соблюдается закон инерции — изолированное тело (тело, не находящееся под действием сил) движется равномерно и прямолинейно. Такое определение не свободно, правда, от возражений и нуждается в уточнениях, поскольку остается еще неясным, какое тело можно считать изолированным, но, грубо говоря, изолированность гарантирована, если все другие тела находятся достаточно далеко (подробнее осветить вопрос об инерциальных системах, как и некоторые другие, здесь нет возможности). Примером достаточно «хорошей» инерциальной системы может служить система координат, начало которой совпадает с Солнцем, а оси направлены на далекие звезды. С несколько меньшей, но обычно еще весьма большой точностью, закон инерции выполняется и на Земле (действие силы тяжести считается исключенным). Система отсчета, вращающаяся относительно инерциальной, уже не будет таковой, причем с увеличением угловой скорости вращения различия между инерциальной и вращающейся системами проявляются все резче.

Если данная система инерциальна, то инерциальной будет и любая другая система отсчета, движущаяся относительно нее равномерно и прямолинейно. Обобщение этого заключения на все механические явления — утверждение о том, что все такие явления во всех инерциальных системах протекают совершенно одинаково (разумеется, при одинаковых начальных условиях), — как раз и составляет содержание классического, или галилеева, принципа относительности. Точнее, использование и формулировка этого принципа включают в себя также вполне определенное, дорелятивистское предположение о том, как связаны между собой координаты и время событий в различных инерциальных системах. Так, если одна из этих систем — система K' (координаты x', y', z' и время t') — движется относительно данной инерциальной системы K (координаты x, y, z и время t) со скоростью v вдоль положительных осей x и x' (направления всех осей считаем совпадающими), то, как предполагалось до создания СТО,

$$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t$$

(преобразования Галилея). Впрочем, абсолютность времени — его независимость от движения системы отсчета (отсюда и равенство $t' = t$) — считалась имеющей место вообще в любых системах отсчета.

При равномерном движении тела его ускорение, конечно, равно нулю. Значит, при преобразовании Галилея, т.е. в любых инерциальных системах, ускорение одно и то же. Поэтому при таких преобразованиях закон динамики — второй закон Ньютона (масса \times ускорение = сила) — остается неизменным, если только масса и сила, как и ускорение, остаются одинаковыми в системах K и K' . Последнее предполагается (и обосновывается на опыте), в результате чего мы и приходим к выводу о соблюдении классического принципа относительности в механике Ньютона. Вообще гарантией соблюдения классического принципа относительности является неизменность (инвариантность) рассматриваемых физических законов при преобразованиях Галилея.

Когда-то, до второй половины и даже до конца XIX в., считали, что всю физику можно построить на основе ньютоновских уравнений движения. Тем самым считался всегда справедливым и классический принцип относительности. Развитие электродинамики поставило, однако, классический принцип относительности под сомнение. Уравнения электродинамики (уравнения Максвелла) при преобразованиях Галилея не сохраняют своей формы, и поэтому применение этих преобразований приводит к заключению: классический принцип относительности в электродинамике нарушается, и, в частности, свет и электромагнитные волны всех других диапазонов в вакууме в различных инерциальных системах распространяются по-разному. Если вводимая тогда «светоносная среда» — эфир — неподвижна в одной из инерциальных систем (в системе K), то в этой системе независимо от направления скорость света $c = 2,99792458 \cdot 10^{10}$ см/с. В других же инерциальных системах K' , движущихся относительно эфира со скоростью v (вдоль осей x и x'), как ясно из преобразований Галилея, скорость света $c' = c - v$ при распространении света вдоль x и x' , и $c' = c + v$ при распространении света против осей x и x' и т.д.

Но опыты опровергли столь ясный, казалось бы, вывод: все эксперименты, начиная со знаменитого опыта Майкельсона, впервые проведенного в 1881 г. и затем неоднократно повторявшегося, подтверждают справедливость принципа относительности и в электродинамике, и вообще для всей физики. Но как же тогда в согласии с принципом относительности скорость света может равняться одной и той же величине в разных системах отсчета, когда из преобразований Галилея очевиден противоположный вывод?

Понадобилось почти четверть века, чтобы в итоге мучительных поисков прийти к решению, составляющему ядро и основу СТО и сводящемуся к отказу от преобразований Галилея. Точнее, как это обычно бывает в подобных случаях, от них не отказались, а был понят их приближенный характер. Точные же формулы, связывающие координаты и время в системах K' и K , имеют вид

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

(преобразования Лоренца).

Если скорость v рассматриваемых инерциальных систем друг относительно друга достаточно мала по сравнению со скоростью света c , то преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея; отсюда и ясна их точность, характеризуемая параметром v^2/c^2 . Для близкого спутника Земли скорость $v \approx 8$ км/с и $v^2/c^2 \sim 10^{-9}$. Скорость Земли относительно Солнца $v \approx 30$ км/с и $v^2/c^2 \sim 10^{-8}$. Уже из этих примеров ясно, что в области механических явлений, с которыми мы сталкиваемся в повседневной жизни, преобразования Галилея и вся связанная с ними ньютоновская механика справедливы с огромной точностью. Но в электродинамике и при исследовании релятивистских частиц — частиц, движущихся с высокой скоростью v , сравнимой со скоростью света в вакууме c , — нужно пользоваться преобразованиями Лоренца. Одно из их следствий — равенство

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2.$$

Если учесть, что уравнение фронта сферической световой волны имеет вид

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = 0$$

то указанное равенство сразу же свидетельствует о справедливости принципа относительности при распространении света — во всех инерциальных системах скорость света одинакова и равна c .

Здесь, разумеется, было бы неуместно подробнее излагать основы СТО¹, но не сообщить или не напомнить сказанное выше невозможно: под СТО как раз понимают теоретические построения, базирующиеся на принципе относительности и преобразованиях Лоренца. Без понимания того, что это значит, нельзя понять, как и кто создал СТО. Для известной полноты картины заметим, что в настоящее время отдельный курс «специальная теория относительности» студентам обычно не читается. Дело в том, что о принципе относительности и преобразованиях Лоренца рассказывают в курсе общей физики и повторяют это в курсе электродинамики. Весь же остальной материал, который составлял содержание курсов СТО, теперь естественным образом вошел в различные разделы теоретической физики (теорию поля, электродинамику сплошных сред и т.д.). Тем самым лишний раз подчеркивается тот факт, что главное в СТО — это новые по сравнению с дорелятивистской физикой пространственно-временные представления, находящие отражение в замене преобразований Галилея преобразованиями Лоренца.

Содержание последних, если говорить о физике, не сводится только к самим приведенным простым формулам, связывающим координаты и время: $x', y', z', t', c, x, y, z, t$. Как всегда в физике, нужно также установить смысл всех величин — указать основу используемых методов измерения координат и времени, уточнить некоторые свойства служащих для этой цели масштабов и часов. Относится сюда, в частности, и вопрос о синхронизации часов в каждой из систем K и K' . Так, координаты и время, фигурирующие в преобразованиях Лоренца, определены таким образом, что события, одновременные в системе K (время t), не одновременны в системе K' (время t'). Отказ от абсолютного времени является особенно радикальным выводом (им мы обязаны Эйнштейну). По своему значению и трудности этот вывод можно сравнить с отказом от абсолютной неподвижности Земли, лежащим в основе гелиоцентрической системы Коперника.

§ 2. Как и кто создал СТО?

Путь к СТО лежал, как ясно из сказанного, через преодоление фундаментальной трудности — принцип относительности на опыте соблюдается и в электродинамике (а не только в механике), но это не совместимо с преобразованиями Галилея. Впрочем, Лоренц и другие пытались устранить противоречие без отказа от преобразований Галилея — путем предположения о том, что все тела при их движении относительно эфира сокращаются. Если масштаб, длина которого в покое относительно эфира равна l , при движении со скоростью v имеет длину $l\sqrt{1 - v^2/c^2}$, то можно объяснить, почему некоторые опыты не обнаруживают движения тел относительно эфира и их результаты не зависят от скорости движения Земли относительно Солнца. Гипотезы сокращения, однако, не для всех опытов достаточно; становились известными все новые опыты, которые находились в согласии с

¹Помимо уже цитированной книги В. Паули упомянем о популярной книге М. Борна «Эйнштейновская теория относительности» (М.: Мир, 1972) и вводных главах курсов Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица «Теория поля» (М.: Наука, 1988) и В.А. Уварова «Специальная теория относительности» (М.: Наука, 1977). О физическом содержании СТО см. также статью Е.Л. Фейнберга (УФН, 1975, т. 116, с. 709). История создания и развития теории относительности освещена, в частности, в книге У.И. Франкфурта «Специальная и общая теория относительности: Исторические очерки» (М.: Наука, 1968); см. также статьи И.Ю. Кобзарева (УФН. — 1974 г. — Т. 113. — С. 679; 1975. — Т. 115. — С. 545). Особенно см. книгу А. Пайса, упоминаемую ниже.

принципом относительности и для своего объяснения требовали дополнительных гипотез. Такое положение, конечно, неудовлетворительно, и Лоренц упорно старался «показать, что многие электромагнитные явления строго, т.е. без пренебрежения членами высших порядков, не зависят от движения системы». Для этой цели Лоренц стремился показать, что для равномерно и прямолинейно движущегося (относительно эфира) тела уравнения электродинамики допускают решения, которые определенным образом соответствуют решениям для такого же покоящегося тела. Соответствие достигается в результате перехода к новым переменным x' , y' , z' и t' с помощью преобразований Лоренца, а также введения новых (штрихованных) векторов электромагнитного поля. В результате таких преобразований форма уравнений поля не изменяется, т.е. они имеют одинаковый вид для старых (нештрихованных) и новых (штрихованных) величин. Такое свойство называется инвариантностью — в данном случае инвариантностью уравнений электромагнитного поля относительно преобразований Лоренца.

Сейчас, после создания СТО, мы знаем, что это свидетельствует как раз о соблюдении принципа относительности в электродинамике, но Лоренц отнюдь не считал время t' временем в движущейся системе отсчета; он называл это время местным и полагал, что имеет «дело просто со вспомогательными величинами, введенными лишь с помощью математического ухищрения. В частности, переменную t' нельзя было назвать «временем» в том же смысле, как переменную t » (с. 193). В 1915 г. Лоренц писал то же самое: «Главная причина моей неудачи заключалась в том, что я всегда придерживался мысли, что только переменную t можно принять за истинное время и что мое местное время t' должно рассматриваться не более как вспомогательная математическая величина. В теории Эйнштейна, напротив, t' играет ту же роль, что и t » (с. 197). В 1927 г., за год до смерти, Лоренц высказывался еще более определенно: «Для меня существовало только истинное время. Я рассматривал свое преобразование времени только как эвристическую рабочую гипотезу. Итак, теория относительности является фактически работой исключительно Эйнштейна» (с. 263). Добавлю, что, перечитав сейчас (через 70 лет после их опубликования!) работы Лоренца и Пуанкаре и зная заранее результат (а это, как известно, чрезвычайно облегчает понимание), я лишь с трудом смог понять, почему доказанная в этих работах инвариантность уравнений электродинамики относительно преобразований Лоренца могла тогда рассматриваться в качестве свидетельства справедливости принципа относительности. К тому же Лоренц и Пуанкаре понимали этот принцип лишь как утверждение о невозможности заметить равномерное движение тела относительно эфира. Перейти отсюда к рассмотрению всех инерциальных систем отсчета, как совершенно равноправных (такова современная формулировка принципа относительности) можно без особого труда, только если понимать преобразования Лоренца как имеющие смысл перехода к движущейся системе отсчета.

Как мы видели, Лоренц последнего определенно не считал. Позиция Пуанкаре менее ясна. В его статье 1905—1906 гг. просто утверждается, что уравнения электродинамики «можно подвергнуть замечательному преобразованию, найденному Лоренцем, которое объясняет, почему никакой опыт не в состоянии обнаружить абсолютное движение Земли» (с. 122). Само же это «объяснение», на мой взгляд, не идет дальше объяснения Лоренца. Вообще о своей работе Пуанкаре пишет: «Результаты, полученные мною, согласуются во всех важных пунктах с теми, которые получил Лоренц. Я стремился только дополнить и видоизменить их в некоторых деталях. Некоторые имеющиеся расхождения, как мы увидим дальше, не играют существенной роли» (с. 119). С другой стороны, в более ранних работах, статьях и докладах Пуанкаре имеется ряд замечаний, звучащих почти пророчески. Речь идет и о необходимости определить понятие «одновременность», и о возможности использовать для этой цели световые сигналы, и о принципе относительности. Но Пуанкаре не развил этих соображений и в своих работах 1905—1906 гг. следовал за Лоренцем. Как уже подчеркивалось, они в основном стремились показать и показали, при каких предпо-

ложениях равномерное движение тел относительно эфира будет совершенно незаметно. Между тем Эйнштейн в его работе 1905 г., можно сказать, «обернул» всю постановку вопроса — он показал, что, приняв принцип относительности и осуществив синхронизацию часов светом (а также приняв, что скорость света не зависит от движения источника), никаких других дополнительных гипотез делать не нужно: преобразования Лоренца и, как следствие, сокращение движущихся масштабов и замедление хода движущихся часов непосредственно следуют из указанных предположений.

Таким образом, если судить по опубликованным материалам, Пуанкаре, был, по-видимому, довольно близок к созданию СТО, но до конца не дошел. Почему так произошло, можно только гадать. Возможно, главная причина в том, что Пуанкаре был все же в первую очередь математиком и в этой связи ему особенно трудно было подняться (или опуститься?) до четкого понимания столь важных для физики сторон проблемы, как достаточно определенное уточнение смысла всех вводимых величин и понятий. Другая, хотя и близкая, гипотеза такова: Пуанкаре помешала его приверженность к конвенционализму, т.е. течению, подчеркивающему (и переоценивающему) роль условных элементов и определений в физике. Какая-то конвенциональность при построения физических теорий совершенно несомненна. Длину можно измерять и в метрах, и в футах, а также и рядом необычных и экстравагантных методов. То же относится ко времени, к другим величинам, а также к определению одновременности — такое определение не предписано однозначно. Но конечный результат — содержание физической теории (в отличие от формы записи и т.п.) — не является условным, а определяется природой, объектом исследования. Переоценка конвенционального элемента в познании может помешать уточнению понятий. Могло это сказаться, в частности, на том, что Пуанкаре не уточнил смысла «истинного» времени t и «местного» времени t' , которые на самом деле в одинаковой мере истинны, но являются, если угодно, «местным» временем соответственно для систем K и K' .

Должен подчеркнуть, однако, что подобные гипотезы, в данном случае касающиеся Пуанкаре, не только произвольны, но и вообще незаконны, неправомочны. Пуанкаре, несомненно, принял активное участие в создании СТО, его вклад бесспорен. Спрашивать же, почему он не выполнил еще и работу Эйнштейна, можно не с большим основанием, чем и в отношении всех физиков того времени, — великие работы потому и великие, что сделать их крайне трудно.

Поскольку вопрос о вкладе Пуанкаре при создании СТО широко обсуждается, в частности, в настоящей статье, уместно привести здесь мнение на этот счет, высказанное Л. де Бройлем. В своей речи, произнесенной в 1954 г. в связи со столетием со дня рождения А. Пуанкаре, де Бройль говорит (см.: *Пуанкаре А. Избр. труды.* — М.: Наука, 1974. — Т. 3.—С. 706,707]; «Еще немного и Анри Пуанкаре, а не Альберт Эйнштейн первым построил бы теорию относительности во всей ее общности, доставив тем самым французской науке честь этого открытия... Однако Пуанкаре так и не сделал решающего шага и предоставил Эйнштейну честь разглядеть все следствия из принципа относительности и, в частности, путем глубокого анализа измерений длины и времени выяснить подлинную физическую природу связи, устанавливаемой принципом относительности между пространством и временем. Почему Пуанкаре не дошел до конца в своих выводах? Несомненна чрезмерно критическая направленность его склада мышления, обусловленная, быть может, тем, что Пуанкаре как ученый был прежде всего чистым математиком. Как уже говорилось ранее, Пуанкаре занимал по отношению к физическим теориям несколько скептическую позицию, считая, что вообще существует бесконечно много логически эквивалентных точек зрения и картин действительности, из которых ученый, руководствуясь исключительно соображениями удобства, выбирает какую-то одну. Вероятно, такой номинализм иной раз мешал ему признать тот факт, что среди логически возможных теорий есть такие, которые ближе к физической реальности, во всяком случае лучше согласуются с интуицией физика, и тем самым больше могут помочь ему. Вот почему молодой Альберт Эйнштейн, которому в то время исполнилось лишь 25 лет и математические знания которого не могли идти в сравнение с глубокими познаниями гениального французского ученого, тем не менее раньше Пуанкаре нашел синтез,

сразу снявший все трудности, использовав и обосновав все попытки своих предшественников. Этот решающий удар был нанесен мощным интеллектом, руководимым глубокой интуицией о природе физической реальности.

Однако блестящий успех Эйнштейна не дает нам права забывать о том, что проблема относительности была еще ранее глубоко проанализирована светлым умом Пуанкаре и что именно Пуанкаре внес существенный вклад в будущее решение этой проблемы. Без Лоренца и Пуанкаре Эйнштейн не мог бы достичь успеха».

Как нам представляется, позиция де Бройля, относящегося к памяти А. Пуанкаре с глубоким уважением и максимальной благожелательностью, должна рассматриваться как еще одно свидетельство того, что основным автором СТО является А. Эйнштейн (см. также детальный анализ работы Пуанкаре «К динамике электрона» в статье: *Miller A.I. // Archive for History of Exact Sciences. — 1983. — V. 10. — P. 207–328*).

Примерно к такому же выводу, как и де Бройль («Пуанкаре так и не сделал решающего шага...»), приходит на основании анализа всех известных данных А. Пайс в упоминаемой ниже биографии Эйнштейна. В частности, Пайс обращает внимание на лекцию Пуанкаре «Новая механика», прочтенную им в 1909 г. (см.: *Пуанкаре А. О науке. — М.: Наука, 1983. — С. 498*). В этой лекции говорится, что для создания новой (релятивистской) механики необходимо сделать помимо принципа относительности «гипотезу, еще более поразительную и трудно допустимую», что «все тела во время движения изменяют свою форму, сжимаясь в направлении движения». Между тем, как мы уже подчеркивали, Эйнштейн в работе 1905 г. показал, что сжатие тел является прямым следствием преобразований Лоренца или, несколько точнее, кинематики специальной теории относительности (другое дело, что сжатие тел не противоречит, конечно, и релятивистской динамике).

Роль работы Эйнштейна, ее смысл, помимо уже сказанного, поясним его же словами, содержащимися в письме, написанном за два месяца до смерти¹: «Вспоминая историю развития специальной теории относительности, мы можем с уверенностью сказать, что к 1905 г. открытие ее было подготовлено. Лоренц уже знал, что преобразование, получившее впоследствии его имя, имеет существенное значение для анализа уравнений Максвелла, а Пуанкаре развил эту мысль. Что касается меня, то я знал только фундаментальный труд Лоренца, написанный в 1895 г., но не был знаком с его более поздней работой и со связанным с ней исследованием Пуанкаре. В этом смысле моя работа была самостоятельной. Новой в ней была мысль о том, что значение преобразования Лоренца выходит за рамки уравнений Максвелла и касается сущности пространства и времени. Новым был и вывод о том, что «инвариантность Лоренца» является общим условием для каждой физической теории. Это было для меня особенно важно, так как я еще раньше понял, что максвелловская теория не описывает микроструктуру излучения и поэтому не всегда справедлива».

Так что же все-таки создал специальную теорию относительности, спросит читатель, желающий получить простой ответ. Как и в большинстве подобных случаев, СТО не является открытием или результатом, целиком принадлежащим одному человеку. Но главную роль в создании СТО большинство физиков (и я в том числе), безусловно, отводит Эйнштейну, так как именно его работа содержала «изложение совершенно нового и глубокого понимания всей проблемы» (В. Паули, с. 201) и была «тем последним и решающим элементом в фундаменте, заложенном Лоренцем, Пуанкаре и другими, на котором могло держаться здание...» (М. Борн, с. 238). К числу этих «других» следует в первую очередь

¹Цитируем по книге К. Зелига «Альберт Эйнштейн» (М.: Атомиздат. 1966), (см. с. 67 этой книги; несколько другой перевод см. на с. 236 рецензируемого сборника). Упомянем также о последней, причем выдающейся по своим качествам биографии А. Эйнштейна, написанной А. Пайсом (*Pais A. Subtle is the Lord...: The Science and the Life of Albert Einstein. — Oxford: Oxford Univ. Press, 1982*). Русский перевод: *Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. — М.: Наука, 1989*.

отнести Лармора, который еще в 1900 г. получил преобразования Лоренца (еще раньше, в 1887 г., очень близкие по типу преобразования использовал Фогт).

Существуют и другие оценки роли Эйнштейна, Лоренца и Пуанкаре в создании СТО. И если экстремистские взгляды, сводящиеся к отрицанию вклада Эйнштейна, не заслуживают, по моему убеждению, никакого внимания, то более умеренные формулировки типа «СТО создана Лоренцем, Пуанкаре и Эйнштейном» остаются в конце концов делом их авторов — нельзя же такие вещи декретировать, и никто еще не изобрел весов, на которых с аптекарской точностью удалось бы отмерять научные заслуги. По этой и некоторым другим причинам приоритетные споры, а тем более дразги, достаточно частые в научной среде, обычно вызывают чувство протеста. Но об этом — в следующем параграфе. Сейчас же кажется уместным во избежание недоразумений сделать замечание, касающееся названия «теория относительности Эйнштейна».

Такое словопотребление совершенно естественно и законно, тем более что оно отнюдь не тождественно с названием «специальная теория относительности Эйнштейна». Цело в том, что под теорией относительности, если не уточнять, понимают и специальную (СТО), и общую теорию относительности (ОТО). Общая теория относительности обобщает и развивает СТО и, как принято считать, является непревзойденной вершиной теоретической физики¹. Например, М. Борн в 1955 г. в своем докладе заявил: «Я считал и считаю поныне, что это — величайшее открытие человеческой мысли, касающееся природы, открытие, в котором удивительнейшим образом сочетаются философская глубина, интуиция физика и математическое искусство. Я восхищаясь им как творением искусства». Выразительно также замечание самого Эйнштейна, сделанное им в 1912 г. в письме А. Зоммерфельду, как раз в период создания ОТО: «По сравнению с этой проблемой первоначальная теория относительности (т.е. специальная, или частная, теория. — В.Г.) является просто детской игрушкой». Из другого письма Эйнштейна мы знаем, что «период со дня зарождения идеи о специальной теории относительности и до окончания статьи, в которой она изложена, составил пять или шесть недель». На построение же общей теории относительности Эйнштейн затратил около 8—9 лет (с 1906 г. или 1907 г. по 1915—1916 гг.), а затем ее развитием занимался вплоть до своей смерти 18 апреля 1955 г. К этому нужно еще раз добавить, что общая теория относительности в максимально известной в истории науки степени — создание одного автора — Эйнштейна. Наконец, теория относительности стала достоянием широкой публики и вышла за пределы чисто научных кругов только в 1919 г., когда впервые было наблюденно предсказанное ОТО отклонение световых лучей, проходящих вблизи Солнца. Следовательно, общую теорию относительности в целом можно связать только с именем Эйнштейна.

§ 3. Замечания о приоритете

Явно или неявно, но вопрос о приоритете занимает видное место в жизни научно-технической среды. Иногда без этого действительно трудно обойтись, например при выдаче патентов или авторских свидетельств на изобретение. Но нередко внимание к приоритету, а тем более борьба за приоритет гипертрофированы под действием таких человеческих страстей, как честолюбие, тщеславие, а иногда и похуже. В применении к таким случаям можно было бы сказать, что «вопросы приоритета — грязное дело». Хотелось бы сделать это «дело» более чистым, и, вероятно, такая задача небезнадежна, поскольку неблагоприятное поведение в вопросах приоритета не может быть врожденным, оно не записано

¹Поскольку здесь нет возможности подробнее остановиться на месте ОТО в развитии физики, позволю себе сослаться на свою статью «Гелиоцентрическая система и общая теория относительности (от Коперника до Эйнштейна)», помещенную в книге: *Гинзбург В.Л. О теории относительности*. — М.: Наука, 1979.

генетическим кодом. Другими словами, устранение ненормальных явлений в сфере установления приоритета в значительной мере является задачей воспитания. И нет здесь лучшего метода воспитания, чем примеры, достойные подражания. Вот ради такого примера я, собственно, и решил написать настоящий параграф.

В рецензии были приведены утверждения о том, что Эйнштейн не создавал специальной теории относительности. Как же он сам реагировал на подобные высказывания? Ответ ясен из переписки между Борном и Эйнштейном. В 1953 г. Борн писал Эйнштейну из Эдинбурга: «Престарелый математик Уиттекер, с которым я дружу, проживающий здесь в качестве почетного профессора, подготовил новое издание своей старой „Истории развития теории эфира“, второй том которой уже вышел в свет. Он содержит в числе прочего также и историю создания теории относительности с той особенностью, что ее открытие приписывается Пуанкаре и Лоренцу, между тем как твои работы упоминаются лишь как второстепенные. Хотя книга происходит из Эдинбурга, я, собственно говоря, не боюсь, что тебе может прийти в голову, будто я стою за этим делом. Фактически вот уже три года, как я делал все возможное, чтобы отговорить Уиттекера от его намерения, которое он давно лелеял и любил пропагандировать. Я перечитал старые оригинальные статьи, в том числе некоторые статьи Пуанкаре, и снабдил Уиттекера английскими переводами немецких работ... Но все было тщетно. Он настаивал на том, что все существенное содержалось уже у Пуанкаре и что Лоренцу было вполне ясно физическое толкование. Ну, мне-то уже известно, сколь в действительности скептически был настроен Лоренц и как много времени прошло, пока он стал „релятивистом“. Все это я рассказал Уиттекеру, но без успеха. Эта история злит меня, поскольку он пользуется большим авторитетом в говорящих по-английски странах, и многие ему поверят. К тому же мне в особенности неприятно, что в свое изложение он ввел всевозможные частные сообщения по поводу квантовой механики таким способом, что моя роль в ней в особенности расхваливается. Так что многие (если даже и не ты сам) могут подумать, что я сам дурным образом причастен к этому делу».

Ответ Эйнштейна от 12 октября 1953 г. был таков: «Дорогой Борн! Выбрось из головы все мысли по поводу книги твоего друга. Каждый ведет себя, как это представляется ему правильным, или, выражаясь детерминистически, как ему предначертано. Если он убедит других — это их дело. Что касается меня, то я во всяком случае нашел удовлетворение уже в процессе своих усилий. Я не считаю, однако, разумным делом защищать пару своих результатов как свою „собственность“, уподобляясь старому скряге, собравшему, надрываясь, пару грошей. Я не питаю к Уиттекеру и уж, разумеется, к тебе никакого зла. Да ведь вовсе и нет нужды мне читать эту штуку»¹.

Этот ответ очень характерен для Эйнштейна, и тем, что мало знаком с его биографией, он пояснит многое. Да, собственно, он пояснит главное — в чем «секрет» исключительной популярности Эйнштейна в современном мире. Тот факт, что он был величайшим из великих физиков нашего, да и не только нашего века, — это основное, но далеко не все. Эйнштейн еще и боролся за справедливость, за свободу и другие права человека, презирал темные силы и являл пример благородства и высокого человеческого достоинства. И просто невозможно себе представить, чтобы Эйнштейн вступил в приоритетные споры, не говоря уже о дрязгах. То же можно сказать о Лоренце и Пуанкаре. Лоренц, так много сделавший для создания СТО, отдавал честь созданию этой теории «исключительно Эйнштейну», отмечал вклад Пуанкаре. Последний превозносил роль Лоренца. Эйнштейн подчеркивал заслуги Лоренца и Пуанкаре. Можно подозревать, что Пуанкаре не считал вклад Эйнштейна особенно значительным и, возможно, даже полагал, что он и сам «все

¹См.: *Albert Einstein, Hedwiga and Max Born. Briefwechsel, 1916—1955.* — Munchen, 1968, а также: *Эйнштейновский сборник, 1972.* — М.: Наука, 1974. — С. 71.

сделал». Но в том-то и дело, что о настроениях Пуанкаре мы пытаемся догадаться по его молчанию, а не на основании каких-то высказанных им претензий.

И какой же разительный контраст по сравнению с тем, что пришлось повидать! Вспоминая поведение некоторых борцов за приоритет (разумеется, за их собственный приоритет, хотя это и прикрывалось фразами об интересах науки), приходит на ум мелькавший в литературе рассказик о беспризорном, требовавшем деньги в такой форме: «Тетка, дай гривенник, не то в морду плюну, а у меня болезнь заразная». И, вероятно, давали тетki гривенники, и уж заведомо цитировали и цитировали вымогателей, требовавших этого во славу своего приоритета. Не стоило бы об этом и вспоминать, если бы не убежденность в том, что бациллы «приоритетомании» живы, и во избежание неприятностей руки по-прежнему все время нужно мыть. Учат же с детства не плевать на пол, уступать место пожилым людям и многому подобному, а презрительное отношение к правилам «хорошего поведения», как к буржуазному предрассудку, давно уже сменилось их признанием. Точно так же когда-то и в какой-то форме нужно учить молодежь и тому, что и когда можно позволять себе в области приоритета. Тот факт, что писанных правил здесь не существует, довольно естествен и не является особым препятствием.

Чтобы не быть неправильно понятым, а то и обвиненным в лицемерии, должен подчеркнуть, что ни в какой мере не собираюсь объявить само внимание к приоритетным вопросам каким-то недостойным или мелким чувством и т.п. Напротив, насколько известно, большинство людей, занимающихся наукой (не хочется лишний раз употреблять заштампованное слово «ученый»), интересуются приоритетом, равнодушны к нему, и это достаточно естественно. Получение новых научных результатов, и по возможности важных, значительных и интересных, как раз и является целью этих людей. И получить результат нужно впервые или хотя бы одновременно и независимо от других. Чем больше получено результатов, тем с большей уверенностью их автор может считать, что жизнь прожита не зря, не говоря уже о признании в научной среде и более прозаических благах. Поэтому практически все (исключение составляют так называемые «люди не от мира сего») научные работники в той или иной степени интересуются вопросами приоритета — они радуются признанию их работ и огорчаются невниманию и забвению.

Относится это и к людям, выдающимся в научном и человеческом отношении. К их числу все физики, насколько я знаю, относят Пауля Эренфеста, оставившего по себе теплую и благодарную память и в нашей стране (Эренфест одно время жил в России, а затем приезжал в СССР из Голландии, где он был преемником Лоренца на кафедре теоретической физики Лейденского университета). Но вот что писал Эйнштейн Зоммерфельду в 1922 г.¹: «Когда я последний раз был в Лейдене, то заметил, что Эренфест был прямо несчастен, оттого что в последнем издании Вашей книги Вы не отметили его авторство адиабатической гипотезы».

Каким-либо доводом в пользу равнодушия к вопросам приоритета не может служить и приведенное выше письмо Эйнштейна Борну. Эйнштейн тогда находился на склоне дней, а признание уже получил ни с чем не сравнимое. Поэтому если он тогда в какой-то форме сопоставлял специальную теорию относительности с парой грошей, то это еще нельзя обобщить на всю его жизнь. Да и письмо это было приведено не как пример безразличия к приоритету — в нем отражено в первую очередь другое. Это «другое» не позволяет людям требовать признания и цитирования, подобно тому как не требуют и даже не просят уважения и любви, — их завоевывают другими путями. В вопросах приоритета тоже есть такие пути. Но невозможно себе представить, скажем, Эренфеста, требующего упоминания его имени в книге Зоммерфельда с помощью письма в «местком» Мюнхенского университета (Зоммерфельд был там профессором) или, например, в редакцию какого-нибудь журнала.

¹Переписка Эйнштейна с Зоммерфельдом частично опубликована в переводе на русский язык: *Зоммерфельд А. Пути познания в физике*. — М.: Наука, 1973.

Если же под влиянием минутного раздражения или в силу каких-то причин «обиженный» все же пишет какое-то письмо в редакцию или вообще реагирует не так, «как надо», то сам же об этом обычно потом жалеет, стыдится своего поведения. С сожалением должен признаться, что вспоминаю несколько таких случаев из собственной практики. В общем опыт показывает, что в вопросах приоритета, за редкими исключениями (такие, конечно, существуют), самый правильный путь — это просто молчать, иначе может остаться неприятный осадок, и он горше отсутствия каких-то ссылок, кажущегося или даже истинного невнимания. Большинство людей так и поступает.

Справедливости ради нужно заметить, правда, что такое отношение к вопросам приоритета в каком-то смысле на руку ничтожному, но довольно неприятному и крикливому меньшинству.

Проходит научная конференция. В кулуарах, за круглым столом собралась группа участников, они обсуждают будоражающие новости, тему завтрашнего заседания. Идет обмен мнениями, гипотезами, рождаются идеи. На другой день один из участников этой дискуссии выступает на заседании самой конференции, излагает коллективное мнение, явно упоминая об этом. Потом идут прения. Все это будет опубликовано через пару лет в трудах конференции. Но уже через пару месяцев в известном журнале появляется статья одного из участников дискуссии. Он ничего не упоминает, ни дискуссии, ни ее участников, но использует ее результаты. Возможно, что этот автор и на самой дискуссии первым сказал какое-то «э». В любом случае он что-то добавил новое, когда писал статью. Так что это отнюдь не плагиат в обычном смысле слова.

Или другой пример. Человек получает препринт (например, ротاپринтированную копию статьи, направляемой в журнал) и видит там интересную идею. Может быть, получивший препринт имел аналогичную идею, но не стал публиковать. Может быть, просто досада взяла, что сам не додумался. Так или иначе, пишется статья на ту же тему, но с примечанием: «Когда настоящая работа уже была сделана, нам стала известна статья...». И упрекнуть-то вроде автора не в чем — он ведь сослался — и попробуй докажи, что раньше ничего или мало что сделал. И если авторы подобных научных работ люди способные, сами вносят какой-то вклад и никогда не делают ошибок наивных дебютантов, списывающих целые страницы, то их деятельность внешне вполне успешна.

Как с этим бороться? Писать протестующие статьи в журналы? Да это заденет пишущего не меньше, чем заслуженно им критикуемого. Для тех, кто огорчен подобной ситуацией, могу в утешение высказать только такую гипотезу: незаслуженные известность и слава, вероятно, не доставляют такого же удовольствия, как заслуженные. И к тому же за круглым столом ведь сидело человек двадцать, и некоторые из них все помнят, так что правда может выплыть наружу, — понимание этого тоже не доставляет удовольствия нашему «герою».

Можно было бы сделать много и других замечаний на приоритетные темы. Тут и вопрос о подсознательных явлениях, когда человек забывает об услышанном или прочитанном и ему вполне искренне кажется, что идея потом появилась у него самого. Тут и вопросы о дипломах за открытия и различных премиях, в частности Нобелевских. Но для этого здесь нет места, и ограничусь еще лишь замечанием о приоритете, связанном с «потусторонним миром», с выяснением приоритетных споров в отношении людей, уже давно ушедших от нас.

Спора нет, ответ на вопрос, кто создал теорию или сделал открытие, в той или иной мере связан с приоритетом. «Разыскание», как говорят литературоведы, новых документов и фактов можно только приветствовать. Но могут ли не вызывать чувство досады различные домыслы, например о том, знал ли Эйнштейн работу Лоренца 1904 г.? Эйнштейн вполне четко и, кажется, не раз указывал, что не знал об этой работе, когда писал свою статью. Но вот Дж. Кисуани, отмечая, что «прямых доказательств по этому вопросу нет» (с. 254), посвящает ему тем не менее несколько страниц, стараясь с помощью

анализа терминологии доказать, что Эйнштейн все же знал работу Лоренца, хотя она и была опубликована в малодоступном журнале. А.А. Тяпкин, потративший так много сил для доказательства (с моей точки зрения, совершенно излишнего) того, сколь значителен был вклад Лоренца, отмечает, что с выводом Кисуани «никак нельзя согласиться» (с. 327). Таким образом, А.А. Тяпкин не склонен, видимо, считать текстологию методом, особенно подходящим для решения приоритетных вопросов в физике. Но выдвигаемые им самим принципы немногим лучше. Так, он считает, что вопросы приоритета в создании теории «недопустимо оценивать... исходя в основном из факта признания самим автором незначительности собственного вклада в решение проблемы. Подобные признания могут характеризовать лишь степени понимания автором значения своего труда, да и то после поправки, учитывающей скромность автора» (с. 272).

Хорошо известно, что признание обвиняемого не считается на суде доказательством его виновности, ибо это признание может оказаться вынужденным или иметь целью оградить истинного виновника. Но почему же мы не должны верить утверждению Лоренца, что он не создал специальную теорию относительности? Да и вообще, не звучит ли крайне странным стремление приписать какому-то автору приоритет вопреки его мнению и желанию? И не является ли непонимание автором значения его труда лучшим указанием на тот факт, что труд этот далеко не был завершен?

В связи со сказанным вспоминаются два рассказика, имеющих под собой реальную почву. Но, поскольку я позабыл источники и детали, приведу их в форме анекдотов. Первый из них таков: «В своих воспоминаниях Гете заметил, что больше всего в своей жизни он любил Гретхен; комментатор же собрания сочинений Гете сделал к этому месту такое примечание: здесь Гете ошибается, больше всего он любил Лизхен». Второй анекдот — совсем почти быль. «Некто физик А. в разговоре с физиком Б. заметил, что он получил основное уравнение квантовой механики — уравнение Шредингера — еще до Шредингера, но не стал публиковать статью на этот счет, ибо не счел результат достаточно важным. На это Б. ответил: не советую вам еще кому-либо рассказывать об этом, ибо не вывести уравнение Шредингера не стыдно, но вот действительно стыдно получить такой замечательный результат и совсем не понять его значения».

Шутки шутками, но ведь недаром говорят, что в каждой шутке есть доля правды. Так или иначе, я думаю, что при обсуждении приоритетных споров исторического характера типа вопросов истории создания СТО не мешает, дабы не потерять чувства меры, вспоминать некоторые шутки.

§ 4. Об источнике научного знания

Надежно установлено, что одни и те же по существу научные результаты иногда получают совершенно независимо друг от друга разные люди. Классическим примером является построение неевклидовой геометрии. История создания СТО также являет собой не столь яркий, но в общем аналогичный пример (имеется в виду, скажем, параллелизм между некоторыми результатами Эйнштейна, с одной стороны, и Лоренца и Пуанкаре — с другой). Здесь мы имеем в виду не сроки, не даты поступления сообщений в печать. Разумеется, почти невероятно, чтобы и эти даты совпадали, да это и совершенно неважно в плане установления независимости открытия. И такая независимость довольно многих, по-видимому, поражает и удивляет. Одним из элементарных проявлений подобного удивления является как раз стремление во что бы то ни стало найти какие-то связи, фактическую зависимость между разными авторами. Действительно, это же проще всего: получил точно такой же результат, значит, подглядел, как-то узнал о том, что сделал предшественник. Но, конечно, это в целом несерьезно.

Другая крайность (мне кажется, что слово «крайность» здесь подходит) заключается в привлечении какой-то иррациональности, религии. Речь не идет о «боге с бородой» или

с атрибутами официальных религий. Имеется в виду какая-то форма пантеизма или «космической религии». Например, по словам Эйнштейна «космическое религиозное чувство является сильнейшей и благороднейшей из пружин научного исследования. Только те, кто сможет по достоинству оценить чудовищные усилия и, кроме того, самоотверженность, без которых не могла бы появиться ни одна научная работа, открывающая новые пути, сумеют понять, каким сильным должно быть чувство, способное само по себе вызвать к жизни работу, столь далекую от обычной практической жизни».

С подобной точки зрения, видимо, именно одно и то же религиозное чувство внушает разным людям одни и те же идеи. Но подробнее и точнее объяснить эту концепцию я не могу, так как не вполне ее понимаю и не разделяю в той мере, в какой понимаю. Сколь угодно сильные чувства и страстное стремление выяснить истину, несомненно, могут не иметь ничего общего с религией. Что же касается близости идей, независимо возникающих у различных людей, то это вполне естественным образом объясняется теорией отражения: человек изучает природу, реальность и, следовательно, его построения и теории являются отражением этой реальности (материальной действительности). Нужно ли удивляться тому, что картины разных художников, если они даже совершенно независимо будут рисовать один и тот же портрет, предмет или пейзаж, окажутся в своей основе похожими одна на другую? Правда, художественное отображение может, и иногда с успехом, очень сильно удаляться от оригинала. В случае же науки требования к отражению значительно более строги — естественнонаучные теории контролируются опытом, математикой, логикой. Поэтому недостаточно точное отражение будет просто признано плохой теорией.

Итак, с такой хорошо известной читателям точки зрения источником научных знаний служит сама природа, не зависящая от нашего сознания действительность. Поэтому не видно трудностей принципиального характера при ответе на вопрос о причинах общности научных теорий, независимо создаваемых разными индивидами.

Та сторона проблемы, быть может, деталь, которая меня некоторое время беспокоила, заключается в следующем. Математики создают понятия и доказывают теоремы, казалось бы, относящиеся к чему-то совершенно не связанному с реальным миром. Многомерные и функциональные пространства, различные неевклидовы геометрии и т.д. и т.п. — где же они реализуются, что отражают? То же самое можно, впрочем, спросить и об огромном многообразии тех физических теорий, которые явно не отвечают действительности, хотя и не встречают логических трудностей. Ответ, который меня более или менее удовлетворил, таков. Представим себе гигантскую вычислительную машину. Запущенная в ход, такая машина способна построить, «выдать», сложнейшие математические конструкции, записанные в виде совокупности цифр или даже описанные словами. Так можно, в частности, смоделировать, как-то отразить особенности и свойства многомерных пространств и т.п. Но полученный «продукт» явно материален и ограничен его непосредственным источником — машиной. Человеческий мозг является признанным аналогом гигантской вычислительной машины (или наоборот, что в данном случае не важно). Таким образом, становится ясным, что все математические результаты, физические теории и все остальные продукты деятельности мозга — это в конечном счете какое-то отражение если не окружающего мира, то работы самого мозга, обусловленное и одновременно ограниченное его материальной сущностью.

Боюсь продолжать эти несколько доморощенные или, скорее, непрофессиональные рассуждения, да и нет в этом нужды. Но не хотелось бы совсем уклониться от обсуждения вопроса, который многих интересует, а кое-кого и волнует.

§ 5. Наука и нравственность

Помимо физики и ее истории настоящая статья оказалась посвященной и многому другому. Поэтому те читатели, которые вообще не прекратили ее чтения еще раньше,

не удивятся и теме этого последнего параграфа комментариев. Да и чему удивляться: и наука, и вопросы нравственности, морали тесно переплетаются, когда речь идет не о самом содержании науки, а об ее истории и истории ее создателей. Непосредственным же поводом написать этот параграф послужила анкета «XX век. Наука и общество», на которую «Литературная газета» просила ответить целый ряд советских и зарубежных ученых. Вопрос N 11 этой анкеты гласил: «Способствует ли само по себе занятие наукой воспитанию высоких нравственных качеств?»

Анкета проводилась в течение примерно двух лет, но мои ответы появились в первой же подборке (3 сентября 1971 г.) и были даны независимо от каких-либо других и, так сказать, «с хода», без длительных размышлений. Ответ на вопрос N 11 был таков: «К сожалению, в пределах имеющихся у меня сведений нет никаких оснований утверждать, что занятие наукой способствует воспитанию высоких нравственных качеств. Вместе с тем такой вывод меня самого удивляет. Видимо, многие другие факторы значительно сильнее и раньше влияют на формирование личности, чем облагораживающее воздействие занятий наукой».

Некоторые другие ответы на тот же вопрос поражали своей разноречивостью. Вот часть одного из них: «...не могу вспомнить ни одного действительно выдающегося ученого, который бы отличался низким уровнем моральных качеств». А вот часть другого ответа: «...крупный негодяй тоже может быть ученым, он может обладать волей, работоспособностью, интересом к познанию». Вообще вопрос N 11 оказался самым интересным, и я, во всяком случае, следил именно за ответами на этот вопрос. В номере «ЛГ» от 19 сентября 1973 г. был опубликован анализ ответов на анкету, проведенный тремя секторами Института истории естествознания и техники АН СССР. И с некоторым удивлением я увидел, что мой ответ на вопрос N 11 был целиком перепечатан с таким резюме: «Ученый приходит к выводу, который во всех отношениях представляется более достоверным. Да, положительное влияние занятий наукой на нравственность ученого кажется весьма вероятным. Однако оно не может быть решающим. Научная работа — это лишь составляющая часть большого комплекса социальных условий, в которых существует человек. Именно этот комплекс, взятый как целое, и определяет нравственное лицо ученого».

Да, комплекс определяет нравственное лицо. Гений и злодейство совместимы. Но все-таки... Все-таки собственный ответ меня не удовлетворяет. Он справедлив только «в среднем», для массы научных работников. Но в науке среднее далеко не всегда характерно, ведь еще Галилей подчеркивал, что в вопросах науки мнение одного бывает дороже мнения тысячи. Поэтому о связи науки с нравственностью тоже можно и нужно судить не только (и, быть может, не столько) по средним «показателям», сколько на примере самых выдающихся представителей. А здесь картина изменяется. Дж. Максвелл, Г. Лоренц, М. Планк, А. Эйнштейн и Н. Бор — крупнейшие представители физики за целое столетие — были людьми с самыми высокими нравственными качествами. Одна из их характерных черт была выражена Эйнштейном с присущей ему афористичностью словами: «Честного человека надо уважать, даже если он разделяет другие взгляды». Должен добавить, что называл лишь имена людей, о которых знаю достаточно много. Несомненно, список следовало бы расширить, и из физиков высшего ранга в него не попала бы, видимо, лишь сравнительно малая доля.

Таким образом, связь, и притом связь положительная, между занятием наукой и воспитанием нравственных качеств все же существует, но в прошлом она пробивала себе дорогу с большим трудом и поэтому проявлялась только статистически и в основном только тогда, когда занятия наукой было подлинным делом жизни, было высоким, всепоглощающим призванием. То же можно сказать и о настоящем.

А что ждет наших потомков в будущем, какой ответ они дадут на вопрос N 11 в 2079 г.?

Разумеется, на этот счет можно только гадать. Генетические изменения в человеческой породе за такое время, в течение трех—пяти поколений, не произойдут, если не думать об искусственном вмешательстве, допустимость которого вызывает самые серьезные возражения. Речь идет поэтому об изменении социальных условий, существенная роль которых в данном случае несомненна. Обсуждать здесь эту большую проблему в целом нет возможности, да я и не считаю себя на это способным. Хотелось бы тем не менее указать на три частных, быть может, второстепенных момента, связанных с развитием науки.

Во-первых, общепризнанное быстрое повышение удельного веса науки в современном мире (несомненно, этот процесс будет продолжаться) должно, вероятно, укрепить и усилить облагораживающее воздействие занятия наукой или, если угодно, ослабить противоположное воздействие многих других факторов. Во-вторых, положительную роль может сыграть улучшение средств информации, их быстрота, практически не знающая барьеров, их всеобщность. В-третьих, существенно увеличение продолжительности человеческой жизни. Талант в физике и математике, да и во многих других областях проявляется рано. Совсем молодой человек способен быстро впитать уже известное и добиться самых выдающихся научных успехов. Напротив, социальный, жизненный опыт накапливается медленно, иногда слишком медленно. Человек многого не сделает повторно, если уж раз обжегся, заплатил за свой опыт дорогой ценой. Поэтому, как можно думать, удлинение жизни, повышение среднего возраста должно прямо или косвенно способствовать укреплению нравственности, причем это особенно резко проявится в научной среде.

Я далеко не уверен в своей правоте; быть может, отмеченное выше является лишь частностью и окажется несущественным на фоне других социальных процессов нашей бурной эпохи. Но каждый имеет право высказать свои предположения, особенно если они помогают ему верить в прогресс человечества.

НУЖНА ЛИ «НОВАЯ ФИЗИКА» В АСТРОНОМИИ?

Дарвиновская лекция, прочитанная (в отсутствие автора) на заседании Королевского астрономического общества (Лондон, 11 апреля 1975 г.).

ВВЕДЕНИЕ

Глубокая связь между астрономией и физикой всегда имела место, но в некоторые периоды она оказывалась особенно тесной и, можно сказать, персональной. Один из таких периодов начался примерно в 1945 г. и продолжается до сих пор — он обусловлен процессом превращения астрономии из оптической во всеволновую астрономию.

Дело в том, очевидно, что развитие радиоастрономии и астрофизики космических лучей, а в последние годы также рентгеновской и гамма-астрономии (не говоря уже о зарождающихся нейтринной астрономии и астрономии гравитационных волн) естественным образом связано с интенсивным притоком новых людей, преимущественно физиков. Эти новые люди в ряде отношений отличаются от астрономов по образованию. В глаза бросаются незнание многими физиками элементарных фактов из области классической астрономии, а также различия в терминологии. Но когда неофитам приходится слышать напоминание о том, что в астрономии наблюдают, а не экспериментируют, то это, конечно, неважно. Другое дело, если речь идет о расхождении во взглядах по принципиальным вопросам. А такие расхождения между астрономами и физиками, а как следствие и между самими астрономами встречаются, и в первую очередь они касаются как раз ответа на вопрос, фигурирующий в заглавии: нужна ли «новая физика» в астрономии?

Обсуждение подобных общих проблем не может существенно повлиять на развитие астрономии, которое происходит в основном в результате новых наблюдений и теоретических исследований, а не путем деклараций принципов. Однако в умеренных дозах и общая дискуссия о взаимосвязи между физикой и астрономией представляет интерес и может оказаться полезной. Мне этот вопрос как-то особенно близок, поскольку я являюсь физиком по образованию и опыту работы (с 1938 г.) и в то же время с 1945 г. начал заниматься также астрофизикой.

Произошло это, кстати сказать, довольно случайным образом — в поисках ответа на вопрос об условиях отражения радиоволн от Солнца [1]. Отсюда возник интерес к механизмам космического радиоизлучения, а затем к проблеме происхождения космических лучей и вообще астрофизике высоких энергий. Таким образом, я оказался связан с рядом новых (и, можно сказать, модных) областей астрономии и имел возможность почувствовать настроения и натяжения на границах между физикой и астрономией.

Сказанное и определило выбор темы настоящей лекции, тем более что не хотелось еще раз использовать здесь материал, уже нашедший отражение в недавно написанных статьях [2, 3].

§ 1. В чем состоит вопрос и как на него отвечают?

Достаточно ли известной в настоящее время физики (или «обычной физики») — квантовой механики, специальной и общей теории относительности и т.п. — для объяснения всех явлений и процессов в космосе? Или же в астрономии необходимо привлекать наряду с известными также какие-то новые, необычные физические представления фундаментального характера, т.е. использовать «новую физику»? Вот в чем вопрос¹.

Точнее, так его можно сформулировать лишь в весьма общей, а потому и могущей повести к недоразумениям форме. Реальные же споры идут обычно о необходимости привлечения «новой физики» не вообще в астрономии, а в тех или иных конкретных случаях: при рождении звезд и тех или иных групп звезд, при образовании и в ходе эволюции галактик и их ядер, для квазаров и особенно в космологии.

Большинство астрономов — будем называть их «умеренными»², не говоря уже о физиках, в общеизвестных успехах астрофизики видят указание на исключительно широкую область применимости известной физики в астрономии. Умеренные не исключают, конечно, возможности того, что где-то, в каких-то особых, экстремальных условиях (в первую очередь вблизи сингулярностей, появляющихся в общей теории относительности) обычной физики уже недостаточно и нужна «новая физика». Но в условиях, далеких от экстремальных, умеренные не склонны выходить за рамки обычной физики, по крайней мере до тех пор, пока это не диктуется необходимостью. Слабым местом такой позиции, которую я и сам разделяю, является как раз неопределенность в установлении того момента, когда же упомянутая необходимость действительно назрела. Решение здесь диктуется научным уровнем и интуицией. Однако соответствующие различия в рядах умеренных не так уж значительны по сравнению с разницей между умеренными и представителями астрономического меньшинства — радикалами³.

Для астрономов-радикалов речь идет не о том, чтобы мучительно сомневаться в возможности выйти за рамки известных физических законов и, наконец, сделать это, если уж они не видят выхода из тупика. Радикалы, напротив, жаждут этого выхода: только он и представляется им, по-видимому, подлинно интересным, применение же обычной физики кажется пресным. Быть может, существенно и такое чувство: если все в астрономии сводится к обычной физике, то и сама астрономия (или во всяком случае астрофизика) становится как бы наукой второго сорта. Естественно, что такие настроения побуждают смотреть на известные законы физики как на некую смиренную рубашку. Но, если это так, то кто же не захочет от нее избавиться?

Разумеется, я огрубляю, стараюсь дойти до предела, чтобы лучше понять психологию радикалов. В таких условиях во избежание каких-либо неточностей и недоразумений лучше всего не приводить конкретных примеров, касающихся наших современников. Ограничусь в этом отношении ссылкой на дискуссию [4], имевшую место в 1970 г. и закончившуюся принятием довольно-таки двусмысленной «резолюции», последний пункт которой гласит: «There is no conclusive evidence that the limits of conventional physics have been surpassed; however, many phenomena are still not adequately explained». («Отсутству-

¹Аналогичный в известной мере вопрос еще острее стоит в биологии: сводится ли все биологическое (в том числе проблема происхождения жизни и вообще отличия живого от неживого) к физическим процессам и физическим законам? По-видимому, и до сих пор на этот счет имеются разные мнения. В случае химии, напротив, сейчас уже никто, видимо, не сомневается о том, что все «химическое» сводится к физике.

²Более подходящим был бы, видимо, термин «здоровые консерваторы», но он более громоздок.

³Вероятно, никогда не устареет замечание Галилея о том, что в вопросах науки мнение одного бывает дороже мнения тысячи. Поэтому упоминание о большинстве и меньшинстве характеризует лишь состояние астрономического общественного мнения, но отнюдь не служит каким-либо дополнительным аргументом по существу.

ют убедительные указания на то, что пределы известной физики уже перейдены; вместе с тем многие явления еще должным образом не объяснены».)

В отношении же тех, кто уже ушел от нас, вряд ли есть какие-либо основания воздерживаться от упоминания, тем более когда это касается Дж. Джинса, к памяти которого все мы относимся с полным уважением. Правда, я знаю лишь его книгу «Астрономия и космология» [5], но не знаком с его биографией и чертами характера. Быть может, однако, это даже хорошо, так как позволяет судить о книге более объективно. Она написана столь ясно и хорошо, что невольно думаешь о том, что блестящее развитие физики и астрономии за последние пятьдесят лет отнюдь не сопровождалось прогрессом в отношении качества научных книг. Что же касается содержания книги, то в интересующем нас плане приведу два примера.

Обсуждение вопроса о спиральной структуре галактик заканчивается так: «Каждая неудача при попытках понять происхождение спиральных ветвей делает все более и более трудным делом противостоять подозрению, что в спиральных туманностях действуют совершенно неизвестные нам силы, быть может, отражающие новые и неожиданные метрические свойства пространства. Предположение, которое действительно возникает, состоит в том, что центры туманностей имеют характер „сингулярных точек“. В этих точках материя втекает в наш мир из некоторого иного и совершенно постороннего пространства. Тем самым обитателю нашего мира сингулярные точки представляются местами, где непрерывно рождается материя» (см. [5, с. 352]).

В отношении же источников энергии в звездах Джинс отвергает предположение о термоядерном синтезе и высказывает гипотезу об аннигиляции протонов с электронами (с превращением их в фотоны), происходящей в атоме. Другими словами, атомы считаются нестабильными: «Мы, таким образом, приходим к заключению, что образование энергии должно быть „моноатомным“ процессом; энергия генерируется одним атомом» (см. [5, с. 123]).

С подобной аннигиляцией Джине связывает, кстати сказать, и происхождение космических лучей. Но здесь хочется подчеркнуть другое: в 1928 г. взаимные превращения ядер уже были известны, но не было совершенно никаких указаний на возможность аннигиляции электронов с протонами в каких-либо условиях. Тем не менее Джинса привлекала именно более радикальная идея, в каком-то смысле предвзявшая отказ от законов сохранения барионного и лептонного зарядов, сделанный позже в стационарной космологии.

Уже из приведенных отрывков видно, что Джинса можно считать подлинным пророком современных астрономов-радикалов. Впрочем, видна все же большая разница, поскольку полстолетия назад состояние физики и астрономии оставляло значительно более широкое поле для неортодоксальных гипотез типа рождения вещества из «другого пространства».

Не нужно думать, что радикалы имеются только среди астрономов. Разумеется, это явление общее и, в частности, довольно распространенное и среди физиков. При этом речь идет в первую очередь не о тех, кто занимается теорией элементарных частиц, квантовой теорией поля и т.п. В этих областях сам фундамент еще не построен и идет поиск новых принципов. Поэтому радикализм в каком-то смысле неизбежен, о чем еще пойдет речь ниже. Но такие радикалы, а лучше сказать, новаторы действуют с учетом принципа соответствия, они опираются на уже завоеванное физикой. Между тем немало внимания уделялось и все еще уделяется радикальным попыткам совсем другого сорта — попыткам обобщить или реинтерпретировать нерелятивистскую квантовую механику, выйти за пределы специальной теории относительности» в то и ньютоновской механики, и при этом в условиях, в которых, согласно существующим представлениям, упомянутые теории полностью применимы.

Какие же общие аргументы приходится слышать в пользу такой позиции неограниченного новаторства? Они примерно таковы. Наука (и, конкретно, физика) все время развива-

ется, мы никогда не можем утверждать, что уже сказали последнее слово. В прошлом не раз объявляли фундаментальную физическую теорию законченной, а потом оказывалось, что это совсем не так. Поэтому и необходимость выхода за пределы известной физики представляется несомненной. А раз так, то «новую физику», безусловно, нужно и можно искать. Те же, кто этого не делает, с самого начала обрекают себя на то, что заведомо не откроют ничего подлинно важного.

Последний тезис вообще не выдерживает критики: достаточно вспомнить о многочисленных замечательных явлениях и эффектах, открытых за последние десятилетия и полностью объясненных в рамках нерелятивистской квантовой механики и теории относительности.

Что же касается общего утверждения о незавершенности любой физической теории, то в известном смысле оно совершенно справедливо. Но, как будет пояснено ниже, разногласия между умеренными (физиками и астрономами) и астрономами-радикалами не имеют к этому утверждению никакого прямого отношения.

§ 2. Нужна ли «новая физика» в физике и в астрономии?

«В физике главное уже сделано и осталось лишь сдуть пыль с приборов, покоящихся в физических кабинетах». «Фундамент физики — ньютоновская механика — прочно установлен, и задача заключается лишь в том, чтобы объяснить на этой базе электромагнитные и другие, более сложные явления». Как ни трудно в это сегодня поверить, но именно подобные мнения и настроения доминировали еще в конце прошлого века. Вскоре, как известно, соответствующее умонастроение потерпело сокрушительный крах. При этом не только родилась современная физика, которую венчают теория относительности и квантовая теория, но и глубоко изменилось понимание вопроса о границах применимости и полноте теории, о ее возможной законченности и путях развития. В частности, в настоящее время, как и во все последние десятилетия, уже просто невозможно найти сколько-нибудь информированного физика, который не видел был неполноты и незамкнутости современной фундаментальной теории.

Действительно, кому неизвестны трудности квантовой теории поля, существующая неопределенность области применимости обычного пространственно-временного описания событий и объектов в микромире, неясность в вопросе о предсказании спектра масс и других квантовых чисел элементарных частиц и т.д. и т.п. В соответствии с этим у физиков нет никаких сомнений в том, что и сегодня, как и в начале века, в физике остро нужна «новая физика» — нужны новые идеи и представления, а также соответствующий им математический формализм для того, чтобы ответить на нерешенные вопросы и устранить уже известные трудности, на смену которым (вряд ли можно в этом сомневаться) придут новые затруднения.

Поскольку астрофизика базируется на физике, трудно сомневаться и в том, что «новая физика» будет существенна и при анализе астрономических вопросов. В качестве конкретного подкрепления общего утверждения можно указать на незамедлительное влияние, которое оказало на развитие астрофизики последнее, и самое существенное, на мой взгляд, достижение в области фундаментальной физики. Речь идет о развитии калибровочных теорий слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий, в известном смысле объединяющих все эти взаимодействия [6]. Одним из следствий новой теории является заключение, уже нашедшее экспериментальное подтверждение, о существовании так называемых нейтральных токов. В результате существования таких токов (взаимодействия) как электронное, так и мюонное нейтрино могут уже в низшем порядке теории возму-

щений рассеиваться на протонах и нейтронах (а следовательно, и на атомных ядрах). Взаимодействие нейтрино с заряженными лептонами (электронами и мюонами) также изменяется. Эти изменения существенны при анализе процессов, происходящих на ранних стадиях эволюции Вселенной, и особенно механизма взрыва сверхновых, приводящих к образованию нейтронных звезд [6]. Новая теория приводит и к еще более глубоким изменениям — она изменяет представление о вакууме и приводит к заключению о возможности пояснения в вакууме фазового перехода [7]. Этот переход должен, правда, иметь место при очень высокой температуре ($T \sim 10^{16}$ К), т.е. на весьма ранней стадии расширения (имеем в виду изотропные и однородные космологические модели). Нужно, однако, заметить, что вблизи обсуждаемого фазового перехода, носящего характер перехода второго рода или близкого к нему перехода первого рода, велики флуктуации. Поэтому в каких-то космологических моделях фазовый переход в вакууме мог бы оказаться существенным с точки зрения эволюции Вселенной и зарождения тех возмущений (флуктуаций), которые в дальнейшем привели к образованию галактик. Другое возможное, хотя и не обязательное (это зависит от используемого варианта), следствие калибровочной теории состоит в появлении доменов в вакууме — областей вакуума с различными значениями какого-либо параметра или параметров [8]¹.

Новая физика, несомненно (по крайней мере таково наиболее распространенное мнение, которое я полностью разделяю), нужна и вблизи сингулярностей, возникающих в решениях уравнений общей теории относительности (этот термин применяется здесь исключительно к классической теории гравитации Эйнштейна). Дело в том, что квантование общей теории относительности, необходимое уже из весьма общих соображений, но в обычных астрономических условиях не имеющее никакого значения, становится крайне существенным вблизи сингулярностей. В этой области квантовые (нулевые) флуктуации гравитационного поля так велики, что классическая теория, вообще говоря, неприменима (см., например, [9, 10]). Если обычные, используемые и в квантовой теории пространственно-временные представления не претерпевают изменений при большей характерной длине², то квантование гравитационного поля сильно сказывается, когда играют роль расстояния, сравнимые с длиной $l_g = \sqrt{G\hbar/c^3} = 1,6 \cdot 10^{-33}$ см. Этой длине соответствуют время $t_g \sim l_g/c \sim 10^{-43}$ с и плотность $\rho_g \sim c^5/(G\hbar) = \hbar/(cl_g^4) = 5 \cdot 10^{93}$ г/см³. В изотропных и однородных космологических моделях квантовые эффекты велики как раз при плотности $\rho \gtrsim \rho_g$. Поэтому без учета квантования надежно можно действовать лишь при условии $\rho \ll \rho_g$. Помимо квантовых флуктуаций гравитационного поля в сильных гравитационных полях происходит рождение пар частиц, что также приводит к изменению классической картины [11, 12].

Квантовая теория гравитационного поля еще далеко недостаточно развита и, во всяком случае, не применена для создания сколько-нибудь последовательной квантовой космологии. Впрочем, перед космологией помимо такой физической проблемы, как квантование гравитационного поля, стоят, конечно, и специфические задачи, связанные с выбором модели (и, в частности, с установлением топологической картины [13]).

Уже сказанного вполне достаточно, чтобы со всей определенностью дать утвердительный ответ на формально понимаемый вопрос, стоящий в названии настоящей лекции. На самом деле, однако, сторонники ограниченной применимости известных физических зако-

¹Вопрос о фазовых переходах в вакууме и их роли в эволюции Вселенной находится в центре внимания современной физики и космологии (см. об этом и ряде других затронутых ниже вопросов современной физики в части I настоящей книги).

²В настоящее время данные физики элементарных частиц позволяют считать, что некая фундаментальная длина l_0 , при которой изменяются пространственные представления, если она вообще существует, удовлетворяет условию $l_0 \lesssim 10^{-16}$ см (о возможной роли фундаментальной длины см. статью [36] и с. 91 настоящего сборника).

нов в астрономии имеют в виду в первую очередь явления и законы совсем другого типа, чем упомянутые.

Примером может служить проблема «старения» фотонов. Согласно существующей теории, космологическое красное смещение связано с разлетом галактик в расширяющейся Вселенной, приводящим к эффекту Доплера. Нестационарность Вселенной — явление столь необычное по дорелятивистским представлениям¹, что долгое время делались попытки (видимо, только недавно прекратившиеся) объяснить красное смещение какими-то неизвестными в современной физике процессами, происходящими со светом при его распространении в межгалактическом пространстве.

Второй пример — стационарная космология с лежащей в ее основе гипотезой о несохранении барионного и лептонного зарядов, приводящем к возможности спонтанного рождения в вакууме нейтронов или протонов и электронов (или, скажем, атомов водорода)². В настоящее время стационарная космология может, по-видимому, считаться оставленной, особенно в связи с открытием реликтового теплового радиоизлучения с температурой 2,7 К.

Третий пример — проблема недостающей или скрытой массы (missing mass), возникающая в отношении скоплений и групп галактик. Речь, как известно, идет о том, что видимых масс недостаточно для стабилизации ряда скоплений, в частности особенно хорошо изученного скопления в Коме [14]. Выход из затруднений естественно видеть на пути поиска в скоплениях каких-то масс, в первую очередь газа и неярких звезд, ускользнувших от наблюдения. И этот путь в последнее время уже принес некоторые плоды [14, 15]. Между тем опубликовано немало статей, в которых проблему скрытой массы пытались решить в предположении о фактической нестационарности скоплений галактик и непрерывном рождении новых галактик в скоплениях³.

Четвертый пример — процессы в ядрах галактик и природа квазаров. Огромное энерговыделение и вообще характер активности ядер галактик и квазаров в рамках известных физических представлений пытаются связать с такими моделями, как компактное скопление звезд, сверхмассивная черная дыра, на которую идет аккреция, и сверхмассивное вращающееся намагниченное тело (магнетоид, спинар и т.д.) [16]. В рамках всех этих, как и в других упомянутых моделях квазары в принципиальном отношении не отличаются от галактических ядер и находятся на космологических расстояниях. Однако высказывались и совсем иные гипотезы, связывающие образование галактических ядер и квазаров с порождением вещества из «прототел», с выбросом квазаров из галактических ядер и т.д.

Третий и четвертый из приведенных примеров не связаны, правда, однозначным образом с отказом от известных физических законов или с их обобщением. Но фактически соответствующие «неортодоксальные» гипотезы переплетаются со стремлением ввести «новую физику» в астрономию. Действительно, оставаясь в рамках известной физики, в применении к галактикам и их скоплениям нельзя не думать об ограничениях, обусловленных законами сохранения энергии, момента импульса, барионного заряда и т.п. Все эти ограничения, как и все что мы знаем о динамике газовых масс и т.д., не позволили

¹ Другое дело, что, как мы теперь знаем, нестационарность Вселенной не является, логически говоря, релятивистским эффектом, поскольку может иметь место и в ньютоновских космологических моделях (в частности, изотропная и однородная ньютоновская космологическая модель является нестационарной).

² Предположение о рождении нового вещества без нарушения упомянутых законов сохранения (скажем, в форме рождения пар протон—антипротон или нейтрон—антинейтрон) не обеспечивало бы стационарности плотности барионов, а вело бы к образованию зарядово-симметричного вещества. Аннигиляция этого вещества привела бы, вообще говоря, к появлению мощного и ненаблюдаемого потока космического гамма-излучения.

³ В настоящее время в качестве скрытой массы обычно рассматривают нейтрино или другие слабовзаимодействующие частицы, а также черные дыры. Появляются, однако, и статьи, в которых вместо гипотезы о существовании скрытой массы предполагается, что нужно изменять законы физики, например считать несправедливым второй закон Ньютона при очень малых ускорениях [34]; § 23 части I настоящей книги.

еще предложить ни одной более или менее реалистической модели «прототел», способных образовывать целые галактики, выбрасывать с релятивистской скоростью квазары и т.п.¹ Поэтому-то, а не из консерватизма умеренные физики и астрономы и относятся скептически, а то и просто отрицательно к «прототелам» и некосмологическим моделям квазаров. И совершенно очевидно, как мне кажется, что эти модели представляются привлекательными тем, кто активно ищет «новую физику» в астрономии и рассматривает ограничения, накладываемые законами известной физики как оковы, а не как огромное благо и достижение науки.

Я не умею, да и не хочу казаться бесстрастным, особенно в настоящей лекции. Поэтому отрицательное отношение к попыткам найти «новую физику» во всех четырех приведенных примерах достаточно ясно уже из сказанного. Но какова причина этого отрицательного отношения? Легко, конечно, объявить автора консерватором, смотрящим лишь себе под ноги и не способным, подняв голову, восхититься необъятными возможностями, которые открывают нам космические просторы. Но если никто не вправе себя судить, то вполне может пытаться объяснить свои мотивы. В данном случае я исхожу не из отрицания необходимости «новой физики» вообще и астрономии в частности (ни о том, ни о другом не может быть речи, о чем уже говорилось), а из убеждения, что уже известная физика имеет чрезвычайно широкую область применимости и в этой уже известной области применимости вполне может обладать полнотой (в отношении своих принципов). Поэтому изменение или обобщение фундаментальной теории, связанное с сужением ее области применимости, является чрезвычайным и, вообще говоря, нежелательным событием, а следовательно, должно быть глубоко обосновано.

§ 3. О возможной полноте физической теории в области ее применимости

Выше уже подчеркивалось, что в незамкнутости известной сейчас фундаментальной физической теории в настоящее время никто не сомневается. Весьма распространено и более общее заключение о том, что область применимости любой теории и в будущем окажется ограниченной, т.е. любая теория потребует какого-то дальнейшего обобщения и развития. Не находятся ли эти тезисы в каком-либо противоречии с утверждением о возможной полноте теории в уже известной области ее применимости? Необоснованность подобных опасений достаточно очевидна, и я боюсь упрека в том, что ломлюсь в открытую дверь, обсуждая этот вопрос подробнее. Опыт свидетельствует, однако, о том, что для некоторой категории лиц именно здесь лежит камень преткновения.

Чтобы избежать определений, поясним, в чем дело, на примере. Классическую (ньютоновскую) механику когда-то считали полной и законченной теорией. Но сейчас все хорошо знают, что справедливость этой теории ограничена областью нерелятивистских и неквантовых явлений. При этом релятивистские поправки характеризуются параметром φ/c^2 или v^2/c^2 (где v — скорость частицы и φ — ньютоновский гравитационный потенциал). На поверхности Солнца $|\varphi|/c^2 \approx 2 \cdot 10^{-6}$, и поэтому релятивистские эффекты в небесной механике в пределах Солнечной системы нужно учитывать лишь при достижении соответствующих точностей (для конкретности можно напомнить, что релятивистский поворот перигелия Меркурия составляет около $43''$ в столетие). Квантовые поправки при движении тела с массой M характеризуются отношением λ/R , где $\lambda = 2\pi\hbar/(Mv)$ — длина «волны

¹Единственной известной нам моделью такого типа, хотя также никогда не развитой достаточным образом, была модель «белой дыры». В последнее время было показано (по-видимому, вполне убедительным образом), что и белые дыры принципиально не пригодны в качестве модели источника образования галактик и квазаров [17–19].

материи» и R — некоторая длина, типичная для системы. Для Земли, при ее движении вокруг Солнца $R \sim 10^{13}$ см и $\lambda \sim 10^{-60}$ см, т.е. квантовые поправки совершенно ничтожны и, по сути дела, не имеют смысла, поскольку саму траекторию или центр масс небесного тела невозможно определить даже и с несравненно меньшей точностью.

Полнота классической механики в известной ее области применимости означает, что теория полна, если можно пренебречь релятивистскими и квантовыми поправками.

Позволю себе привести еще один пример, поскольку он в некотором отношении более интересен. Ограниченность области применимости нерелятивистской квантовой механики — области, в которой можно не учитывать релятивистские и радиационные поправки, хорошо известна: она определяется такими параметрами, как $\hbar/(mc)$, $\alpha = e^2/(\hbar c)$, $E/(mc^2)$ и т.п. (здесь m — масса рассматриваемой частицы, например электрона, а E — ее кинетическая энергия или энергия связи, скажем, в атоме). Полнота нерелятивистской квантовой механики означает, очевидно, что она дает полное описание всех явлений, если не учитывать релятивистских поправок и поправок, обусловленных взаимодействием с излучением. Но в этом случае, если теория полна, мы ни при каком ее развитии и обобщении не получим ответа на известный вопрос: «куда попадает данный электрон» в дифракционном опыте? Таким образом, в случае квантовой механики предположение о полноте теории особенно ясно выступает в качестве некоего ограничения даже в самой постановке вопроса. Как известно, большинство физиков тем не менее нисколько не сомневаются в полноте нерелятивистской квантовой механики в уже известной области ее применимости, а невозможность указать, «куда попадет данный электрон», связывают с неклассической природой микрообъектов, с невозможностью считать их частицами, движущимися по определенным траекториям.

Представляется очевидным, что предположение о полноте классической или нерелятивистской квантовой механики в указанном смысле не противоречит никаким общепринятым философским или иным принципам, не говоря уже об имеющихся экспериментальных данных. В то же время это предположение, хотя и вполне естественно, логически не обязательно. Действительно, мыслима ситуация, при которой область применимости классической механики оказалась бы ограниченной еще с какой-то стороны, например в случае очень больших масс или больших размеров — больших по сравнению с теми, для которых справедливость теории была проверена (здесь, конечно, имеются в виду не те обобщения, которые связаны с общей теорией относительности)¹. Если выдвинуть подобную гипотезу, то сразу можно «решить», например, проблему «скрытой массы»: если несправедлива классическая теорема вириала, то никаких дополнительных масс можно даже не искать. На столь радикальный шаг в явном виде обычно не решаются (см., однако, [34]). Статьи же, в которых ищут «скрытые переменные», должныствующие когда-то изгнать вероятностные представления из квантовой механики, появляются и до сих пор.

И пусть появляются, если к этой проблеме сохранился интерес! Приведенные аргументы направлены отнюдь не на то, чтобы обосновывать введение каких-то запретов или помех для желающих искать и создавать «новую физику» в уже известной области применимости существующих физических теорий. Эти аргументы имеют своей целью лишь подчеркнуть полную законность и естественность того подхода, который является сейчас доминирующим (если угодно, ортодоксальным) и характеризуется стремлением максимально широко применять в астрономии ту физику, которая справедлива в условиях, родственных или аналогичных исследуемым. Например, межгалактическое или межзвездное пространство в эпоху, далекую от области сингулярности, находится в условиях, вполне «подвластных», казалось бы, законам, установленным в лаборатории или, скажем, в пределах Солнечной системы. Поэтому допущение о «старении» фотонов в темпе, нужном

¹См. также упомянутые выше статьи [34], в которых классическая механика в ее обычной форме считается неприменимой при достаточно малых ускорениях.

для объяснения космологического красного смещения, просто противоречит известным данным о распространении света.

Для объяснения стационарности Вселенной с критической плотностью $\rho_c = 3H^2/(8\pi G)$ нужно считать, что в единице объема за единицу времени рождается масса нового вещества $9H/(8\pi G) \sim 10^{-47}$ г/(см³ · с) (при постоянной Хаббла $H_0 \approx 50$ км/(с · Мпк)). Это значит, что, например, один новый атом водорода должен был бы появляться в 1 км³ примерно раз в десять лет. Разумеется, доказать невозможность подобных маловероятных событий очень трудно. Поэтому, насколько я знаю, стационарную космологическую модель и не удавалось отвергнуть на базе физических измерений, и она оказалась оставленной (или почти оставленной) на основании астрономических соображений. Априори отрицать стационарную модель нельзя, против ее проверки на основе наблюдений также нельзя возражать. Но недоверие к такой модели представляется вполне естественным, как и ко всем гипотезам, основанным на принципе «разрешено все, что не опровергнуто». Вполне ясно, что такой принцип нельзя сколько-нибудь строго и убедительно отвергнуть. Но если его принять, то развитие науки станет почти невозможным, ибо оно происходит только с использованием экстраполяции, гигантской по своим масштабам.

В нашей Галактике более 10^{70} электронов, и мы считаем их всех тождественными. А на каком ничтожном количестве электронов это утверждение проверено! И почему бы части галактических электронов не быть совсем другими? И почему на Марсе, не говоря уже о звездах, где люди еще не были, законы физики не могут отличаться от земных? Задумавшись над подобными вопросами (автору уже приходилось обсуждать их по другому поводу [20]), можно убедиться в том, что предположение о непригодности или неточности каких-либо фундаментальных физических законов оказывается плодотворным, вообще говоря, лишь при наличии веских позитивных аргументов, а не только негативных ссылок на отсутствие соответствующих опровержений.

Поскольку конкретный пример о стационарной космологии вызвал немало горячих споров, не будет, возможно, излишним более конкретно изложить мнение по этому поводу. Я признаю известную неожиданность и даже красоту этой идеи, а также необходимость в конечном счете проверить ее путем наблюдений. Но трудно согласиться с: тем, что даже до появления соответствующих данных, практически опровергнувших стационарную модель, прохладное или прямо отрицательное к ней отношение могло рассматриваться как консерватизм и т.п. Наоборот, все развитие физики и астрофизики, быть может, за редчайшими исключениями (существование которых существенно и служит, конечно, предупредительным сигналом), происходит путем использования уже известных фундаментальных законов до тех пор, пока новые факты не заставят, не принудят производить какие-либо обобщения. Приверженность же к неортодоксальным идеям только на том основании, что идеи необычны и еще не опровергнуты, никогда не была плодотворной.

§ 4. Еще раз о «новой физике» в астрономии

В спорах по общим вопросам типа здесь обсуждаемых редко удастся достичь многого: приводимые аргументы одним кажутся верными, но очевидными или даже тривиальными, а другим также представляются тривиальными, но совершенно неубедительными. Я не надеюсь оказаться исключением и поэтому хочу (в надежде, что это более интересно) несколько развить замечания, касающиеся места новой физики в астрономии. Конкретно перечислю те фундаментальные проблемы и задачи физического характера, исследование которых является или может оказаться особенно существенным для развития астрономии (нечего и говорить, что всякий такой список не может не оказаться довольно условным и спорным, а также изменяется во времени).

1. На первое место следует (трудно в этом сомневаться) поставить квантовую теорию гравитационного поля или, что несколько уже, квантовое обобщение общей теории относительности.

Как уже упоминалось, вблизи сингулярностей (в классической теории) квантование необходимо. Вместе с тем в настоящее время установлено, что сингулярности в общей теории относительности возникают в весьма общем случае [21]. Правда, для черных дыр область вблизи сингулярности принципиально скрыта от внешнего наблюдателя и в этом смысле не имеет актуального значения. Но даже если отвлечься от еще недостаточно выясненного вопроса о возможности (или, лучше сказать, о невозможности) существования в космосе «голых сингулярностей»¹, проблема сингулярности заведомо очень важна в космологии. Нет никаких оснований полагать, что сингулярности сохраняются и в квантовой теории. Более того, если говорить об интуитивном ожидании, а не об еще отсутствующих доказательствах, то сингулярности в последовательной квантовой теории должны исчезнуть, особенно при учете рождения частиц разных типов. Тем самым становится весьма вероятным, что космологическая проблема — это квантовая проблема.

2. Вблизи сингулярности и вообще на ранних стадиях эволюции в космологических моделях, в которых имеется достаточно плотная и горячая фаза, существен характер физического вакуума и космология тесно связана с калибровочной теорией слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий (см. выше и [6—8, 11, 12]). Эта теория еще далеко не завершена и полностью принадлежит к области «новой физики».

Отметим, кстати, что при учете квантовых флуктуации гравитационного поля [10] и, в еще более радикальной форме, в рамках калибровочных теорий универсального взаимодействия [7] становится ясной необоснованность в общем случае предположения о равенстве нулю так называемого Λ -члена в уравнениях общей теории относительности (в этой связи см. [23]).

3. Хотя и существует мнение, что общая теория относительности — вполне определенная, построенная Эйнштейном классическая теория гравитационного поля $g_{ik}(x_l)$ — логически замкнута и при учете сингулярности, я, как и большинство физиков и астрономов, не разделяю эту точку зрения в связи с уже отмеченной необходимостью учитывать вблизи сингулярностей квантовые эффекты. Другими словами, представляется достаточно ясной ограниченность общей теории относительности, так сказать, с квантовой стороны. Но не существует ли других ограничений? Подобная возможность не только всегда существует в принципе, но и подогревается тем хорошо известным фактом, что даже в слабых полях (при $|\varphi|/c^2 \ll 1$) общая теория относительности проверена лишь с точностью в несколько процентов.

Например, последнее известное нам измерение угла отклонения электромагнитных волн, проходящих вблизи Солнца [24], составляет $0,96 \pm 0,05$ от значения, предсказанного Эйнштейном в 1915 г.² Что касается сильных гравитационных полей, то возможность каких-то отклонений или обобщений уравнений общей теории относительности (например, на пути введения более высоких производных [10] или кручения [25]) особенно трудно опровергнуть как с теоретической, так и с экспериментальной точки зрения³. Для слабых же полей обоснованна надежда уже в ближайшие годы проверить справедливость общей теории относительности с погрешностью до долей процента. Необходимость проверки путем экспериментов или наблюдений любой физической теории не подлежит, конечно, со-

¹В этом случае сингулярность пространства-времени не скрыта горизонтом событий (простейшим, по-видимому, примером может служить заряженная масса, если заряд достаточно велик [22]).

²В настоящее время установленная погрешность, в пределах которой общая теория относительности отвечает наблюдениям в слабых полях, уже минимум на порядок меньше указанной здесь (см. § 19 части I настоящей книги).

³Речь идет об отклонениях, существенных еще в классической области, т.е. превосходящих квантовые эффекты.

мнению. Но опять же, если не опираться лишь на принцип, что «разрешено все, что не опровергнуто», то я лично никогда не видел никаких оснований для обобщения общей теории относительности уже в слабых полях.

Какая-то проблема здесь появилась лишь в результате наблюдений, указывавших на сплюснутость Солнца [26]. Однако интерпретация этой сплюснутости в духе указания на существование скалярного гравитационного поля связана со столь сложными расчетами моделей Солнца, что она оставалась совершенно неубедительной. Последнее заключение очень подкрепляется, конечно, тем фактом, что сравниваем мы здесь расчеты моделей Солнца с такой замечательной в физическом и математическом отношениях теорией, как общая теория относительности.

Совсем недавно появилось к тому же сообщение о том, что никакой заметной сплюснутостью Солнце фактически и не обладает [27].

К необходимости обобщить общую теорию относительности приводит также допущение о переменности гравитационной постоянной G с характерным значением

$$\frac{|\dot{G}|}{G} \sim H \sim 10^{-18} \text{ с}^{-1} \sim 3 \cdot 10^{-11} \text{ год}^{-1}.$$

Существующие оценки, основанные на наблюдениях, приводят (по-видимому, довольно обоснованно) к значениям $|\dot{G}|/G < (4 \div 6) \cdot 10^{-11} \text{ год}^{-1}$ [28], т.е. вопрос остается открытым¹. В то же время можно сказать, что никаких реальных указаний на переменность G и других постоянных [29] в настоящее время нет, хотя возражать против уточнения измерений, разумеется, не приходится². Но и вполне естественно до появления каких-либо на то указаний считать величины типа G и e (заряд электрона) постоянными; в этом нет ни малейшей дани стремлению вообще отрицать новую физику в астрономии.

4. Поскольку различные ядерные реакции, сопровождаемые вылетом нейтрино, играют выдающуюся роль в ряде астрономических объектов, происходящее в настоящее время развитие теории слабых взаимодействий существенно сказывается и в астрономии. В связи с вопросом о вкладе нейтральных токов об этом уже упоминалось [6]. Другая проблема связана (точнее, может оказаться связанной) с попытками обнаружить нейтрино от Солнца. Вопиющего противоречия между теорией и наблюдениями в этой области еще нет [32] (см. § 25 ч. I настоящей книги). Неясность, однако, имеется, и это породило такие гипотезы, как предположения о нестабильности нейтрино или о зависимости константы связи для слабого взаимодействия от гравитационного потенциала [33]. Еще один пример связан со строением центральных областей достаточно массивных нейтронных звезд. Здесь плотность вещества превосходит плотность в атомных ядрах $\rho_{\text{я}} \approx 3 \cdot 10^{14} \text{ г/см}^3$ и уравнение состояния весьма плохо известно. Не исключены поэтому некоторые неожиданности, и вообще речь в какой-то мере идет о «новой физике» — физике в условиях, отличных от тех, с которыми уже приходилось сталкиваться.

Таким образом, нетрудно указать на целый ряд областей или явлений в космосе, для исследования которых новая физика действительно нужна. В обозримом будущем (трудно в этом сомневаться) необходимость привлечения «новой физики» в астрономии тоже не исчезнет. Нужно подчеркнуть также, что, как и в прошлом, не только физика обогащает астрономию, но и, наоборот, астрономия, изучение космоса питает физику. Достаточно в этом отношении вспомнить об общей теории относительности, центр тяжести применений которой лежит именно в астрономии. Можно упомянуть и о сверхсильных магнитных полях вблизи нейтронных звезд, и о космических лучах со сверхвысокой энергией. Впрочем,

¹Появившиеся в литературе меньшие значения верхнего предела $|\dot{G}|/G$ не подтвердились.

²Чтобы признание целесообразности проверки общей теории относительности и даже чисто спекулятивных гипотез о переменности не показалось пустой оговоркой «для безопасности», позволю себе указать, что я и сам пытался придумывать способы соответствующих изменений [30; 31].

важность астрономических исследований для развития физики столь очевидна и общепризнанна, что, честно говоря, я упоминаю об этом, только чтобы избежать каких-либо упреков и в этой связи.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Что же, собственно, я пытался выше показать?

Все свелось к такому выводу: «новая физика», безусловно, нужна и в физике, и в астрономии, но нужна далеко не всегда и далеко не везде. В общей форме это заключение достаточно тривиально, но отнюдь не тривиален как раз вопрос: где же именно нужна новая физика? По сути дела, именно этот последний вопрос и обсуждался, причем, конечно, никаких безусловных утверждений здесь сделать нельзя.

Поэтому, да и по другим причинам я не раз жалел, когда готовил лекцию, что взялся за такую тему, — значительно надежнее и спокойнее было бы остановиться на чем-либо более конкретном.

Но, с другой стороны, бросается в глаза следующее: всю жизнь мы пишем статьи на конкретные темы, причем стремимся обычно обойти все личное, скрыть свои чувства за формулами и обтекаемыми формулировками. Такой стиль выработан на основе многолетнего опыта и в целом вполне оправдан. Но нельзя же не считаться с тем, что за кулисами, в научной среде происходят страстные споры, идет борьба мнений. Не целесообразно ли, чтобы подобные споры иногда выливались и в открытое обсуждение? И если это так, то не являются ли лекции типа настоящей подходящей для этой цели? Если я ошибся, сделав такой вывод, то приношу членам Королевского Астрономического общества свои извинения, которые можно подкрепить ссылкой на разделяющее нас расстояние, измеряемое, к сожалению, не только километрами.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что моей целью не было стремление поспорить с оппонентами и, в частности, с некоторыми астрономами-радикалами. Еще дальше от истины было бы предположение, что я позволил себе кого-либо поучать или обвинять. Конечно, это не так, и единственной целью являлось и является желание добиться лучшего взаимопонимания. Мне не раз казалось, что радикалы (как физики, так и астрономы) считают своих оппонентов — умеренных — людьми, достойными жалости, а то и просто безнадежными консерваторами, противниками всего нового. Разумеется и те, кого я отношу к умеренным, нередко платят радикалам той же монетой — считают их несерьезными фантазерами, плохо знающими физику, и т.п. Было бы слишком смелой гипотезой считать, что для подобных мнений у каждой из сторон никогда не было оснований.

Важнее другое: то, что в действительности объединяет всех достаточно квалифицированных физиков и астрономов, несравненно глубже и серьезнее, чем расхождения в мнениях о месте «новой физики» в астрономии. Поэтому, если более четко определить свою позицию, постараться понять своих оппонентов (а не только слышать лишь свой собственный голос), то как-то и не о чем будет спорить в отношении общих принципов использования физики в астрономии. Взаимопонимание и терпимость при обсуждении всех этих проблем, к чему мы должны стремиться, вероятно, не будут видны особенно заметным образом на ярком фоне бурного и величественного развития астрономии. Но одно уже устранение некоторых недоразумений должно способствовать установлению той дружественной атмосферы, которая так помогает успеху в нашей работе.

ДОПОЛНЕНИЕ

Настоящее дополнение представляет собой окончание статьи автора «Астрофизика и новые физические законы», опубликованной в 1976 г. (см. библиографическую справку в конце книги). Автору кажется, что, несмотря на некоторое повторение, помещение этого дополнения оправданно.

Как нам представляется (подчеркнем это еще раз), существующие расхождения во взглядах по обсуждаемому кругу вопросов сводятся не с спору о том, нужна ли «новая физика» вообще, а к значительно более конкретным оценкам ситуации в применении к скоплениям галактик, галактическим ядрам и некоторым другим астрономическим проблемам. По нашему убеждению, в отношении всех этих проблем является вполне законной и естественной тенденция физиков и большинства астрономов не привлекать радикально новые физические представления до тех пор, пока это не диктуется необходимостью или, точнее, пока существующие представления не привели к явным принципиальным трудностям и противоречиям. Как сказано, такие трудности можно было бы констатировать, если было бы доказано, что в скоплениях галактик нет стабилизирующих их газовых или иных пока еще невидимых масс. Или другой пример: если бы было доказано, что в поле Солнца световые лучи отклоняются хотя бы немного (на несколько процентов) слабее, чем согласно ОТО, то это свидетельствовало бы в пользу тензорно-скалярной теории гравитации, которую можно было бы отнести к «новой физике».

То, что физики не спешат отказаться от фундаментальных физических теорий и как-то их обобщать или изменять до установления вполне надежным образом противоречий между этими теориями и опытом или наблюдениями, отнюдь не должно считаться консерватизмом. Приведем следующее свидетельство, касающееся позиции по этому вопросу такого новатора в физике, как Э. Ферми [35].

«Несмотря на его оригинальность и интуитивное чутье нового, Ферми был того мнения, что в науке новые законы надо принимать только в том случае, когда нет иного выхода. Ему очень не нравилось стремление некоторых физиков найти «сверхновое», не исчерпав всех возможностей в рамках уже существующих принципов и законов. Если у читателя создалось впечатление, что Ферми был консерватором в науке, то это неверно. Речь идет не о консервативности подхода Ферми, а о его фундаментальности».

Фундаментальность или, если угодно, «здоровый консерватизм», ни в коей мере не тождественный обычному консерватизму, были характерны и для тех выдающихся советских физиков, которых автор знал лично, — для Л.И. Мандельштама, И.Е. Тамма, Л.Д. Ландау. Люди разных вкусов, стиля и темперамента — все они были творцами новой физики, но одновременно отнюдь не были готовы рассматривать какие-либо обобщения, скажем общей теории относительности, до того, как будет убедительно доказана необходимость в таких обобщениях (мы не касаемся здесь квантовых обобщений).

Сказанное, конечно, не означает, что нужно в какой-то мере запрещать или мешать выдвижению новых идей и гипотез до тех пор, пока не будет доказана непригодность уже известных представлений. Совершенно очевидно, что наука развивается не в результате бесконечного ожидания строгих доказательств и терпеливого переубеждения всех сторонников уже созданных теорий (и то и другое практически вообще невозможно!). Поэтому, несомненно, неортодоксальные физические представления в области астрономии не должны третироваться, и существующая практика публикации соответствующих статей представляется оправданной. С другой стороны, у астрономов-радикалов нет никаких подлинных оснований быть в претензии и считать консерваторами тех физиков и астрономов, которые относятся с большой осторожностью или даже с глубоким скепсисом к попыткам привлекать существенно новые физические представления для объяснения известных сейчас астрономических явлений и процессов, в том числе и остающихся недостаточно понятными.

ПРИМЕЧАНИЕ К НАСТОЯЩЕМУ ИЗДАНИЮ

Некоторые конкретные примеры и вопросы, затронутые в докладе, написанные в 1975 г., разумеется, устарели. Возникли, конечно, и новые проблемы. Однако сделанные в нем общие заключения остались прежними — поэтому доклад и публикуется снова практически без изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург В. Л. Об изучении Солнца в области радиочастот // ДАН СССР. — 1946. — Т. 52. — С. 491.
2. Ginzburg V.L. On the origin of cosmic rays // Phil. Trans. Roy. Soc. — 1974. — V. 277 A. — P. 463.
3. Ginzburg V.L., Zheleznyakov V. V. On the pulsars emission mechanisms // Ann. Rev. Astron. and Astrophys. — 1975. — V. 13. — P. 511.
4. Nuclei of Galaxies: Pontifica Academia Scientiarum. Scripta Varia. — 1971. — P. 35.
5. Jeans J.H. Astronomy and Cosmogony. — Cambridge: Cambr. Univ. Press. — 1928.
6. Weinberg S. Recent progress in gauge theories of weak, electromagnetic and strong interactions // Rev. Mod. Phys. — 1974. — V. 46. — P. 255; Scientific American. — 1974. — V. 231. — N 1. — P. 50.
7. Куржниц Д.А., Линде А.Д. Релятивистский фазовый переход // ЖЭТФ. — 1974. — Т. 67. — С. 1263; Phys. Lett. — 1972. — V. 42B. — P. 471.
8. Зельдович Я. Б., Кобзарев И.Ю., Окунь Л. В. Космологические следствия спонтанного нарушения дискретной симметрии // ЖЭТФ. — 1974. — Т. 67. — С. 3.
9. Wheeler J.A. Einstein Vision. — Springer Verlag, 1968.
10. Гинзбург В.Л., Куржниц Д.А., Любушин А.А. О роли квантовых флуктуации гравитационного поля в общей теории относительности и космологии // ЖЭТФ. — 1971. — Т. 60. — С. 451; Sov. Astrophys. and Space Phys. — 1971. — V. 3. — P. 7.
11. Novikov I.D., Zel'dovich Ya.B. Physical processes near cosmological singularities // Ann. Rev. Astron. and Astrophys. — 1973. — V. 11. — P. 387.
12. Harrison E.R. Standard model of the early universe // Ann. Rev. Astron. and Astrophys. — 1973. — V. 11. — P. 155.
13. Соколов Д.Д., Шварцман В.Ф. Оценка размеров Вселенной с топологической точки зрения // ЖЭТФ. — 1974. — Т. 66. — С. 412; Thurston W.P., Weeks J.R. // Scientific American. — 1984. — V. 251. — N 1. — P. 94.
14. Tarter J., Silk J. Current constraints on hidden mass in the Coma cluster // Quart. J. Roy Astron. — 1974. — V. 15. — P. 122.
15. Einasto J., Kaasik A., Saar E. Dynamic evidence on massive coronas of galaxies // Nature. — 1974. — V. 250. — P. 309; Озерной Л.М. Отвержение гипотезы о дезинтеграции групп галактик вследствие непрерывной потери массы // Письма в «Астрон. журн.». — 1975. — Т. 1. — С. 9.
16. Ozernoy L.M. Galactic nuclei. Proc. First European Astronom. Meeting. — Springer Verlag, 1974. — V. 3. — P. 65; Гинзбург В.Л., Озерной Л.М. О природе квазаров и активных ядер галактик // Astrophys. and Space Sci. — 1977. — V. 48. — P. 401.
17. Eardley D.M. Death on white holes in the early universe // Phys. Rev. Lett. — 1974. — V. 33. — P. 442.
18. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д., Старобинский А.А. Квантовые эффекты в белых дырах // ЖЭТФ. — 1974. — Т. 66. — С. 1897.
19. Eardley D.M., Press W.H. Astrophysical processes near black holes // Ann. Rev. Astron. and Astrophys. — 1975. — V. 13. — P. 381.
20. Communication with extra terrestrial intelligence / Ed. C. Sagan MIT Press, 1973. — P. 199; см. также статью на с. 171 настоящей книги.

21. *Hawking S.W., Ellis G.F.R.* The large scale structure of space—time. — Cambridge: Cambr. Univ. Press, 1973.
22. *Denarbo G., Treves A.* On the stability of a Reissner—Nordstrom naked singularity // *Lett. Nuovo Cimento.* — 1974. — V. 10. — P. 715.
23. *McCrea W.H.* The cosmical constant // *Quart. J. Roy. Astron. Soc.* — 1971. — V. 12. — P. 140.
24. *Weiler K. W., Ekers R.D., Raimond E., Wellington K.J.* A measurement of solar gravitational microwave deflection with the Westerbork synthesis telescope // *Astron. and Astrophys.* — 1974. — V. 30. — P. 241.
25. *Trautman A.* Spin and torsion may avert gravitational singularities // *Nature.* — 1973. — V. 242. — P. 7.
26. *Dicke R.H.* The oblateness of the sun and relativity // *Science.* — 1974. — v. 184. — P. 419.
27. May be the Sun is round after all // *Physics Today.* — 1974. — V. 27. — P. 17.
28. *Dearborn D.S., Schramm D.N.* Limit on variation of G from clusters of galaxies // *Nature.* — 1974. — V. 247. — P. 441.
29. *Davies P.C.W.* Time variation of the coupling constants // *J. Phys.* — 1972. — V. 5A. — P. 1296.
30. *Ginzburg V.L.* Space relativity: Space research and theory of relativity // *Astronautica Acta.* — 1966. — V. 12. — P. 136; Эйнштейновский сбэрник, 1967. — М.: Наука, 1967. — С. 80.
31. *Брагинский В.Б., Гинзбург В.Л.* О возможности измерения зависимости гравитационной постоянной от времени // *ДАН СССР.* — 1974. — Т. 236. — С. 300.
32. *Bahcall J.V., Sears R.L.* Solar neutrinos // *Ann. Rev. Astron. and Astrophys.* — 1972. — V. 10. — P. 25.
33. *Finzi A.* Solar neutrinos and the behaviour of the Fermi coupling constant // *Astrophys. J.* — 1974. — V. 189. — P. 157.
34. *Milgrom M.* A modification of the Newtonian dynamics // *Astrophys. J.* — 1983. — V. 270. — P. 365, 371, 384.
35. *Понтекорво Б., Покровский Б.* Энрико Ферми в воспоминаниях учеников и друзей. — М.: Наука, 1972. — С. 43.
36. *Гинзбург В.Л., Муханов В.Ф., Фролов В.П.* // *ЖЭТФ.* — 1987. — Т. 94. — С. 1.

ЗАКОНЫ ФИЗИКИ И ПРОБЛЕМА ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Доклад на Первой советско-американской конференции по проблеме связи с внеземными цивилизациями (Бюракан, сентябрь 1971 г.).

Вопрос, который меня просили обсудить, сводится к следующему: возможно ли, что на удаленных планетах (или кометах, естественных и искусственных спутников планет и т.п.), т.е. на потенциальных центрах некоторой внеземной цивилизации, действуют другие (по сравнению с земными) законы физики? Совершенно очевидно, что положительный ответ на такой вопрос мог бы иметь далеко идущие последствия с точки зрения оценок различных черт и характеристик соответствующей внеземной цивилизации.

Тем не менее даже сама возможность такого положительного ответа подавляющему большинству физиков сразу же покажется невероятной. Я не составляю исключения и именно поэтому подчеркнул выше, чем подумал над указанным вопросом только в ответ на «запрос» одного из членов оргкомитета. С другой стороны, для «человека с улицы» возможность того, что где-то действуют «другие» законы физики, представляется, вероятно, не такой уж неестественной. Мы ведь «там» не были, никаких прямых данных об условиях на иных планетах у нас нет; почему же тогда «там» не могут действовать другие законы? Но фактически предположение о существовании «другой физики» на удаленных планетах Галактики мало чем отличается от аналогичной гипотезы в применении к другим планетам Солнечной системы или даже к какому-то необитаемому острову в Тихом океане. Вообще такая гипотеза противоречит основному принципу, на который опирается развитие естествознания. В самом деле, законы физики, биологии и т.д. устанавливаются на основе наблюдения или изучения ограниченного (а практически даже сравнительно небольшого) числа объектов. Затем принимается, что для всех таких же объектов и в тех же условиях должны наблюдаться установленные законы. Частным случаем такого общего подхода является утверждение об одинаковости всех электронов, атомов водорода и т.д. Близкие основания имеет уверенность в невозможности непорочного зачатия (для человека), хотя логически такой процесс вполне возможен и наблюдается (речь идет о партеногенезе) даже для столь сложных организмов, каким является индюшка. Несомненно, иначе поступать нельзя, и используемая экстраполяция оправдана. Но полезно все же не забывать, сколь далеко мы экстраполируем, какой это смелый в известном смысле шаг. Например, в Галактике имеется порядка 10^{70} электронов и протонов, а мы считаем их одинаковыми на основании изучения лишь неизмеримо меньшего числа таких частиц.

Так или иначе, если мы считаем данный физический закон твердо установленным в земных условиях, то с такой же степенью уверенности можем считать его справедливым и на удаленных планетах в предположении, что они находятся в тех же или достаточно близких условиях. Эта оговорка включает близость во времени, поскольку в эволюционной космологии ряд законов и величин, вообще говоря, может зависеть от времени. Более конкретно, существуют, например, космологические схемы, в которых от времени зависит гравитационная «постоянная» G . Однако из опыта известно, что $|\dot{G}|/G < 3 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$ (в общей теории относительности $G = \text{const}$). Поскольку обсуждается в первую очередь воз-

возможность связи с цивилизациями, находящимися сравнительно близко к Солнцу (скажем, на расстоянии меньше 1000 световых лет), допустимым в принципе изменением законов физики со временем в обсуждаемом плане можно пренебречь. (Ситуация практически не изменяется, если речь идет о «связи» со сравнительно близкими галактиками.)

Но этим дело, конечно, не исчерпывается. Законы физики, названные выше твердо установленными в земных условиях, все же установлены лишь с ограниченной точностью и для некоторой ограниченной области условий. Вопрос о точности закона включает в себя также некоторые высказывания о невозможности «запретить» крайне мало вероятные события. Например, все имеющиеся данные подтверждают закон сохранения барионного заряда или, в применении к атомной физике, можно сказать, закон сохранения числа нуклонов. Допустим, однако, что крайне редко (по нашим земным масштабам) могут «из ничего» рождаться атомы водорода или отдельно протоны и электроны. Именно подобное предположение лежит в основе так называемой стационарной космологии. При этом для сохранения стационарности (для постоянства средней плотности вещества в пространстве) в единице объема за единицу времени должно «рождаться» вещество с массой порядка 10^{-46} г/(см³ · с), что отвечает появлению одного атома водорода в год в объеме, равном 1 км³. Но в таком объеме при атмосферном давлении находилось бы $2,7 \cdot 10^{34}$ молекул водорода. Насколько я могу себе представить, никакие земные наблюдения не противоречат подобной возможности, хотя, быть может, из косвенных соображений и можно было бы существенно ограничить вероятность появления новых атомов. Во всяком случае для опровержения стационарной космологии такие аргументы, насколько известно, не привлекались, а речь шла о данных внегалактической астрономии и обнаружении реликтового теплового микроволнового излучения. Все эти данные свидетельствуют в пользу эволюционной космологии и тем самым в известных пределах опровергают предположение о рождении нового вещества.

Здесь, разумеется, это предположение было упомянуто лишь в качестве примера. Смысл примера заключается, очевидно, в том, что и на Земле, и на удаленных планетах нельзя исключать возможности появления каких-то очень редких (маловероятных) событий, не предусмотренных известными физическими законами. Не думаю, чтобы это обстоятельство представляло особый интерес в обсуждаемом плане, но все же его роль для процессов мутационного типа (а быть может, и для зарождения жизни) не исключена. При этом, как уже подчеркивалось, здесь нет никакой разницы между Землей и удаленными планетами.

Другой аспект вопроса о точности физических законов состоит в том, что эти законы имеют, вообще говоря, ограниченную область применимости в смысле рассматриваемых физических условий. Так, мы не знаем сколько-либо надежно поведения вещества при плотностях $\rho > \rho_{\text{я}} \approx 3 \cdot 10^{14}$ г/см³ (здесь $\rho_{\text{я}}$ — плотность в атомных ядрах). Поэтому имеются неясности принципиального характера в отношении центральных областей нейтронных звезд, где как раз $\rho > \rho_{\text{я}}$ (для достаточно массивных нейтронных звезд). Другой пример — несомненная, на мой взгляд, неприменимость обычных (классических) уравнений общей теории относительности при сверхвысоких плотностях, которые должны иметь место вблизи классических сингулярностей. Но все это, очевидно, не имеет никакого отношения к объектам, состоящим из атомов и молекул, т.е. все это не существенно на уровне любых сколько-нибудь реальных «цивилизаций молекулярного типа».

Здесь, естественно, возникает вопрос о цивилизациях немолекулярного типа. На этот счет имеется, например, статья Кокони (я о ней, к сожалению, лишь слышал, но познакомиться с ней не смог), в которой обсуждается возможность развития цивилизации на уровне элементарных (фундаментальных) частиц. Вряд ли такую идею можно считать абсурдной, поскольку известно около двух сотен сортов таких частиц. Это значительно больше, чем число основных «кирпичей», из которых построено обычное вещество. Поэтому в принципе не исключена возможность появления или создания достаточно сложной и даже

«живой» системы из элементарных частиц. Разумеется, это пока что лишь чистая спекуляция, фантазия, но не лженаука. Другой пример совсем необычных построений это — фридмоны¹. В этом случае рассматриваются полузамкнутые или, точнее, почти замкнутые миры, имеющие для внешнего наблюдателя массу и заряд элементарных частиц или, во всяком случае, очень малые массы и заряд. Конечно, это тоже фантазия, и ее здесь не место обсуждать подробнее. Хочу лишь подчеркнуть, что, по моему мнению, речь и здесь идет пусть и о далеко идущих гипотезах, но все же о научных гипотезах, а не о чем-то, лежащем за пределами современной физики. В плане проблемы внеземных цивилизаций вопрос о фридмонах интересен в связи с возможностью иметь цивилизацию внутри фридмона. Даже если эта цивилизация является молекулярной по своему типу, ее «связь» с нашей Вселенной столь своеобразна и необычна, что об этих цивилизациях вряд ли можно говорить на тех же правах, на которых мы обсуждаем вопрос о цивилизациях на других планетах.

Вопрос о «немолекулярных» цивилизациях упомянут здесь в основном для полноты картины. Реальных поводов думать о таких цивилизациях и особенно о связи с ними я в настоящее время совершенно не вижу. Иными словами, у нас есть все основания ограничиться обсуждением «молекулярных» цивилизаций. А при их рассмотрении, по моему глубокому убеждению, мы можем полностью доверять известной нам «земной» физике (тем более что она еще не встретила ни с какими явными ограничениями в применении ко всем известным астрофизическим объектам).

Важно отметить вместе с тем, что утверждение о полной применимости известной нам физики на удаленных планетах отнюдь не тождественно заключению об обязательной близости внеземной цивилизации и ее представителей к нашей цивилизации и соответственно к человеку. Довольно очевидно, что одни и те же фундаментальные законы физики совместимы с колоссальным разнообразием форм жизни, структуры сложных белков и т.п. Менее очевидно, быть может, что это, по всей вероятности, относится и к значительно более простым системам многих тел. В качестве примера упомяну о проблеме высокотемпературной сверхпроводимости. В настоящее время наивысшую известную критическую температуру $T_c \approx 21$ К имеет некоторый сплав Nb—Al—Ge (в 1973 г. обнаружено, что для соединения Nb₃Ge температура $T_c \approx 23,2$ К). Все попытки достигнуть больших значений пока не привели к успеху². Между тем, не говоря уже о потенциальной технической важности создания сверхпроводников с высокой критической температурой (особенно с $T_c \approx 300$ К), вопрос о максимально достижимом значении T_c имеет большой чисто научный интерес и в то же время остается открытым. Представляется, правда, в общем ясным, что в «обычных» металлах значения T_c сравнительно невелики, потому что сверхпроводимость обусловлена действием фононного механизма или, другими словами, связана с взаимодействием электронов с решеткой. Но имеется в принципе и другой механизм сверхпроводимости в металлическом проводнике — экситонный механизм, когда основную роль играет взаимодействие электронов проводимости с другими элементами в той же системе.

Здесь нет возможности останавливаться на проблеме высокотемпературной сверхпроводимости более подробно, и хотелось бы лишь подчеркнуть, что в настоящее время вопрос о максимально достижимом значении T_c для земных условий (имеются в виду атмосферное или сравнимое с ним давление, система металлического типа и т.п.) остается не ясным. Вполне возможно тем не менее, хотя и отнюдь не доказано, что значение T_c может достигать комнатной температуры, особенно для сложных слоистых или нитевидных соединений. Но именно слоистые и нитевидные соединения и структуры встречаются в биологии. Поэтому известной уже физике никак не противоречит возможность того, что на других

¹См. Марков М.А. // Вопросы философии. — 1970. — N 4. — С. 66.

²В 1986—1987 гг. высокотемпературные сверхпроводники были созданы. К 1991 г. достигнуты значения $T_c \approx 125$ К (Примеч. к настоящему изданию.)

планетах живые существа в значительной своей части состоят из сверхпроводящих веществ, созданных в результате биологической эволюции. Подчеркну, что это не более чем гипотеза, лишь не противоречащая современным представлениям физики твердого тела. Быть может, в дальнейшем будет доказано, что высокотемпературные сверхпроводники в интересующих нас условиях существовать не могут (тем самым проблема высокотемпературной сверхпроводимости будет решена отрицательным образом). Но сколько-нибудь надежно обосновать такой вывод в ближайшие годы вряд ли удастся, даже если не будет достигнуто успеха на пути существенного повышения T_c (см. с. 173). Поэтому мы должны считаться с тем, что в распоряжении представителей внеземной цивилизации имеются высокотемпературные сверхпроводники, да и многие другие экзотические или гипотетические по земным меркам вещества.

Таким образом, отрицание возможности встретиться на других обитаемых планетах с отличными от наших фундаментальными законами физики действительно закрывает двери для совсем уже безудержного фантазирования, но тем не менее оставляет еще очень широкий простор для научных гипотез и предположений, касающихся поведения систем из многих частиц. К числу таких систем относятся различные, более или менее сложные твердые тела и жидкости, не говоря уже о всех живых организмах.

ДОПОЛНЕНИЕ

Помещенный выше доклад был сделан в 1971 г. на Первой советско-американской конференции по проблеме связи с внеземными цивилизациями (Communication with Extraterrestrial Intelligence). Состояние проблемы СЕТИ (такое сокращение принято сейчас в мировой литературе) на тот период отражено в трудах конференции, опубликованных на русском языке в 1975 г. (более детальную ссылку см. в библиографической справке, помещенной в конце настоящей книги).

С тех пор проводилось еще несколько совещаний и семинаров по проблеме СЕТИ, и на эту тему опубликовано большое число различных статей. При этом существует резкое расхождение во мнениях и ведется довольно острая полемика. Автор в соответствующей деятельности и спорах не принимал участия, но в связи с публикацией своего доклада счел уместным сделать здесь несколько замечаний.

Основное расхождение во взглядах можно, грубо говоря, свести к оценке числа цивилизаций в нашей Галактике. Оптимистические оценки составляют сотни и даже десятки тысяч. Наиболее же пессимистическая оценка сводится к тому, что в Галактике никаких цивилизованных обществ, кроме земного, вообще не существует (не нужно при этом, конечно, отождествлять цивилизацию с жизнью). В последнем случае нечего и искать, не с кем связываться, в силу чего проблема СЕТИ, можно сказать, просто ликвидируется. Для такой пессимистической оценки приводятся, насколько нам известно, два главных аргумента.

Во-первых, как возникает жизнь, еще далеко не ясно, и существует мнение, что появление жизни — явление уникальное, для этого мало иметь около какой-то звезды подходящую планету.

Во-вторых, и это соображение особенно отстаивается «противниками» СЕТИ, если бы в Галактике существовали другие цивилизации, то имеются все основания полагать, что большинство из них находится на значительно более высоком уровне по сравнению с нами. Тогда следовало бы ожидать, что такие высокоразвитые цивилизации уже дали бы знать о себе. Поскольку же совершенно никаких надежных данных о внеземных сигналах или пришельцах (включая механизмы) не имеется, значит, внеземных цивилизаций вообще нет.

На основании того, что известно автору, в частности, из литературы¹, вопрос о количестве цивилизаций в Галактике представляется совершенно открытым, т.е. вся известная аргументация не представляется убедительной. Другими словами, не исключено, что других развитых цивилизаций не существует или они таковы, что не могут контактировать с нами (мыслима, например, какая-то подводная цивилизация, которая не может или еще не может принимать сигналы извне, а также посылать такие сигналы). Однако отнюдь не менее вероятно (а если речь идет только об интуитивном мнении, то, на наш взгляд, это даже более вероятно), что довольно развитые цивилизации в Галактике существуют, а значит, их нужно искать. Речь здесь идет в первую очередь о радиоастрономических методах. Попытки в этом направлении уже предпринимались, но в весьма скромных масштабах. Поэтому тот факт, что никаких радиосигналов от внеземных цивилизаций еще не зафиксировано, не имеет большого веса, хотя, конечно, порождает известный пессимизм. Соответствующие наблюдения проводились и могут проводиться не на каких-то специально созданных крупных установках, а на существующих радиотелескопах (дополнительно строится лишь сравнительно недорогая приемная аппаратура).

Проблема СЕТИ представляется подлинно научной проблемой, одновременно физической, астрономической, биологической и социальной. Отказаться от ее дальнейшего исследования и попыток решения только на основании имеющихся наблюдений и шатких пессимистических прогнозов было бы совершенно неверно. Другое дело, что при современном состоянии вопроса нет оснований использовать для решения проблемы СЕТИ большие силы и средства, поскольку это неизбежно привело бы к уменьшению внимания к более актуальным вопросам.

¹См., например, *Sagan C., Newman W.I.* // *Quart J. Roy. Astron. Soc.* — 1983. — V. 24. — P. 113; *Brin G.D.* // *Ibid.* — P. 283, где указана также литература.

ШИРОТА ВЗГЛЯДОВ И ИНФОРМИРОВАННОСТЬ — ВАЖНЫЕ УСЛОВИЯ УСПЕХА В РАБОТЕ

Что нужно знать и уметь, как совершенствоваться, чтобы добиться максимального успеха и эффективности в научной работе? Такие вопросы не могут не интересовать каждого студента, выбравшего ту или иную научную специальность не в силу каких-либо случайных причин, а, как говорят, по велению сердца. Те же вопросы стоят и перед преподавателями, обязанность которых состоит в совершенствовании учебного процесса.

Научная работа, как и многие другие «высшие» виды человеческой деятельности, определяется столь большим числом различных факторов, что дать какие-либо универсальные и простые ответы на вопрос об условиях успеха совершенно невозможно. Обширные знания в области физики и математики, несомненно, нужны всякому физiku (для определенности имею в виду физиков). Однако если память перегружена деталями из разных областей физики или, скажем, многочисленными приемами решения тех или иных частных математических задач, то это уже может помешать «увидеть лес за деревьями».

С другой стороны, концентрация всех усилий на какой-то одной области может привести к узости, которая тоже мстит за себя. Дело в том, что разные физические направления и специализации, а также смежные дисциплины (астрономия, геофизика, биофизика и т.д.) глубоко и тесно связаны между собой и оплодотворяют друг друга. В общем и целом наиболее рациональный подход отражен в известной формуле «всё об одном и кое-что обо всем».

Я не имею возможности развивать здесь эту тему и ограничусь таким утверждением: одним из условий успеха в науке (речь идет о подлинном успехе, а не о вероятности получить премию) является широта взглядов, информированность о том, что делается сегодня в науке на весьма обширном ее фронте. В общем виде это заключение, по-видимому, общеизвестно и достаточно тривиально. На практике, однако, организация учебного процесса в вузах не решает такой задачи. Конкретно, несметное число раз я с удивлением констатировал, что вполне способный студент-выпускник или аспирант, даже имеющий уже печатные работы, практически ничего не знает о сверхпроводимости, сверхтекучести, сегнетоэлектричестве, гравитационных волнах, нейтронных звездах, нейтринной астрономии, экситонах, черных дырах, происхождении космических лучей, жидких кристаллах и т.д. и т.п. Не знают многие молодые физики и того, что же в данный момент волнует умы активно работающих физиков у нас и за рубежом.

Между тем широта знаний необходима, и, как справедливо отмечал еще Козьма Прутков, «специалист подобен флюсу» — он не может самостоятельно работать, проявляя требуемую жизнью гибкость (имеется в виду, конечно, узкий специалист). Но, с другой стороны, разве можно все знать? Разве тот же Козьма Прутков не рекомендовал не пытаться «объять необъятное»? С полной определенностью могут ответить, что студент, прослу-

шавший и, главное, усвоивший общий курс физики (на уровне, скажем, хорошего курса Д. В. Сивухина), не только может, но и должен иметь общее представление о всех перечисленных вопросах (и, конечно, о многих других). И для этого «общего представления», т.е. понимания основ, физики дела и простейших соотношений, затратить нужно не больше труда, чем на подготовку к экзамену по одному солидному курсу, скажем курсу классической электродинамики.

Какова же причина отмеченной неинформированности (назовем это так)? Ответ состоит в том, что курса под названием типа «актуальные проблемы физики и астрофизики» не существует, да и нельзя такой курс создать обычными методами — силами одного-двух лекторов. Действительно, если от слушателя можно ожидать и требовать лишь усвоения основ и ознакомления с состоянием проблемы, то лектор должен быть специалистом именно в той области, которой посвящена лекция. Ибо только человек, сам активно занимающийся, скажем, сверхпроводимостью, сможет не только изложить давно известные факты, но и осветить сегодняшний день, а также попытаться заглянуть в будущее в области изучения сверхпроводимости.

Из сказанного ясны, как можно надеяться, те мотивы, по которым созданная в Московском физико-техническом институте (МФТИ) в 1968 г. кафедра проблем физики и астрофизики с самого начала организовала цикл лекций «Современные проблемы физики и астрофизики». Речь идет о двухчасовых лекциях, которые должны были по идее читаться в свободное от других занятий время каждые две недели. К сожалению, выбрать время, свободное для всех, редко удавалось, а в силу проведения экзаменов и по другим причинам двухнедельный ритм также нарушался. Однако за неполные 10 лет была прочтена 71 лекция¹. Темы лекций, каждую из которых читал специалист в соответствующей области, охватывают широкий круг животрепещущих проблем.

В вводной лекции к циклу (эту лекцию, как и некоторые другие, мы с изменениями повторяем, хотя и не каждый год) я пытался сделать общий обзор на тему «Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными?». На базе этой лекции (прочитанной, кстати, не только в МФТИ, но и по просьбе некоторых других вузов в Москве и вне ее) была написана журнальная статья, изданная затем в виде брошюры. Эта книжка была переведена на английский, французский, немецкий, болгарский, словенский и польский языки. Я сообщаю эти сведения не для того, конечно, чтобы рекламировать свою книжку (купить ее все равно нельзя, так как весь тираж давно разошелся)², а с целью подчеркнуть сколь широк и глубок интерес к самой постановке вопроса, к тому подходу, который я пытался обрисовать выше (речь идет, по существу, о необходимости иметь дополнительные, факультативные циклы лекций и книжки об успехах физики, о «горячих точках» современной науки).

Я совершенно убежден в том, что лекции того типа, о которых здесь идет речь, нужны во всех университетах и родственных им вузах. К сожалению, важность и полезность этого дела обычно недооцениваются как студентами, так и ректоратами или деканатами. Что касается самих лекций, то отмечу, что особенно большое внимание привлекают либо отдельные «броские» темы (например, вопрос о черных дырах), либо звание лектора. Так, если лектор — академик, то приходит больше студентов, чем на лекцию кандидата наук. Нечего и говорить, что оба эти «подхода» не выдерживают никакой критики. Кандидат наук вполне может прочесть лекцию гораздо лучше академика, а судить о теме и потенциальной пользе лекции по названию невозможно. Поэтому мой совет студентам —

¹К сожалению, вскоре чтение лекций прекратилось «по техническим причинам» — МФТИ оказалось не под силу обеспечивать лекторов автотранспортом (МФТИ расположен в г. Долгопрудном, добраться туда из Москвы нелегко). Этот факт иллюстрирует отмеченную ниже недооценку таких лекций ректоратами и деканатами. (Примеч. к настоящему изданию.)

²См. ч. I настоящего сборника.

ходите на все лекции. Некоторые из них, быть может, вам и не понравятся, но гораздо хуже пропустить что-то особенно важное, быть может, сокровенное. А так ведь бывает, что какая-то ассоциация или информация, услышанная на лекции или семинаре, порождает идею и определяет всю последующую научную жизнь. Это не преувеличение. История науки знает немало примеров, когда пламя нового научного направления загоралось от неожиданно проскочившей искры. На клад можно наткнуться и совершенно случайно, но гораздо чаще успеха достигают кладоискатели. Так и в науке. Не надейтесь на то, что блестящая идея осенит вас во время игры в карты или даже в шахматы. Больше всего шансов на успех у того, кто держит руку на бьющемся пульсе научной жизни.

ДОПОЛНЕНИЕ

Приходилось слышать такие вопросы: как нужно преподавать, например, общую физику в наше время, когда можно использовать современную технику (вычислительные машины, телепрограммы и т.п.)?

Какова роль учебника по общей физике? Часто ли нужно модернизировать этот учебник? Сколько учебников целесообразно иметь?

Общую физику я не преподаю, но такой курс по традиции является главным на первых трех курсах физфаков и родственных вузов, поэтому об этом курсе и идет здесь речь.

Так вот, я считаю, что указанную традицию не нужно ломать, в основе преподавания физики для физиков на первых курсах должен сохраниться многочасовой курс общей физики с его делением на механику, электричество, оптику и т.д. Разумеется, курс 1984 г. отличен от курса, скажем, 1934 г.: нового не мало, а в некоторых случаях даже очень много. Но основа — старая (в том смысле, что такая же, как в 1934 г.). Освоение этой основы, если можно так выразиться, как раз и является важнейшей задачей курса общей физики. И всякие современные машины и механизмы могут здесь иметь лишь второстепенное и вспомогательное значение. Главное — это во-первых, лекции, сопровождаемые демонстрациями. Во-вторых, это хороший, солидный учебник (много томный) типа курса общей физики Д.В. Сивухина. Конечно, курс все время совершенствуется и в каждое новое издание что-то нужно вносить, но, как правило, это мелкие поправки. Третий элемент — задачник по общей физике, сопровождающий (можно сказать) как лекции, так и учебник. Под редакцией того же Д.В. Сивухина такой задачник издан. Помимо учебника студентам следует смотреть и другие книги учебного типа, освещающие вопросы с другой стороны, другими способами и т.д. И такие книги существуют — это курс физики Р. Фейнмана и некоторые другие переведенные у нас курсы общей физики. Вместе с дополнительными лекциями, о которых я писал в тексте заметки, всего перечисленного более чем достаточно в качестве «материального фундамента» для преподавания физики. Могут, конечно, сказать, что в наше время изложенный подход выглядит консервативным, традиционалистским и т.п. Конечно, здесь возможны различные мнения и оценки. Со своей стороны хочу заметить, что многочисленные попытки заменить традиционные методы преподавания в школе и в вузах (дальтон-план, бригадные методы и т.д. и т.п.) полностью себя дискредитировали и не принесли ничего, кроме вреда. И это, конечно, не случайно. Основа существующих методов обучения в школе и в вузе — продукт длительного опыта, проб и ошибок. Человек же как объект обучения и т.д. в целом не изменился и за столетия. Таким образом, известная консервативность в методах обучения это, по сути дела, вовсе не консервативность, а отражение устойчивости и крайне медленного изменения человеческой природы.

ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ ЖУРНАЛА «ИЗОБРЕТАТЕЛЬ И РАЦИОНАЛИЗАТОР» (1978 г.)

№ 1. — *Какие задачи в области техники наиболее близки вам, какие из них наиболее трудно разрешимы и какие должны быть решены в первую очередь?*

— Физика питает технику. Без развития физики невозможно в конечном счете и кардинальное развитие техники. Среди физических проблем, которыми я в настоящее время занимаюсь и особенно интересуюсь, важнейшей в плане ее потенциального значения для техники является проблема высокотемпературной сверхпроводимости. Речь идет о создании металлов, остающихся сверхпроводящими, скажем, до температуры жидкого воздуха. Это большая тема и я вынужден здесь ограничиться ссылкой на монографию «Проблема высокотемпературной сверхпроводимости» (М.: Наука, 1977) и популярную статью «Высокотемпературная сверхпроводимость — мечта или реальность?» (УФН. — 1976. — Т. 118. — С. 315)¹.

№ 3. — *Какова должна быть специфика организации, в деятельности которой добровольно участвуют творческие инженеры, изобретатели, ученые?*

— Сам я нахожусь в относительно весьма благоприятных условиях — сравнительно быстро получаю много иностранных журналов, фотокопии, препринты и т.д. Поэтому я особенно хорошо представляю себе, как трудно работать без всего этого. А ведь далеко не везде у нас, особенно вдали от Москвы, легко получить нужную информацию (журналы, книги и т.д.), получить ее быстро и без затраты большого труда. В этой связи, отвечая на ваш вопрос, который имеет много сторон, остановлюсь только на одной. Именно, необходимо улучшать информацию, включая сюда возможность быстрого получения ксерокопий всей мировой литературы, имеющейся в центральных библиотеках, ВИНТИ и т.д. Организация, о которой упоминается в вашем вопросе, должна заниматься и этим делом.

№ 4. — *Какие стимулы творческой деятельности вы цените выше всего?*

— Лучшим стимулом является успех. Для физика, например, этот успех обычно проявляется в том, что его работа публикуется, становится известной, цитируется и т.п.

№ 5. — *Назовите инженеров, изобретателей, ученых, имена которых могли бы олицетворять высшие достижения тех областей науки, культуры, техники, которые более всего вам близки и знакомы.*

— Высшие достижения в науке олицетворяются для меня с именем Альберта Эйнштейна, столетие со дня рождения которого будет отмечаться в 1979 г. Замечу, учитывая характер вашего журнала, что Эйнштейн несколько лет (в частности, в период создания специальной теории относительности в 1905 г.) работал экспертом в патентном бюро в Швейцарии. Любопытно, что один из бывших ассистентов Эйнштейна в разговоре со

¹См. первую статью настоящей книги (в 1987 г. материалы, сверхпроводящие в жидком воздухе, были созданы). На вопросы № 2 и № 6 ответы не давались.

мной отметил, что Эйнштейн был очень изобретателен. В данном случае имелся в виду тот факт, что каждое утро, по словам моего собеседника, Эйнштейн появлялся с новой идеей (конечно, речь шла о некотором конкретном периоде работы).

№ 7. — *Назовите инженера, изобретателя, ученого, который произвел на вас неизгладимое впечатление.*

— Часто подчеркивают, сколь мала стала Земля в наше время. С неменьшим основанием можно, к сожалению, утверждать и противоположное. Во всяком случае, прожив с Эйнштейном (1879—1955) на одной планете почти сорок лет, я его никогда не видел. Впрочем, личные впечатления, даже неизгладимые, не могут, разумеется, служить каким-то объективным мерилom — они зависят от слишком большого числа факторов. Поэтому мне не хотелось бы называть здесь имен.

№ 8. — *Не считаете ли вы изобретательность общечеловеческим качеством и как оно проявляется у вас лично?*

— Определить понятие «изобретательность» не так-то легко. Известно, что животные (особенно приматы) иногда пользуются орудиями (палки и т.д.) и демонстрируют явную изобретательность. Несомненно, каждый здоровый человек и подавно проявляет какую-то изобретательность. Но диапазон изобретательности огромен и принимает различные формы. Например, Л.Д. Ландау говорил мне, что он не изобретатель. Но это нужно понимать только в том смысле, что Л.Д. Ландау не занимался изобретательской деятельностью в общепринятом смысле этого понятия (не изобретал каких-либо машин, приспособлений и т.п.). Вместе с тем, когда нужно было решить какую-то трудную задачу, Ландау проявлял массу изобретательности. Как мне кажется, я также проявлял известную изобретательность, когда придумывал некоторые эффекты и способы решения тех или иных задач. Хочу лишь добавить, хотя это и довольно тривиально, что трудно, а быть может, даже вообще невозможно сделать изобретение, открытие, придумать нечто важное и интересное, если не стремиться к этому. У меня лично идеи, которые я в какой-то мере отнес бы к изобретательской деятельности, появлялись в основном только в итоге перебора вариантов, активного стремления найти ответ и т.п. В общем, как говорится, под лежащий камень вода не течет.

№ 9. — *Что вы хотели бы пожелать изобретателям страны на ближайшее и отдаленное будущее?*

— Мой ответ на этот вопрос определяется ответом на вопрос № 4. Желаю изобретателям успеха, т.е. прежде всего удачных и плодотворных идей, предложений, изобретений. Но, конечно, каждому понятна и та горечь, которую испытывает человек, когда его достижения (я имею в виду подлинные достижения) остаются непризнанными, когда он встречается с недоброжелательным отношением и т.п. Поэтому я желаю изобретателям не только успеха в работе по существу, но и признания их достижений. Пусть побольше хороших, честных людей встречается на их жизненном пути.

БЕСЕДА С КОРРЕСПОНДЕНТОМ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК АН СССР» (1982 г.)

— Виталий Лазаревич, свою недавно вышедшую третьим изданием книгу «О физике и астрофизике» вы закончили призывом к коллегам чаще высказывать свои соображения по общим вопросам науки. Какие именно проблемы общенаучного характера, т.е. такие, которые интересуют всех научных работников независимо от их специальности, вы имеете в виду?

— Вы затронули очень обширную и важную тему. Отдельные замечания по этому поводу я сделал в названной вами книжке и статьях (УФН. — 1981. — Т. 134.—С. 469; Вопросы философии. — 1980. — N 12. — С. 24). Ответить на ваш вопрос сейчас сколько-нибудь подробно не берусь, потому что это заняло бы много места, да и нового по сравнению с тем, что я писал ранее, сказать не могу. Быть может, здесь играет роль и то обстоятельство, что в последнее время я в основном занимался собственной конкретной работой.

— А если не секрет, какой?

— На первый взгляд это может показаться странным, но мне не так просто ответить даже на столь простой вопрос. Дело в том, что я почти всегда занимался — частично это относится и к настоящему времени — большим числом вопросов физики и астрофизики. Это нашло отражение и в списке моих работ, которых около 300. Должен только заметить, что я, конечно, вовсе не каждую свою статью или заметку считаю «работой», а полного числа своих публикаций не знаю, вероятно, их в два-три раза больше числа работ. Мои любимые (не побоюсь этого слова) проблемы — сверхпроводимость и сверхтекучесть, астрофизика космических лучей, излучение частиц в среде: эффект Вавилова — Черенкова, переходное излучение и переходное рассеяние. Всем этим я занимался и в 1981 г. Вместе с Вадимом Николаевичем Цытовичем мы закончили писать монографию, посвященную переходному излучению и переходному рассеянию. С Гелием Фроловичем Жарковым и Александром Александровичем Собяниным нам удалось кое-что выяснить в области теории термоэлектрического эффекта в сверхпроводниках и теории термоциркуляционного эффекта в сверхтекучем гелии. Сейчас мы с Собяниным пытаемся дальше развить теорию сверхтекучести вблизи λ -точки: одну статью уже написали, вторую пишем. Я также являюсь одним из авторов и редактором коллективной монографии «Астрофизика космических лучей», которая скоро, надеюсь, будет сдана в печать. Совместно с Владимиром Соломоновичем Птускиным мы написали в этом году популярную книжку того же названия, а также подготовили доклады о происхождении космических лучей для международной и всесоюзной конференций по космическим лучам и статью о происхождении антипротонов, обнаруженных в космических лучах в неожиданно большом количестве. Я мог бы продолжить список статей и тем. Но это же не отчет.

— Конечно, нет. Однако прошу понять меня правильно. Все работы, которые вы назвали, написаны вами в соавторстве с коллегами. А вопрос о соавторстве — как раз один из тех, которые можно считать общими для науки. Кроме того, иногда, и да-

же довольно часто, большое число публикаций в относительно короткий промежуток времени ставят в укор их автору.

— Многие пишут с трудом, даже когда есть о чем писать, а у некоторых и материала маловато. Вот плодовитый автор и кажется кое-кому подозрительным, то ли он примаывается к другим, к людям, которые фактически делали работу, то ли является графоманом. Можно ли меня обвинить в последнем грехе — не мне судить. Но думаю, что о приписывании своего имени к работам других говорить не приходится — большинство моих статей написано вообще без соавторов, что частично относится и к 1981 г. Главное же, «приписывание» совершенно чуждо стилю и традициям школ Игоря Евгеньевича Тамма и Льва Давидовича Ландау, тех школ, из которых я вышел. Не могло быть и речи о том, чтобы включить Тамма или Ландау в число авторов работы, которой они непосредственно не занимались. Более того, они иногда отказывались поставить свою фамилию и тогда, когда фактически сделали много и имели на это полное право.

Споры о том, что лучше — писать мало или много, идут очень давно. Есть, например, на этот счет рассказ о перебранке — так я понял ситуацию — между, если не ошибаюсь, Лапласом и Коши. Мое мнение таково. Большое число публикаций, если не касаться главного — их качества, нельзя ставить ни в плюс, ни в минус. Это вопрос стиля, формы. Сам я пишу много потому, что писать мне, в общем, легко и, что важнее, изложение на бумаге как-то обязывает, заставляет додумать вопрос, позволяет почувствовать хотя бы какую-то законченность в работе, облегчает переход к другой теме, делу.

— *Кстати, хорошо ли, по-вашему, одновременно заниматься несколькими, причем далекими друг от друга, проблемами? Не мешает ли тут одно другому?*

— О качестве своей работы судить, конечно, не берусь. Но хочу заметить следующее. Во-первых, я работаю в области теории. Аппарат же, методы и идеи современной теоретической физики в значительной мере едины и универсальны. Поэтому немало физиков-теоретиков работают более или менее одновременно в различных областях. Во-вторых, всеми упомянутыми темами я занимаюсь уже десятилетиями. Накопившиеся опыт, информация и т.д., естественно, помогают. Несомненно, в моем теперешнем возрасте я не смог бы заново начать работать в нескольких областях, да и не уверен, что смог бы начать работать даже в одном, совершенно новом направлении. Наконец, последнее. Как и в вопросе о количестве публикаций, я не считаю «многообразие» само по себе ни плюсом, ни минусом. Конечно, за сравнительно быстрый переход от одной темы к другой приходится «платить». Постоянная концентрация на одной проблеме могла бы привести к большей глубине. Но здесь нет и не может быть универсальных правил и рецептов. Я не раз жалел о том, что не углубился в ту или иную проблему и поэтому упустил какие-то возможности. Жалел и о том, что какую-то статью написал «в запальчивости» (впрочем, это значительно менее важно). Всего не запрограммируешь, не предусмотритишь.

— *Ну, вот, Виталий Лазаревич, не кажется ли вам, что, отказавшись говорить об общих вопросах науки, вы отчасти уже перешли к ним? Пожалуй, даже углубленно занимаясь конкретной научной темой, нельзя не задумываться над более общими проблемами.*

— Без этого не обойтись, особенно в солидном возрасте.

— *Например, ученый не может не думать о будущем своей работы, своей науки. Но можно ли предвидеть ход исследований, их конечный результат? И есть ли в науке нечто такое, что вообще поддается прогнозированию?*

— Ваш вопрос, видимо, навеян существующими сомнениями в возможности прогнозирования в науке. Действительно, здесь далеко не все можно предвидеть, происходят совершенно неожиданные открытия. Да, собственно, и выражение «ожидаемое открытие» можно употреблять лишь в довольно условном смысле. Более того, самая притягательная сила науки в значительной мере связана именно с элементом непредсказуемости, некоей

таинственностью. Вместе с тем прогнозировать в науке можно, а иногда и необходимо. Тривиальный пример — разработка проектов гигантских сооружений и аппаратов — ускорителей, телескопов, спутников — в расчете на получение важных научных данных. Невозможность предсказать вполне определенные результаты не мешает обсуждению альтернативных возможностей, постановке вопросов. Подчеркну сейчас еще только один момент: необходимо отличать саму постановку задачи, ее обсуждение от указания каких-то сроков решения. Возьмем для примера проблему высокотемпературной сверхпроводимости, т.е., грубо говоря, вопрос о возможности существования и создания сверхпроводников с высокой критической температурой, скажем, достигающей температуры жидкого воздуха. Вопрос, несомненно, существует, я над ним думаю с 1964 г. Но когда будет получен ответ? И если ответ даже будет положительным, то удастся ли в обозримое время использовать высокотемпературные сверхпроводники? Думаю, что никто не может ответить на эти вопросы с какой-то степенью надежности. Однако это ни в малейшей мере не лишает данную физическую проблему актуальности, не должно мешать заниматься ею в пресловутой тиши лабораторий.

— *Трудно или даже невозможно прогнозировать определенный научный результат, тем более открытие. Но история науки дает примеры, когда некоторые открытия были предсказаны.*

— Тут есть некая тонкость. Предвиденное открытие — это в известном смысле уже не открытие, открытие произошло раньше: предсказание эффекта уже и есть открытие, а потом происходит обнаружение этого эффекта. Уместно подчеркнуть и тот факт, что источником открытий могут быть и вполне рядовые проблемы, как у гениальных детей могут быть «обыкновенные» родители. Широко известный пример тому — история открытия эффекта Вавилова — Черенкова. Было это еще до войны. Сергей Иванович Вавилов особенно интересовался люминесценцией и возможностями использования человеческого глаза в качестве приемника очень слабого света, ведь глаз — замечательный прибор, и только в наше время фотоумножители смогли с ним конкурировать. И вот Павел Алексеевич Черенков, в то время аспирант Вавилова, по его поручению в полной темноте наблюдал синее свечение жидкостей под влиянием солей урана. Вначале думали, что это обычная люминесценция, связанная с гамма-излучением солей урана. Но потом Вавилов и Черенков увидели, что это не обыкновенная люминесценция, и Вавилов предположил, что свечение — это тормозное излучение в жидкости так называемых комптоновских электронов. Затем в исследование проблемы включились Илья Михайлович Франк и Игорь Евгеньевич Тамм, установившие, что имеют дело с ранее неизвестным явлением когерентного излучения быстрого электрона. Так было совершено открытие. Начали с довольно «рядового» вопроса, а пришли к новому важному эффекту.

Кстати, говорить о вероятности открытия, пожалуй, можно, но тогда уже уместно воспользоваться также понятием о «математическом ожидании» открытия: вероятности, помноженной на значимость, важность.

— *Значит, существенно осознавать потенциальную значимость ожидаемого научного результата. Не так ли?*

— Несомненно. Понимание большой потенциальной значимости для техники или медицины возможно физического открытия или результата — мощный стимул в работе. Яркий пример — термоядерные исследования. Они, конечно, интересны для физики и сами по себе, но никогда не приобрели бы своего нынешнего размаха, если бы не обещали решения важнейшей энергетической проблемы. Получение высокотемпературных сверхпроводников тоже очевидным образом является потенциально важным для техники. Но бывает и так, что возможные выходы в технику заранее совсем не ясны. Поэтому абсурдно и вредно не придавать должного размаха тем или иным исследованиям только на том основании, что возможная практическая их значимость заранее не очевидна. Вся история развития

физики (говорю о ней для определенности) свидетельствует о необходимости широкого подхода. Узкий практицизм, погоня только за близким практическим успехом и т.п. в общем принесут только вред. Другое дело, что размах ряда физических исследований в связи с ограниченностью средств и сил в значительной мере должен соизмеряться с нуждами и задачами техники, промышленности, медицины и т.д.

— *В наше время влияние техники и технологии на характер и размах научных исследований чрезвычайно усилилось. Так правильно ли, по-вашему, принятое сейчас в науковедении деление науки на фундаментальную и прикладную?*

— У нас часто, даже обычно, называют фундаментальной наукой все те направления, которые не связаны непосредственно с практикой, с приложениями. Такая терминология буквально режет слух. Фундаментальное в физике — это вопросы о строении материи; сейчас, скажем, это проблема кварков, единая теория различных взаимодействий и т.д., некоторые другие принципиальные задачи. В астрономии фундаментальны космологическая проблема, вопрос о происхождении галактик и квазаров, вопрос о «черных дырах» и прочее. Другие физики и астрономы назовут, возможно, и некоторые иные проблемы фундаментальными, а представители иных областей знания — свои проблемы. Но называть фундаментальными исследованиями все неприкладное просто язык не поворачивается. Лучше уж тогда так и говорить: неприкладные исследования. А скорее, вообще можно обойтись без всех этих слов, истина ведь всегда конкретна, и по каждой теме можно указать, видны или нет те или иные приложения к технике.

К тому же я не вижу никакой пропасти между прикладным и неприкладным в науке, особенно учитывая, что в ходе прикладных исследований могут совершаться открытия более широкого значения.

— *Каковы же стимулы для занятий неприкладной наукой?*

— С прикладной физикой все ясно: цели исследования здесь известны. А с неприкладной?.. Занятия наукой это вообще важная форма человеческой деятельности. Если человек любит музыку или даже становится музыкантом-профессионалом, его не спрашивают, зачем это нужно и почему он, скажем, играет на трубе. А физика почему-то принято все время вопрошать: для чего работаешь, чем поможешь производству? Я всецело за помощь и промышленности, и медицине, и сельскому хозяйству, но нельзя же отрицать права на неприкладную научную деятельность, которой многие посвящают всю свою жизнь, все силы. Я уже не говорю о том, что такая деятельность совершенно необходима для развития той самой прикладной науки, которая потом и, скорее всего, в других руках принесет огромную пользу практике, всему человеческому обществу.

— Я с вами полностью согласен. Однако помимо деления науки на прикладную и неприкладную существуют еще и другие подходы к систематизации исследований даже в одной области, такой, как физика. В 1964 г. на заседании Президиума Академии наук СССР Лев Андреевич Арцимович сделал доклад, в котором утверждалось буквально следующее. В современной физической науке есть два, и только два, крайних направления, где можно ожидать революционных преобразований в основных представлениях о свойствах материального мира. Одним из них является физика элементарных частиц, а другое — исследование структуры, происхождения и эволюции звезд и галактик. Нельзя ожидать, говорил Л.А. Арцимович, чтобы разработка какого-либо вопроса из области, например, физики твердого тела подарила нам новые фундаментальные законы и смогла заставить Пересмотреть основы физического мировоззрения, — это не такая область, где возможен очень широкий размах, она распалась на множество отдельных участков со своими конкретными задачами¹.

— *Как вы считаете, что в этих словах идет от всем известной страсти Льва*

¹См.: Вестник АН СССР, 1965, N 2.

Андреевича к парадоксальным, а иногда и чрезмерно резким суждениям, а что все-таки характеризует истинное положение вещей?

— Мысль, согласно которой поистине глубокие и фундаментальные (принципиальные) вопросы в физике и астрономии связаны с проблемой строения вещества и космологической проблемой, с одной стороны, справедлива, но с другой — может быть неправильно понята. В науке, в данном случае в физике и астрономии, имеется некий передний край или фронт. То, что находится за этим краем, совсем не видно или видно сквозь густой туман. Продвигаться вперед здесь фантастически трудно. Конкретно, в физике таким краем в начале века был вопрос о строении атомов и молекул, в 30-е годы это был вопрос о строении атомных ядер, сейчас речь идет уже о строении протонов и нейтронов, из которых образованы атомные ядра, о строении ряда других частиц, в частности мезонов, т.е. вопрос ставится о кварках и т.д. Являются ли кварки последними «кирпичиками мироздания» или сами состоят из протокварков? Как взаимодействуют между собой кварки и другие частицы? На эти вопросы во многом еще нет ответа, здесь и проходит передний край. В астрономии этот передний край, или фронт, связан с космологической проблемой, а также с вопросом о «черных дырах». Выделенность таких проблем очевидна, недаром именно они сильнее всего привлекают к себе значительную часть талантливой молодежи. Ее притягивают новизна и нерешенность задач. Если же мы знаем фундамент, это создает некое спокойствие, уверенность. Если мы не знаем фундамента, то это совершенно иной тип работы. Там действуют в значительной мере методом проб и ошибок. Там нет четких правил игры. Но вот что было бы грубой и глубокой ошибкой (а она порой встречается), так это все остальное в физике и астрономии, не находящееся на переднем крае, считать чем-то второстепенным и второсортным.

Возьмем, например, физику твердого тела. Здесь фундамент практически известен, о кварках можно не думать и рассматривать только атомные ядра, электроны и фотоны — кванты света. Исходные уравнения, описывающие все эти частицы, можно считать в применении к физике твердого тела надежно установленными. Но от этого немногим легче. Твердое тело столь сложно, состоит из такого огромного числа частиц, что, например, природа сверхпроводимости была понята лишь 46 лет спустя после открытия этого явления. А сколько за это время на решение задачи было потрачено усилий. То же можно сказать и о проблеме фазовых переходов и некоторых других. Ландау мне говорил, что ни над одной проблемой он столько не думал, как над фазовыми переходами. Действительно, проблема фазовых переходов — я считаю, что она и сейчас полностью не решена, хотя некоторые и думают, что главное уже сделано — необыкновенно трудна и требует десятилетий для своего решения.

Не согласен я и с тем, что физика распалась на отдельные участки. Нет, в физике много общих методов, число которых растет все время и появляется масса интересного для очень многих. Короче говоря, я думаю, что если уже вводить «табель о рангах» в физике, то нужно рассматривать минимум три категории проблем. Во-первых, это те вопросы микрофизики, которые связаны с расширением и углублением самого фундамента физики. Во-вторых, это довольно многочисленные, очень трудные и принципиальные вопросы из различных областей физики, при исследовании которых о фундаменте можно не беспокоиться, но еще совершенно не ясно, как решить задачу, каковы будут ответы, результаты. В третьих, это уже вопросы более частные, но иногда крайне важные для техники и приложений. Здесь, конечно, трудности продвижения вперед тоже могут оказаться колоссальными, но тип задач, стиль работы, видимо, ближе к технике, инженерному делу. Все это вместе и образует здание физики. Утверждать, что важен только фундамент, здесь столь же нелепо, как в применении к любому зданию, скажем, к жилому дому.

— *Если я вас правильно понял, вы против элитарности в физике, против высказываний, дающих возможность интерпретировать их как признание деления науки на науку чистую и нечистую, первого и второго сорта.*

— Да, вы правы. Кроме того, у меня есть «теория», что место микрофизики в ряду других наук существенно изменилось за последнее время. Мне кажется, что, когда главный фронт физики проходил, можно сказать, через атом и даже атомное ядро, это имело особенно большое значение для всей науки. Сейчас фронт переместился. Микрофизика по-прежнему очень важна, по-прежнему очень интересна, но какое значение она — на ее теперешнем уровне — имеет, скажем, для биологии, которая сама вышла на самый передний край естествознания? Возьмем вопрос о редукционизме: все ли в биологии сводится к физике? Я лично склонен считать, что все к ней в общем сводится, но, несомненно, и вопрос, и ответ на него несколько схоластичны: биологические системы во всей их сложности и специфике так далеки от «первичного» уровня материи (скажем, от кварков и даже нуклонов), что непосредственно с помощью «первичных» физических представлений в биологических процессах ничего нельзя объяснить.

— *Взять хотя бы человеческую психику.*

— О психике уже и не говорю. Пусть речь идет о молекулярной биологии, о генной инженерии — обо всем том, что делается на уровне больших молекул. От того, что вы знаете уравнение Шредингера, здесь вам без дальнейшего еще ни тепло, ни холодно.

Известно, что у человеческого мозга существуют огромные резервы, и их надо постараться мобилизовать. Были и живут люди с необыкновенной памятью, превосходящей все, что можно себе представить. Но где корни этого феномена? Будете ли вы лепить мир из кварков или из протонов — для данной проблемы это значения не имеет. Смешно всю науку сводить к микрофизике. В общем, от сознания своей элитарности очень близко до снобизма.

— *Это уже вопрос этики. Вы ее, кстати, уже касались, говоря о проблеме соавторства, о традициях школ Ландау и Тамма. Это очень интересно.*

— Вообще-то, я не люблю слово «школа», как, впрочем, и слово «ученый». Ландау смеялся над этим словом: «Кот ученый — понимаю, а так ученый — что это такое?» Лучше уже слова «научный работник», «физик». Так вот, насчет научной школы. Сидят люди за столами и кто-то кого-то учит? Конечно, нет. Научный лидер — не только человек, выдающийся в научном отношении, но и учащий прежде всего своим примером, своим отношением к делу, стилем поведения. Конечно, то, что я сказал ранее о «приписывании», относится к стилю школы. Кроме того, важны широта подхода, своя логика, наконец, и научная этика — все это продукты школы. Люди учатся на precedентах. Приведу такой частный пример, который, с моей точки зрения, тоже в какой-то мере относится к научной этике. Как-то мне пришлось быть редактором нового тогда издания книги Игоря Евгеньевича Тамма «Основы теории электричества». Помню, я как редактор сделал около 150 замечаний автору. Многие из них были по существу, и И.Е. Тамм согласился с ними, но пришел в бешенство от того, что я решительно возражал против употребления оборота «откуда явствуется», учил его, как надо писать. Вам «явствуется» нравится или нет? Наверное, тоже не нравится.

— *Это зависит от всего стиля изложения.*

— Именно так. На этом примере я понял, как должен себя вести редактор. Он может советовать, но делать изменения лишь карандашом, «в порядке предложения». А у нас сплошь да рядом редактор прямо диктует автору. Это мотивируется, в частности, так: вы знаете свое дело, а мы свое. Это совершенно ошибочно.

— *Я считаю, что если мысль понятна, то это уже хорошо написано. Как правило, если человек хорошо мыслит, то он и хорошо пишет. Но увы, так бывает не всегда. К тому же многие статьи пишутся наспех, и вмешательство редактора в таких случаях идет на пользу дела.*

— И все-таки, если автору хочется сказать так, а не иначе, он имеет на это право, ибо в конечном счете отвечает за текст. Бывает, конечно, что он что-то не заметит, а редактор

заметит, и тогда автор будет только благодарен редактору. Но я сейчас говорю о другом: не надо переделывать текст из вкусовых соображений и против воли автора, если он не пишет явных глупостей.

Одна моя статья кончалась довольно цветистой фразой, которая казалась мне уместной в качестве концовки. Перед тем как отдать статью в печать, я показал ее двум физикам, весьма известным. И вот один из них мне сказал: «Выбрось эту фразу, она здесь не нужна». А другой: «Эта фраза — самое лучшее во всей статье». Так как фраза мне нравилась, я ее оставил и, думаю, поступил правильно. На всех не угодишь.

— *Полагаю, академики меньше других страдают от редакторских придирок.*

— Я думаю не только о себе, но и о других. И если мне диктуют, как писать, то каково же живется нетитулованным физикам!

— *Если говорить о взаимоотношениях автора и редактора, то редактор, видимо, должен стараться помочь автору сколько может, но последнее слово остается за автором. И тем не менее, откровенно говоря, мне подсказывает это и мой собственный авторский и редакторский опыт, автор слишком часто видит в своей рукописи то, что он думал, что хотел написать, а не то, что получилось в действительности. Так сказать, «мысль изреченная есть ложь». Эта тютчевская фраза на наш слух звучит излишне категорично, но что-то в ней, наверное, есть, раз принадлежит она человеку, много и более чем успешно работавшему со словом. Писать трудно. Слова — тонкая материя, требующая деликатного обращения.*

— Не могу не согласиться с вами. Однако мы отвлеклись. Я хотел сказать, что главное в научной школе не всегда то, что бросается в глаза, а атмосфера, отношения между людьми.

НЕСТАРЕЮЩАЯ ФИЗИКА

Вместо ответа на анкету журнала «Наука и жизнь»¹

50 лет — это много для человека, хотя средняя продолжительность жизни в развитых странах уже достигает, кажется, 70—75 лет. Но в науке намного дольше пятидесяти лет работать не приходится даже тем, кому повезло. Поэтому трудно, опираясь на собственный опыт, экстраполировать развитие науки на полстолетие. Трудно это и независимо от личных впечатлений, ибо в нашу эпоху за 50 лет в науке происходит многое. Между тем анкета журнала «Наука и жизнь» охватывает даже период в 100 лет, из которых, правда, события за последние 50 лет (1934—1984 гг.) нам известны.

Думаю, что, прежде чем пытаться представить себе грядущее пятидесятилетие физики, поучительно сравнить развитие науки за два прошедших пятидесятилетия, т.е. за интервалы 1934—1984 и 1884—1934 гг. Сто лет назад, т.е. в 1884 г., современной физики, можно сказать, не существовало — не было теории относительности и квантовой механики, не были открыты радиоактивность, атомное ядро и даже электрон. Практически не было в 1884 г. и внегалактической астрономии, не знали о масштабах Вселенной и о ее расширении.

Создается впечатление, что за полстолетие, с 1884 по 1934 г., в физике и астрономии было сделано гораздо больше фундаментального, чем за следующее полстолетие, с 1934 по 1984 г. В самом деле, к 1934 г. не только специальная, но и общая теория относительности уже давно были построены (соответственно в 1905 г. и, несколько условно говоря, в 1915 г.), в 1925—1926 гг. была создана нерелятивистская квантовая механика. В 1934 г. существовали также, пусть и в первом варианте, квантовая электродинамика (квантовая теория излучения) и релятивистская теория электрона. Были уже не только открыты электрон и атомное ядро (включая протон), но и обнаружены (в 1932 г.) нейтрон и позитрон. Давно были открыты, скажем для примера, космические лучи (в 1912 г.) и сверхпроводимость (в 1911 г.). Возникла внегалактическая астрономия и, главное, было обнаружено (условно — к 1929 г.) расширение Вселенной или, скажем, осторожнее, расширение наблюдаемой части Вселенной.

За следующее пятидесятилетие, т.е. с 1934 по 1984 г., физика и астрономия также проделали, конечно, огромный путь. Освоено, можно сказать, атомное ядро (появились атомная энергетика и, к сожалению, атомные и водородные бомбы), созданы лазеры и вычислительные машины на полупроводниках, астрономия превратилась из оптической во всеволновую, открыты квазары, пульсары и многое другое. Если же говорить о фундаменте физики, то важнейшими представляются открытие новых частиц (барионов, мезонов и лептонов) и переход к кварковой модели вещества. С последним связано становление квантовой хромодинамики. Нужно упомянуть и об открытии нейтрино (хотя гипотеза о еще существовании возникла ранее — в 1930 г.) и создании единой теории слабого и электромагнитного взаимодействия. Всего, конечно, и не перечислишь.

¹В 1984 г. в связи с 50-летием журнала «Наука и жизнь» его редакция предложила ответить на анкету «Вчера, сегодня, завтра», содержащую три вопроса (см.: Наука и жизнь. — 1984. — N 10. — С. 13). Содержание вопросов сводится в общем к предложению охарактеризовать и сравнить состояние науки в 1934, 1984 и 2034 гг., т.е. в целом за сто лет.

И все же, как было уже сказано, за период 1884—1934 гг. для фундамента современной физики было сделано больше (думаю даже, что значительно больше), чем за последние 50 лет. Нужно ли этому удивляться? Вряд ли. Всем же очевидно, что, скажем, развитие географии стало сейчас совсем иным, чем раньше — во время существования на Земле «белых пятен». Физика и астрономия — это, разумеется, не география. «Белые пятна» в таких областях, как и во многих других, в первую очередь в биологии, останутся и через века. Но нет оснований представлять себе развитие науки монотонным и однородным в том смысле, что одно пятидесятилетие похоже на другое по темпам и характерным чертам развития.

Иллюстрируя это замечание, можно подчеркнуть, что произведенное выше объединение физики и астрономии по характеру развития за два предшествующих пятидесятилетия представляется справедливым лишь, так сказать, в первом приближении. Так, в случае астрономии «контраст по фундаментальности» не так явно выражен, как для физики. Более того, в отношении астрономии сопоставлять период 1884—1934 гг. с периодом 1934—1984 гг. даже не было особой нужды, чтобы с большей ясностью перейти к некоторому прогнозу на пятидесятилетие 1984—2034 гг. Впрочем, экскурс в прошлое помешать не может.

Думаю, что пятидесятилетие 1984—2034 гг. в физике и астрономии будет ближе по типу и характеру развития к пятидесятилетию 1934—1984 гг., чем к периоду 1884—1934 гг. Разумеется, никто и ничто не только не отменит, но и не поколеблет теорию относительности и квантовую механику — эти основы современной физики. Можно ожидать вместе с тем создания весьма развитой единой теории поля (j /ли, точнее, многих полей, включая гравитационное поле). Это будет огромным шагом вперед, но не неожиданностью — ведь над единой теорией поля около тридцати последних лет жизни работал великий Эйнштейн, а сегодня именно единая теория поля находится в центре внимания теоретической физики. Возможно, к 2034 г. выяснится ограниченность кварковой модели и физика перейдет на следующую, «более глубокую ступень» — будет доказано существование прото-кварков (частиц, из которых «состоят» кварки) и какой-то новой, отвечающей им физики. Но вполне допустима в настоящее время и гипотеза о том, что кварки — это последние «кирпичики» вещества и дальнейшее дробление не отвечает реальности.

В любом случае, по всей вероятности (таково, по крайней мере, мое мнение), даже кварки, не говоря уже о протокварках, не начнут непосредственно «работать» в атомной физике, биологии и т.д. В этом отношении они отличаются от электронов, нейтронов и атомных ядер. Если такое мнение окажется правильным, то это все равно нисколько не будет умалять (как не умаляет и сегодня) огромной научной значимости кварковой модели. Очень важно и, можно сказать, приятно, когда те или иные физические представления и результаты играют актуальную роль в других областях естествознания или в технике и медицине. Но никак нельзя согласиться с мнением (я бы даже с удовольствием поставил здесь «мнение» в кавычки), что глубина и научное значение физических идей, моделей и теорий должны оцениваться в первую очередь в плане их непосредственного влияния на технику или другие науки.

Впрочем, отнюдь не исключено, что кварки каким-то образом все же выйдут на авансцену не только в физике высоких энергий, но и, скажем, в ядерной энергетике, хотя я считаю, как здесь сказано, это маловероятным. Кстати, вряд ли приходится беспокоиться о судьбах ядерной энергетике и без всякого использования кварков. Трудно сомневаться в том, что к 2034 г. термоядерные реакторы и ядерные реакторы-размножители обеспечат нас всей необходимой энергией. Точнее, они смогут обеспечить той энергией, которую не удастся получить без них на основе использования излучения Солнца и других «чистых» и практически неиссякающих источников.

В области астрономии можно ожидать, что к 2034 г. будет широко освоен не только весь диапазон электромагнитных волн и всесторонне изучены космические лучи, но

и возмужают нейтринная астрономия и астрономия гравитационных волн, сейчас еще не принесшие плодов в области наблюдений (за исключением, быть может, приема нейтрино от Солнца). Вместе с тем мне кажется маловероятным появление каких-либо еще неизвестных сейчас «каналов» астрономической информации (в результате, скажем, открытия каких-то еще неизвестных частиц). Совершенно очевидно, что в случае справедливости такого «предсказания» астрономия достигнет известного насыщения — в смысле освоения всех каналов информации (но это, конечно, не означает еще насыщения количества и качества самой получаемой информации о космосе).

Мне хотелось бы коснуться также двух областей более узких, которыми я сам много лет занимаюсь, — космических лучей (в их астрофизическом аспекте) и сверхпроводимости. К 1934 г. космические лучи уже широко использовались, как мы сегодня сказали бы, в физике высоких энергий. Именно в космических лучах был открыт позитрон. Что же касается состава первичных космических лучей (частиц, достигающих границ атмосферы), то известно было мало — сначала считалось, что речь идет о жестких фотонах (гамма-лучах).

И только лишь в последнее пятидесятилетие выяснилось, что первичные космические лучи состоят в основном из протонов, в их состав входят также ядра многих элементов. Количество первичных электронов составляет лишь около 1% всех космических лучей, позитронов — еще на порядок меньше, а антипротонов (они лишь недавно обнаружены) — уже на четыре порядка меньше, чем протонов. Но многое о космических лучах еще неизвестно, например изотопный состав ядер, энергетические спектры компонент и т.д.

Исследовать первичные космические лучи трудно, для этой цели применяются высотные баллоны и спутники. Поэтому прогресс в этой области идет довольно медленно. Но все же к столетию со времени открытия космических лучей (к 2012 г.) и подавно к 2034 г. можно ожидать, что состав и различные характеристики первичных космических лучей у Земли будут известны с достаточной полнотой, необходимой для анализа вопроса о трансформации космических лучей в межзвездном пространстве и в их источниках. Далеко вперед шагнет и изучение космических лучей вдали от Солнечной системы методами радио, гамма- и нейтринной астрономии.

Что касается использования космических лучей и физике высоких энергий, то оно играло важную роль примерно до 1950 г. Достаточно сказать, что именно в космических лучах в 1937 г. были открыты мю-лептоны (мюоны) и в 1947 г. — заряженные пи-мезоны (пионы). Но в дальнейшем в связи с созданием новых ускорителей роль космических лучей в физике высоких энергий сильно уменьшилась, хотя и сегодня она отнюдь не пренебрежимо мала. Думаю все же, что к 2034 г. космические лучи не будут находиться в центре внимания физиков.

Природа сверхпроводимости (на микроскопическом уровне) была выяснена лишь в 1957 г. — через 46 лет после открытия самого явления. Это своеобразный рекорд для макроскопических явлений, открытых в нашем веке. С тех пор прошло уже 27 лет, успехи в изучении и применении сверхпроводимости велики. Вместе с тем до сих пор мы все еще не знаем, могут ли существовать высокотемпературные сверхпроводники — для них критическая температура T_c (при температурах, больших чем T_c , сверхпроводимость исчезает) должна превосходить скажем, температуру кипения жидкого азота $T_{\text{азот}} = 77 \text{ К}$ (для известных сейчас сверхпроводников T_c меньше 24 К; см. дополнение в конце статьи).

Я интересуюсь и занимаюсь этой проблемой с 1964 г., т.е. как раз 20 лет. Нам — этим вопросом занимается целая группа физиков-теоретиков в Отделе теоретической физики им. И.Е. Тамма Физического института АН СССР (ФИАН) — удалось кое-что выяснить, но в целом прогресс в понимании происходит значительно медленнее, чем я ожидал. Так бывает. Вот и в данном случае двадцати лет оказалось мало для решения проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Но все же думаю, что не только к 2034 г., но уже к

2011 г. — к столетию открытия сверхпроводимости — будет ясно, могут ли существовать высокотемпературные сверхпроводники. В принципе не исключено, что вообще нельзя создать такие сверхпроводники в более или менее обычных условиях (скажем, не под очень высоким давлением, когда может существовать металлический водород, возможно, являющийся высокотемпературным сверхпроводником). Но мне как-то трудно в это поверить, и, хотя без особенно глубоких оснований, я склонен все еще надеяться на возможность создания высокотемпературных сверхпроводников не только в очень экзотических условиях.

В общем, несомненно, к 2034 г. многие актуальные сегодня проблемы физики и астрофизики будут решены, на смену им возникнут другие задачи и проблемы. Продвинется вперед (и, быть может, даже далеко вперед) фундаментальная теория. Но в целом, как я склонен думать, лицо физики останется легкоузнаваемым, если можно так выразиться. Конечно, я могу ошибиться, но сказанное не «гадание на кофейной гуще», а экстраполяция, основанная на знакомстве с большим материалом и на собственном опыте. Ведь как раз 50 лет назад, в 1934 г., я поступил на второй курс физического факультета МГУ и имел представление о состоянии физики в то время, в частности читал книгу О.Д. Хвольсона «Физика наших дней», о которой вспоминаю с благодарностью. Так вот, я помню «лицо физики» 1934 г. и вижу сегодняшнее. Не буду повторяться — это то же лицо. Но в чем сравнение с человеческим лицом отказывает, так это в воздействии возраста. За 50 лет человек из юноши становится представителем людей преклонного возраста, как теперь принято говорить с целью отодвинуть старость на годы, превосходящие то ли 75, то ли 80. А лицо науки все время молодое, наука полна сил, она не стареет — во всяком случае, физика пока что не стареет!

Необходимо подчеркнуть, однако, что выше речь шла лишь об одной стороне, характеризующей развитие физики (и науки вообще). Эту сторону дела, этот параметр условно можно назвать глубиной. Но имеется по крайней мере еще один параметр — столь же условно назовем его шириной. Более конкретно речь идет об объеме информации, числе физиков и т.п. По этому параметру развитие происходит иначе, чем «по глубине». Здесь, однако, невозможно развивать эту тему; ограничусь замечанием, что за последние пятьдесят лет объем информации увеличился в десятки раз, скажем раз в тридцать. К 2034 г. можно ожидать примерно такого же увеличения, что приведет к существенным трудностям. Ясно, что дифференциация (разбиение физики на отдельные области и направления) еще больше усилится. Но какой-то «стержень» сохранится; именно он, собственно говоря, и имеется в виду в настоящей заметке.

Сейчас уместно будет, как мне кажется, сказать о том, о чем я думал с самого начала, когда получил анкету «Науки и жизни». Ведь у меня нет никаких шансов дожить до 2034 г. или хотя бы до 2011 г. или 2012 г. — столетия со времени открытия сверхпроводимости и космических лучей. Не стоило бы об этом писать, если бы речь не шла здесь, по сути дела, о проблеме первостепенного, колоссального значения для человечества, а не только для отдельных личностей. Нельзя смириться с тем, что люди (в том числе, конечно, и самые талантливые) нередко умирают, не дожив и до 50 лет. Нельзя смириться с тем, что многие умирают в муках, а некоторые страшные болезни, в том числе рак и психические заболевания, далеко не побеждены. Нельзя смириться и с тем, что даже те, к кому судьба благосклонна, не живут обычно дольше 85—90 лет, не говоря уже о большем. Существует мнение, что примерно 90 лет — это средний предельный возраст человека как биологического вида, предел, запрограммированный в его генетическом коде или, правильнее сказать, в генетической системе. Если это даже так (несмотря на существование долгожителей, перешагнувших за 100 и даже 120 лет), то современное состояние биологии дает возможность ставить вопрос о продлении продолжительности жизни. То же можно сказать о борьбе с целым рядом ужасных болезней.

Почему я решил коснуться здесь проблем биологии и медицины? Одна из причин состоит в том, что мой прогноз развития физики и астрофизики может показаться несколько

умеренным, даже минорным: в периоды 1884—1934 и 1934—1984 гг. было так много сделано, что не так уж много осталось на будущее, «героические времена» прошли. Конечно, не так буквально, но что-то в таком духе я действительно склонен думать. При этом знаю из истории науки, что подобные настроения — впечатление, что основное уже позади, — весьма часто существовали в научной среде и до сих пор всегда, в общем, оказывались опровергнутыми жизнью. И все же нет оснований считать, что так должно быть всегда. Одним словом, я сторонник умеренного прогноза. Есть люди, которые, когда дело касается прогнозов, вообще предпочитают промолчать, но я убежден в том, что лучше ошибаться и высказать свое мнение, чем молчать из осторожности.

Тут я чуть не написал «поживем — увидим». Но, увы... Так вот, коснувшись биологии, я хотел бы подчеркнуть, в частности, что моя «умеренность» в прогнозе на предстоящее пятидесятилетие не относится к науке вообще. Не говоря уже о социальных проблемах, где так много неясного и столько еще впереди, никаких умеренных прогнозов в биологии делать не приходится. С помощью физики и химии биология оказалась сегодня способной ставить в реальном плане и, как можно думать, решать великие проблемы, упомянутые выше (к ним можно прибавить и изучение механизма работы мозга и, быть может, «мобилизацию» его гигантских резервов). Эти проблемы действительно заслуживают эпитета «великие», ибо они не только имеют колоссальное научное значение, но в случае успешного решения в большой мере определяют судьбы человечества.

Без самого широкого использования физики и ее дальнейшего развития с учетом нужд биологии великие проблемы биологии решены быть не могут. Поэтому, даже если физика в известном смысле уступила и уступит биологии «первое место» в естествознании, то из-за этого не следует огорчаться. Во всяком случае, могу сказать о себе: я очень люблю физику (уверен, что слово «любовь» здесь вполне уместно), но это не мешает с восхищением и надежной наблюдать за тем, как стремительно развивается, и видеть, как много обещает современная биология.

ПЯТЬ ЛЕТ СПУСТЯ

В связи с подготовкой настоящего издания я, естественно, задумался о том, что изменил бы в статье, если бы писал ее сегодня (конкретно, в 1990 г.).

Первое изменение касается проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Как, несомненно, известно читателям, в 1986—1987 гг. эта задача была решена в том смысле, что получены материалы, остающиеся сверхпроводящими в жидком азоте. К 1990 г. наивысшее достигнутое значение $T_c \approx 125$ К (речь идет о стабильных веществах и надежных результатах). Теперь вопрос стоит о тех максимальных значениях T_c , которые удастся достигнуть в не слишком экзотических условиях. Если говорить о надеждах, то проблему высокотемпературной сверхпроводимости я заменил бы (или, лучше сказать, уточнил бы) на проблему комнатотемпературной сверхпроводимости. Если приблизиться к тексту статьи, то написал бы так: «К 2011-му году — к столетию открытия сверхпроводимости — будет ясно, могут ли существовать и использоваться сверхпроводники при комнатных температурах». Независимо от ответа на этот вопрос, несомненно, к 2011 г. высокотемпературные сверхпроводники (с $T_c > 77$ К) будут использоваться весьма широко.

Второе изменение, которое я внес бы, таково: не написал бы, что о судьбах ядерной энергетики не приходится беспокоиться. После аварии в Чернобыле (апрель 1986 г.) стало как-то особенно ясно, что ядерные реакторы всех типов, в том числе, видимо, и термо-ядерные и реакторы-размножители, должны использоваться лишь в условиях, когда их взрыв практически исключен. При этом речь идет не только о ядерной войне, но и об использовании неядерного оружия (реактор может вывести из строя и вызвать тем самым

ядерное загрязнение и обычная бомба). Нужно иметь в виду и возможность аварии в результате землетрясения или каких-то ошибок при эксплуатации и т.д. Сделать ядерные реакторы в высокой степени безопасными можно, по-видимому, лишь ценой большого увеличения их стоимости, например поместив достаточно глубоко под землей. Но при этом повышается конкурентоспособность других путей решения энергетической проблемы, в частности путем использования солнечной энергии (см. в этой связи статью: *Кириллин В.А., Шпильрайн Э.Э.* // Вестн. АН СССР. — 1989. — N 4. — С. 51). К тому же, если удастся широко использовать высокотемпературные сверхпроводники, то это может положительным образом сказаться на создании особенно эффективных накопителей энергии и линий электропередач (для развития солнечной энергетики и то и другое весьма важно). Таким образом, будущее энергетики не представляется особенно ясным. Я все же склонен думать, что от ядерной энергетики не откажутся.

Наконец, третье замечание. В квантовой теории поля и в астрономии все шире обсуждается возможность существования ряда не известных еще на эксперименте частиц. В частности, именно некоторые из этих частиц могут оказаться «ответственными» за скрытую массу (см. первую статью в сборнике). Если дело обстоит таким образом или даже если неизвестные частицы существуют в космосе не в ничтожно малых количествах, то появление новых «каналов» астрономической информации станет реальным и при этом неизбежным.

О НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ ЛИТЕРАТУРЕ И ЕЩЕ КОЕ О ЧЕМ...

На страницы научно-популярных журналов нередко проникают непроверенные сенсационные сообщения, а также статьи, посвященные спорным представлениям и теориям. Помешать такому положению вещей практически невозможно, да и в известных пределах было бы неправильным. Читатели хотят быстро узнавать о научных новостях или гипотезах, даже если в дальнейшем выясняется, что эти «новости» или «гипотезы» оказались опровергнутыми. Вместе с тем очевидно, что всего поступающего в журналы публиковать нельзя, ибо, не говоря уже о недостатке места, это вызовет полную сумятицу в умах массового читателя. Отбор материала для печати — очень трудное дело, и редакциям научно-популярных (да, впрочем, и всех других) журналов не позавидуешь. Указать какой-то универсальный рецепт для отбора вряд ли возможно, но один принцип, как мне кажется, должен обязательно соблюдаться: если публикуется статья, посвященная спорной теории фундаментального характера, то должно найтись место и для статьи, в которой высказывается иная точка зрения. Я столкнулся с этой проблемой на конкретном примере.

А.А. Логунов уже ряд лет критикует общую теорию относительности (ОТО) и предлагает заменить ее развиваемой им с сотрудниками релятивистской теорией гравитации (РТГ). Не ограничившись публикацией соответствующих статей в научной литературе, А.А. Логунов послал статьи с критикой ОТО и изложением основ РТГ и в научно-популярные журналы, в частности в «Науку и жизнь» [1]. По моему убеждению, обсуждение РТГ в научно-популярных журналах не могло принести и не принесло пользы — такое обсуждение уместно только в научной литературе, что в конце концов и было сделано [2, 3]. Во избежание каких-либо недомолвок замечу, что не согласен с А. А. Логуновым и придерживаюсь мнения его оппонентов [3]. Но не об этом речь в настоящей статье — ни ОТО, ни РТГ я по существу затрагивать здесь не собираюсь. Я хочу лишь пояснить, что появление статьи А.А. Логунова [1] в «Науке и жизни» буквально заставило меня опубликовать там же статью [4] с изложением другой (как я считаю, общепринятой) точки зрения на ОТО. В самом деле, я член редколлегии «Науки и жизни», и если бы я промолчал (а никто другой, насколько мне известно, полемизировать с А.А. Логуновым на страницах «Науки и жизни» не собирался), то я как бы соглашался с ним (ведь, пусть это и довольно условно, но «молчание знак согласия»). Итак, в «Науке и жизни» появились две противоположные по направленности статьи [1, 4], посвященные ОТО и РТГ, что находится в полном согласии с провозглашенным выше принципом. В качестве реакции оба автора [1, 4] получили много писем, и А.А. Логунов на ряд из них ответил [5]. Я же вместо ответа написал «Заметки по поводу...» [6], которые составляют основу настоящей статьи. Хотя ОТО и РТГ здесь и упоминаются, не о них, как сказано, идет речь. Касаюсь же я возможностей научно-популярной литературы и некоторых других вопросов, которые, как можно надеяться, представляют известный интерес.

КАКОВЫ ВОЗМОЖНОСТИ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ?

Доказывать, что научно-популярная литература нужна, важна и интересна, было бы излишне. Однако не столь ясно, что возможно и что недостижимо в научно-популярных статьях.

Предварительно нужно отметить, что научно-популярные журналы имеют очень широкий спектр и соответственно совсем разную аудиторию. Тираж «Науки и жизни» в 1989 г. превосходил 3 млн. экземпляров, и, значит, журнал читают или хотя бы просматривают несколько миллионов человек. Тираж нашего наиболее «серьезного» популярного журнала «Природа» составляет 55 тыс. экземпляров. Есть у нас и еще несколько популярных журналов. За рубежом также издается немало научно-популярных журналов, нередко очень высокого уровня. Тиражи этих журналов на обложке не фигурируют, но, насколько я знаю, они не идут ни в какое сравнение с тиражом «Науки и жизни». Стоит здесь сообщить также, что тираж «Успехов физических наук» (сокращенно УФН), единственного в СССР обзорного физического журнала широкого профиля, издающегося с 1918 г., составляет 3600 экземпляров. А журналы, публикующие только (или почти только) оригинальные научные работы по физике и близким дисциплинам, имеют еще меньшие тиражи. Например, тираж известного советского журнала «Радиофизика» — 1200 экз., хотя это издание, как и УФН, переводится в США на английский язык и довольно широко цитируется.

Эти сведения приведены, чтобы подчеркнуть большое различие, существующее между научно-популярными и научными журналами. В последних отдельная статья может, если говорить о всех деталях, заинтересовать лишь буквально считанное число специалистов. Несколько большее число читателей поинтересуется какой-либо статьей «в целом», прочтет аннотацию и примет ее к сведению. Поэтому-то оригинальные научные журналы у нас почти не имеют индивидуальных подписчиков, а тираж таких изданий определяется числом научных библиотек соответствующего профиля. Главное же, что для нас сейчас важно отметить, это тот факт, что оригинальные статьи, скажем, по теоретической физике, а также соответствующие, рассчитанные на специалистов обзоры так называемого монографического типа по уровню изложения, как правило, недоступны не только широкому кругу читателей, но даже физикам других специальностей. Иначе и быть не может, если учесть, как много накоплено физикой и математикой за долгие годы их развития, в силу чего совершенно невозможно в оригинальных работах и обзорах пояснить математические детали, а также известные из цитируемой здесь же литературы более ранние результаты. Специалист же, потративший обычно долгие годы на изучение вопроса, которому посвящена статья, во всех таких пояснениях и не нуждается или, во всяком случае, может их найти в другом месте. В такой ситуации понятно, что возникла и широко процветает, можно сказать, научно-популярная литература по физике, рассчитанная на самих физиков. В УФН этой цели отвечают статьи, публикуемые под рубрикой «Физика наших дней» и в некоторых других разделах. Той же цели в значительной мере служит ежемесячный журнал американского физического общества «Physics Today» («Физика сегодня»). Чтобы не расплываться мыслью по древу, приведу конкретный пример, относящийся в сегодняшнему дню.

Самым модным и, по мнению многих, действительно многообещающим направлением в физике микромира (физике высоких энергий, физике элементарных частиц — такие названия тоже применяются) в настоящее время стала теория суперструн. Какие-то предвестники этой теории появились еще лет двадцать назад, но на авансцену она вышла только в 1984 г., после появления работы англичанина М. Грина и американца Дж. Шварца. С тех пор вот уже несколько лет бурлит теоретическая физика или, точнее, та ее часть,

которая нацелена в глубь микромира. Суперструны, суперструны, суперструны — этот термин гремит, и, естественно, физики, работающие в других областях (их подавляющее большинство), тоже хотят знать, по крайней мере, о чем же идет речь. Этой цели и посвящена, например, появившаяся в «Physics Today» статья одного из авторов новой теории [7]. Основная идея теории суперструн состоит в том, что в качестве элементарных составных частей вещества (по несколько устарелой терминологии — элементарных частиц) рассматриваются не точечные образования (частицы), а струны (одномерные кривые). Эти струны в различных вариантах или образуют колечки, или разомкнуты. Характерная длина струны составляет 10^{-33} см (это так называемая планковская длина $l_P = \sqrt{\hbar G/c^3}$, где $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-27}$ эрг · с — квантовая постоянная, $c = 3 \cdot 10^{10}$ см · с⁻¹ и $G = 6,67 \cdot 10^{-8}$ г⁻¹ · см³ · с⁻² — значение гравитационной постоянной). Поскольку характерный размер атомного ядра равен 10^{-13} см, ясно, что даже в ядерных масштабах, не говоря уже об атомных, струны можно считать точечными. Термин «суперструны», а не просто «струны» отражает тот факт, что струны считаются суперсимметричными и рассматриваются в десяти измерениях, шесть из которых «компактифицируются», так что в конце концов мы приходим к нашему четырехмерному пространству-времени. А что такое суперсимметрия, «компактификация», почему суперструны столь многообещающи и т.д. и т.п.? На все эти вопросы можно было бы попытаться в какой-то мере ответить в специальной статье, но заведомо не в данной. Однако — и это сейчас главное — даже уровень статьи Шварца [7] в физическом журнале — это еще далеко не передний край теории суперструн. Такую статью можно поместить и в УФН, но для «Природы», и подавно для «Науки и жизни», следовало бы еще многое упростить и пояснить. Другими словами, нужно ясно отдавать себе отчет в ограниченных возможностях научно-популярной литературы. Передний край теоретической физики (и, думаю, математики) — это острейшее и тончайшее лезвие. И, естественно, даже физики-теоретики, но работающие в других областях, не могут судить о технике вычислений, о многих деталях и перспективах, скажем, теории суперструн. Те же из них, кто все-таки хочет знать, что же делается на переднем крае, и читает статьи типа упомянутой, получают общее представление о состоянии проблемы, об идеях, о планах на будущее. Все это позволяет следить за дальнейшим развитием. Если теория суперструн окажется плодотворной (это ведь еще не ясно), приведет к конкретным результатам и оправдавшимся в эксперименте предсказаниям, то постепенно ею будет овладевать все большее число физиков и многое станет понятнее. Отразится такое понимание и на популярной литературе для физиков, и, наконец, на популярной литературе для нефизиков. Конечно, это не означает, что уже сейчас нельзя кое-что рассказать о суперструнах и на страницах «Науки и жизни». Напротив, какую-то информацию целесообразно сообщить, и это, надеюсь, будет сделано. Но читатели не могут рассчитывать, что на основании этой информации удастся судить о том, хороша ли и перспективна ли теория суперструн. Я вот физик-теоретик с пятидесятилетним стажем работы и к тому же занимавшийся в прошлом кое-чем родственными суперструнам, но вполне четко отдаю себе отчет в том, что могу быть лишь заинтересованным наблюдателем, а никак не судьей теории суперструн.

В общем я хочу подчеркнуть довольно очевидную мысль: чтобы как-то судить о новых физических теориях, даже физики должны затратить немало труда и ознакомиться с ними достаточно досконально. Что же говорить о критиках, знакомых с объектами своей критики лишь по научно-популярной литературе? К сожалению, в многочисленных письмах (хотя и не во всех), полученных мною в связи со статьей [4], элементарное требование — знание того, о чем пишешь, — не соблюдено. Стоит ли отвечать человеку, который сомневается даже в теории Ньютона, не говоря уже о специальной теории относительности, и в то же время берется судить, правильна ли общая теория относительности (ОТО)? Или что можно ответить кандидату исторических наук, обвиняющему меня в «попирании основ научной этики» на том основании, что я, «не имея окончательного мнения о РТГ», в то же время не вижу оснований считать, «что ОТО в настоящее время чем-то поколебле-

на»? Некоторым читателям я ответил, но в целом пришел к заключению, что обсуждение ОТО ни на страницах «Науки и жизни», ни в частной переписке невозможно и неуместно. Появление моей статьи [4] не противоречит этому мнению, ибо, как уже было отмечено, я написал эту статью лишь в качестве реакции на статью [1]. Я хотел сообщить читателям, что по крайний мере далеко не все разделяют мнение А.А. Логанова и в особенности не согласны с его критикой ОТО. Это отнюдь не было излишне, а, напротив, было даже необходимо, чтобы читатели знали ситуацию.

МОЖНО ЛИ В ПОПУЛЯРНЫХ СТАТЬЯХ ИСПОЛЬЗОВАТЬ АЛГЕБРУ?

Научно-популярные статьи я пишу уже около пятидесяти лет. И часто слышал упреки: «недостаточно популярно», «читатели не поймут», «нельзя в популярных статьях использовать даже простейшие алгебраические выражения» и т.д. и т.п. Несомненно, такие упреки имели основания. Я далек от мысли утверждать, что всегда пишу достаточно понятно, да и не автору об этом судить. Но могу сказать, что пишу в расчете на школьников старших классов и людей с высшим, хотя и не физическим образованием. Именно такой круг читателей интересуется популярными статьями на физические и астрономические темы. У младших же школьников, за какими-то исключениями, другие интересы. Поэтому, как я убежден, совершенно необоснованно и даже вредно требование не использовать формулы, находящиеся в пределах программы неполной средней школы. Выдвигая такие требования, часто ссылаются, скажем, на опыт популярного журнала «Сайентифик америкен» («Scientific American»), перевод которого издается у нас под названием «В мире науки». Безусловно, это прекрасный журнал, но проводимая в нем борьба с алгеброй представляется мне недостатком, а не достоинством. Я уверен в том, что прочесть (и как следует понять) печатающиеся в журнале «В мире науки» статьи, скажем, по генетике значительно труднее, чем использовать простые алгебраические формулы или геометрические построения. Думаю, что обсуждаемый вопрос носит принципиальный характер, в силу чего он здесь и затронут. Так уж развивалось общество, что понятие «образованный человек» оказалось односторонним. Того, кто не знает авторов «Евгения Онегина» или «Войны и мира», назовут не только необразованным, но и спросят: как же он окончил школу? А вот, например, на вопрос, почему сменяют друг друга времена года, многие, даже с высшим образованием, отвечают, что это связано с удалением или приближением Земли к Солнцу. И их не называют «необразованными». Некоторые гуманитарии даже кокетничают своим полным незнанием математики и естественных наук. Такая ситуация — отражение времен до научно-технической революции. Сегодня образованным может считаться лишь тот, кто по-настоящему усвоил все, что входит в программу хотя бы неполной (восьмилетней) средней школы¹. Именно на таких людей и должна рассчитывать, например, «Наука и жизнь», по крайней мере в статьях и заметках, касающихся естественных наук. А значит, нечего бояться и элементарной, школьной математики. Противоположный подход только мешает распространению образования в ясном из сказанного выше смысле. Таково мое мнение, но что думают читатели? Мы ведь пишем для них, и важно выяснить в первую очередь их мнение.

¹См.: Гинзбург В.Л. // «Известия» N 45 от 21 февраля 1991 г.

КАК ПРОВЕРИТЬ ТЕОРИЮ И КАКОВА ЗДЕСЬ РОЛЬ «НАУЧНОГО ОБЩЕСТВЕННОГО МНЕНИЯ»?

Одна из основных проблем в науке — выработка и указание путей установления истины или, более конкретно, методов проверки тех или иных теорий. Разумеется, основной метод — сравнение с опытом, с наблюдениями. Например, общая теория относительности (ОТО) создавалась Альбертом Эйнштейном с 1907 по 1915 г., а в 1916 г. он опубликовал итоговую, обзорную статью об ОТО. Однако вовсе не все сразу согласились с Эйнштейном. Например, в 1917 г. из печати вышел подробный обзор, посвященный радикально отличной от ОТО скалярной теории гравитации. Но, согласно этой теории, световые лучи, проходящие вблизи Солнца, не должны отклоняться. Поэтому после обнаружения в 1919 г. такого отклонения [4] скалярная теория сразу же отпала.

Вместе с тем нельзя все сводить к экспериментальной проверке. При достигнутой точности измерений и ограниченном числе экспериментов все они могут оказаться совместимыми со многими теориями. Часто, правда, и точность столь высока, и экспериментов так много, что для определенного круга вопросов и явлений практически все сомнения в справедливости теории отпадают. Именно такова ситуация в случае ньютоновской механики, специальной теории относительности (СТО) и нерелятивистской квантовой механики. Как я пытался пояснить, а частности, в статье [4], в ОТО положение несколько иное, поэтому и существуют так называемые альтернативные теории гравитации. Все они строятся таким образом, чтобы в пределах достигнутой точности измерений не противоречить опыту. Все они ставят или должны ставить перед собой задачу указать какие-то эксперименты и следствия, на основании которых можно, хотя бы в принципе, отличить предсказания этих теорий от предсказаний ОТО. Последнее обычно крайне трудно, в силу чего особенно существенная роль принадлежит также математическому исследованию и более широкому физическому анализу¹ ОТО и альтернативных теорий гравитации. Такие исследования и анализ, возникающие при этом разногласия и дискуссии приводят к продвижению вперед. Кто этим занимается, кто выступает в роли судей? Естественно, речь идет о специалистах — физиках и математиках, «ибо, не зная законов языка ирокезского, можешь ли ты делать такое суждение по сему предмету, которое не было бы неосновательно и глупо?» (Козьма Прутков). Но, как известно, пусть это и печально, судьи тоже ошибаются. Поэтому, с одной стороны, нельзя вердикт даже большого числа квалифицированных специалистов считать совершенно безапелляционным, утверждающим истину в последней инстанции. С другой стороны, недопустимо на основании встречающихся судебных ошибок вообще отрицать институт суда и аналогично не считаться с мнением специалистов, не признавать значения их коллективного суждения. Как же иначе преподавать, проводить экспертизу и рецензирование, присуждать премии?

Когда я писал статью «Общая теория относительности» [4], то не имел в виду акцентировать внимание на сказанном выше, считал все это само собой разумеющимся. Но в связи со статьей А.А. Логунова [5] приходится напомнить соответствующее место из [4]: «...мы считаем, что ОТО является последовательной теорией... Нужно, правда, пояснить, что имеется в виду при употреблении местоимения «мы». «Мы» — это, конечно, и я сам, но также и все те советские и иностранные физики, с которыми мне приходилось обсуждать ОТО, а в ряде случаев и ее критику А.А. Логуновым. Великий Галилей еще четыре столетия тому назад говорил: в вопросах науки мнение одного бывает дороже мнения тысячи. Иными словами, большинством голосов научные споры не решаются. Но, с другой стороны, совершенно очевидно, что мнение многих физиков, вообще говоря, значительно

¹Имеются в виду не конкретные эксперименты, а такие проблемы, как существование «черных дыр» и возникновение сингулярностей в решениях ОТО (к сожалению, здесь нет возможности остановиться на этих исключительно важных вопросах).

убедительнее, или, лучше сказать, надежнее и весомее, мнения одного физика. Поэтому переход от «я» к «мы» имеет здесь важное значение». Мне и сейчас представляется, что процитированное замечание, определяющее роль «научного общественного мнения», совершенно справедливо. Между тем А.А. Логунов [5] оценивает это замечание словами: «если бы это было так, то наука давно бы остановилась».

Таким образом, мы с А.А. Логуновым абсолютно по-разному понимаем процитированные выше слова из [4]. Так бывает, и нередко, т.е. оппоненты «не слышат» друг друга. В таких случаях решающим может быть мнение читателей — ведь мы к ним обращаемся. Пусть они и сделают свое заключение.

Восемьдесят лет назад ОТО была еще не завершена, дя и практически не проверена. Ситуация, по-видимому, напоминала ту, о которой сегодня можно говорить в отношении теории суперструн. Но вскоре, уже в 1915 г., ОТО получила известную законченность, были сделаны и вполне четкие предсказания, касающиеся поворота перигелиев планет и отклонения лучей, проходящих вблизи Солнца (см., например, [4]). С тех пор прошло более семидесяти лет. Вначале ОТО разрабатывали буквально единицы, но постепенно как теория, так и вопрос об ее экспериментальной проверке привлекали все большее внимание. Достаточно характерно, однако, что в довоенное время на физфаке МГУ курс ОТО не читался. Сейчас положение иное — ОТО широко используется в астрофизике, не говоря уже о космологии. Существует целый ряд посвященных ОТО монографий, она широко исследована и продолжает исследоваться. В таких условиях очень трудно допустить, что ОТО на самом деле не выдерживает критики и «не является удовлетворительной физической теорией», как это утверждает А.А. Логунов [1, 5]. Однако для критики в отличие от наказаний за некоторые преступления не существует понятие о сроке давности. Поэтому анализ критики ОТО А.А. Логуновым и обсуждение предлагаемой им РТГ — дело законное и конкретное. Но, как я уже подчеркивал, серьезно заниматься этим можно лишь в научных, а не в научно-популярных журналах. В последних можно лишь привести итоги научной дискуссии. Такая дискуссия в известных масштабах уже состоялась [2, 3]. Свое мнение по этому поводу (несогласие с А.А. Логуновым) я уже высказал (см. выше и [4, 6]). Статью [5] А.А. Логунов заканчивает справедливым замечанием: «ничто так не важно для быстрого и плодотворного развития науки, как приток сильных духом, свободно мыслящих и способных молодых людей». Хочу лишь добавить, что для подлинного успеха в науке свобода мысли обязательно должна сочетаться с большой самокритичностью и уважением к работе предшественников, и особенно великих предшественников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логунов А.А. Новая теория гравитации // Наука и жизнь. — 1987. — N 2. — С. 38; N 3. — С. 60.
2. Логунов А.А., Лоскутов Ю.М., Мествиришвили М.А. Релятивистская теория гравитации и ее следствия // УФН. — 1988. — Т. 155. — С. 369; см. также УФН. — 1990. — Т. 160, N 8. — С. 135.
3. Зельдович Я.Б., Гришук Л.П. Общая теория относительности верна! // УФН. — 1988. — Т. 155. — С. 517; см. также УФН. — 1990. — Т. 160, N 8. — С. 147.
4. Гинзбург В.Л. Общая теория относительности (Последовательна ли она? Отвечает ли она физической реальности?) // Наука и жизнь. — 1987. — N 4. — С. 41.
5. Логунов А.А. Новая теория гравитации. Ответы на вопросы читателей // Наука и жизнь. — 1988. — N 5. — С. 66.
6. Гинзбург В.Л. Заметки по поводу... // Наука и жизнь. — 1988. — N 6. — С. 114.
7. Schwarz J.H. Superstrings // Physics Today. — 1987. — V. 40. — N 11. — P. 33.

К ТРЕХСОТЛЕТИЮ «МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАЧАЛ НАТУРАЛЬНОЙ ФИЛОСОФИИ» ИСААКА НЬЮТОНА

«Пусть смертные радуются,
что существовало такое укра-
шение рода человеческого».

(Из эпитафии на надгробном
памятнике Исааку Ньютону)

В 1987 г. исполняется 300 лет со времени опубликования «Математических начал натуральной философии» Исаака Ньютона¹. Лагранж назвал эту книгу «величайшим произведением человеческого ума», и, безусловно, по любой разумной оценке речь идет об одном из крупнейших достижений в области физики и естествознания в целом за всю историю их развития. В «Началах» была впервые в систематической и достаточно полной форме изложена классическая механика, часто именуемая также ньютоновской механикой. Именно с механики — ньютоновской механики — начинают изучать физику в школе, ею же открывают курс общей физики и курс теоретической физики в высших учебных заведениях (см., например, [2, 3]). Помимо механики и ее применений в астрономии Ньютон получил очень важные результаты в оптике и заложил основы математического анализа (имеется в виду дифференциальное и интегральное исчисления). В таких условиях, естественно, имя Ньютона известно практически всем. Но столь же, пожалуй, естественно, что сегодня — через 300 лет после появления «Начал» и через 260 лет после смерти Ньютона² — о его работах в их оригинальной форме у нас знают сравнительно немногие³. Поэтому представляется уместным воспользоваться таким поводом, как юбилей «Начал», для того чтобы хотя бы кратко остановиться на исследованиях Ньютона, особенно в области механики. Автор написал на эту тему также статью [11], которая в известном отношении дополняет настоящую статью, но частично перекрывается с ней (по последней причине статья [11] здесь не помещена).

¹*Newton I. Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 1687. Это латинское название можно перевести, например, и так: «Математические основы естествознания», ибо в то время термин «натуральная философия», или «философия природы», был равнозначен термину «естествознание». Принятое у нас заглавие «Математические начала натуральной философии» следует переводу А.Н. Крылова [1].

²Исаак Ньютон родился 4 января 1643 г. и скончался 31 марта 1727 г. по новому стилю (т.е. по григорианскому календарю). По старому стилю — по юлианскому календарю, который использовался в Англии до 1752 г., — Ньютон родился 25 декабря 1642 г. и скончался 20 марта 1727 г.

³Не говоря уже о том, что перевод «Начал» на русский язык [1] малодоступен, эту великую книгу трудно читать. Переписка Ньютона и ряд других материалов, характеризующих его деятельность, были опубликованы лишь сравнительно недавно [4]; то же можно сказать о подробной биографии [5]. На русском языке можно указать на биографии [6, 7], брошюры [8, 9] и сборник [10].

ДО НЬЮТОНА

История физики и астрономии прослеживается на протяжении двух тысячелетий до Ньютона. Наиболее яркие и известные имена на этом пути: Аристотель (384—322 до н.э.), Архимед (около 287—212 до н.э.), Гиппарх (II в. до н.э.), Птолемей (около 87—165), Коперник (1473—1543), Галилей (1564—1642), Кеплер (1571—1630), Декарт (1596—1650) и Гюйгенс (1629—1695) — старший современник Ньютона. Разумеется, этот список можно было бы пополнить целым рядом достойных имен (см., например, [12, 13]), но здесь это вряд ли уместно — наша цель ограничивается в основном напоминанием шкалы времени.

Для античной механики характерны такие утверждения: скорость тела пропорциональна приложенной к нему силе, а при падении на землю тело приобретает скорость, пропорциональную его весу. Как мы знаем, и то и другое может быть справедливо лишь при движении в достаточно вязкой среде или, точнее, когда произведением массы на ускорение можно пренебречь по сравнению с силой вязкого трения. Античная механика являлась, таким образом, обобщением некоторого класса опытов или повседневных наблюдений; например, лист с дерева падает медленнее камня или груши. Прошли века, прежде чем Галилей, имевший в этом вопросе предшественников [12], сделал заключение, что все тела падают с одинаковым ускорением, не зависящим от их веса, т.е. при падении с высоты достигают земли за одинаковое время и с одинаковой скоростью (конечно, это справедливо лишь в условиях, когда сопротивление воздуха незначительно). Галилей пришел и к закону инерции, согласно которому при отсутствии сил тело сохраняет свою скорость, или, точнее (в масштабах расстояний, достижимых на земной поверхности), движется равномерно и прямолинейно. Галилей сформулировал также принцип относительности, или, конкретно, утверждение о равноправности при рассмотрении движения тел некоторых систем отсчета, связанных, скажем, с берегом или с равномерно движущимся кораблем. Не будем приводить цитат, подробнее освещающих соответствующие утверждения и аргументацию Галилея, поскольку это уже неоднократно делалось (см. [12, 14] и указанную там литературу, а также [15]). Менее известно, по-видимому, что принцип относительности в механике почти за столетие до Галилея в такой же форме использовался Коперником в качестве довода в пользу движения Земли. Действительно, Коперник замечает: «И почему нам не отнести видимость суточного вращения к небу, а его действительность к Земле... Потому что, когда корабль идет по спокойной воде, все, что находится вне его, представляется морякам движущимся в соответствии с движением корабля; сами же они со всем с ними находящимся будто бы стоят на месте» (подробнее см. [14]). Не менее важен для развития был, разумеется, и переход к гелиоцентрической системе. Правда, у Коперника, а также у Галилея сохранилось догматическое предположение о равномерном движении планет и их спутников обязательно по окружностям (с этим предположением связана необходимость сохранения эпициклов). Однако лишь переход к гелиоцентрической системе позволил Кеплеру установить в 1609 г. первые два закона, а в 1619 г. третий закон планетных движений. Только на основе законов Кеплера Ньютону в «Началах» удалось в сколько-нибудь законченной и общей форме открыть закон всемирного тяготения. Такая выдающаяся роль, которую сыграли законы Кеплера, побуждает их напомнить:

1. Планеты движутся по эллипсам, причем Солнце находится в одном из фокусов эллипсов.

2. Радиус-вектор планеты (или, другими словами, прямая линия, соединяющая планету и Солнце) в равные времена описывает равные площади (закон площадей).

3. Квадраты времени обращений планет T относятся как кубы больших полуосей a эллиптических орбит, по которым они движутся вокруг Солнца. Другими словами, для всех планет Солнечной системы $a^3/T^2 = K$, где K — постоянная Кеплера (одинаковая

для всех планет Солнечной системы, но другая для иных аналогичных систем, например для системы спутников Юпитера)¹.

Кеплер пришел к своим законам, отказавшись от равномерного движения по окружностям и тем самым преодолев барьер огромной важности, просуществовавший почти два тысячелетия. Эйнштейн, характеризуя достижения Кеплера, употребляет такие термины, как «поистине гениальная идея» и «замечательный выход», пишет о «восхищении перед этим замечательным человеком» [17, с. 121, 324]. Здесь нет преувеличения, знакомство с трудами и жизнью Кеплера [16] не может не вызвать чувства самого глубокого уважения.

Кеплер задумывался и о причинах, приводящих к движению планет и Луны по орбитам, или, если угодно, о природе тяготения: «Гравитацию (тяготение) я определяю как силу, подобную магнетизму — взаимному притяжению. Сила притяжения тем больше, чем оба тела ближе одно к другому. Поэтому тела сильнее сопротивляются отдалению друг от друга, если они еще близки одно к другому». И далее: «Причины океанских приливов и отливов видим в том, что тела Солнца и Луны притягивают воды океана с помощью сил, подобных магнетизму» (см. [16, с. 105], где приведены и ссылки на оригинальные работы Кеплера). Правда, Кеплер считал, что сила притяжения (сила всемирного тяготения) хотя и пропорциональна массе (скажем это современным языком), но обратно пропорциональна расстоянию между телами. К правильной зависимости силы тяготения от расстояния — закону $F \sim 1/r^2$ — также пришли до Ньютона. Он сам в этой связи упоминает имена Буллиальда (латинизированная фамилия француза Буйо (1605—1694); закон $1/r^2$ фигурировал в его книге, опубликованной в 1645 г.), Борелли и Гука. До Ньютона была известна и формула $w = v^2/r$ для центростремительного ускорения (ее еще в 1659 г. получил Гюйгенс, но опубликован этот результат был только в его книге «Часы с маятником» в 1673 г.). Сочетание закона для силы $F \sim 1/r^2$ и формулы для центростремительного ускорения позволяет найти третий закон Кеплера для круговых орбит, когда

$$v = \frac{2\pi}{T}r \text{ и } w = \frac{4\pi^2}{T^2}r \sim F \sim \frac{1}{r^2}$$

(в этом случае, очевидно, $r = a$). Это и было сделано Ньютоном в 1665—1666 гг. — в знаменательные годы его жизни, когда во время эпидемии чумы 22-летний Ньютон жил на ферме в родном Вульстропе. «Я в то время был в расцвете моих изобретательских сил и думал о математике и философии больше, чем когда-либо после», — писал Ньютон много лет спустя. В этот период, согласно широко распространенному рассказу, Ньютон пришел к закону всемирного тяготения, на что его навело падение яблока с дерева. Иногда к такому утверждению относятся как к легенде, но С.И. Вавилов склонен считать рассказ достоверным и приводит его [6] со слов Стекелея, описавшего такую сцену, относящуюся, правда, к старости Ньютона²: «После обеда (в Лондоне, у Ньютона) погода была жаркая: мы перешли в сад и пили чай под тенью нескольких яблонь; были только мы вдвоем. Между прочим сэр Исаак сказал мне, что точно в такой же обстановке он находился тогда, когда впервые ему пришла в голову мысль о тяготении. Она была вызвана падением яблока, когда он сидел, погрузившись в думы. Почему яблоко всегда падает отвесно, подумал он про себя, почему не в сторону, а всегда к центру Земли. Должна существовать притягательная сила в материи, сосредоточенная в центре Земли. Если материя так тянет другую материю, то должна существовать пропорциональность ее количеству.

¹У Кеплера вместо большой полуоси фигурировало среднее расстояние между Солнцем и планетой, что одно и то же. Второй закон Кеплера был им установлен в конце 1601 г. или начале 1602 г., а первый закон — в 1605 г. Указанная выше дата (1609 г.) относится ко времени опубликования Кеплером «Новой астрономии», сдержавшей два его первых закона [16]. Разумеется, в настоящей статье мы не всегда сможем делать подобные уточнения, не существенные для понимания сути дела.

²Беседа со Стекелем (на современном языке — с Вильямом Стекли, врачом, членом Королевского общества) состоялась 15 апреля 1726 г. [7], когда Ньютону было уже 83 года.

Поэтому яблоко притягивает Землю так же, как Земля яблоко. Должна, следовательно, существовать сила, подобная той, которую мы называем тяжестью, простирающаяся по всей вселенной». Аналогичен известный рассказ Вольтера со слов племянницы Ньютона.

За последнее десятилетие ньютоноведение сделало большой шаг вперед [4, 5, 106], но автор настоящей статьи не имел возможности ознакомиться со всеми соответствующими оригинальными материалами. Приходится поэтому ограничиться замечанием, что результаты, полученные Ньютоном в 1665—1666 гг., тогда опубликованы не были, долгое время о них практически никто не знал (несколько подробнее см. в работе [11]). Между тем проблема тяготения и теоретического обоснования законов Кеплера становилась все более актуальной, довольно широко обсуждалась в научных кругах (конкретно, речь идет о Королевском обществе, основанном в Лондоне в 1662 г. и с 1665 г. издававшим первый в мире научный журнал на английском языке «Philosophical Transactions of the Royal Society»; Ньютон был избран членом общества в 1672 г.). Третий закон Кеплера для круговых орбит был получен на основе выражений $F \sim 1/r^2$ и $w = v^2/r$ (см. выше), вероятно, независимо несколькими авторами. Камнем преткновения явился вывод первого закона Кеплера, т.е. доказательство того, что под действием силы, обратно пропорциональной квадрату расстояния, возникает (или, точнее, может иметь место) движение по эллипсу. В 1684 г. Галлей (1656—1742) (его имя хорошо всем нам известно, ибо именно в его честь названа комета Галлея) из разговора с Ньютоном узнал, что последний уже давно нашел искомое доказательство (вывод) первого закона Кеплера. Галлей счел (и с полным основанием) результаты Ньютона исключительно важными для развития небесной механики и побудил (как утверждают, даже уговорил) Ньютона опубликовать наконец некоторые работы по механике. Так родились «Начала», состоящие из трех книг. Они были получены в Королевском обществе соответственно весной и осенью 1686 г. и в апреле 1687 г. За отсутствием у общества денег Галлей издал (в 1687 г.) «Начала» за свой счет в количестве 300—400 экземпляров. Издание разошлось довольно быстро (в 1691 г. оно уже исчезло с книжного рынка), но, по оценке И.Ю. Кобзарева [8], первое издание «Начал» изучали в тот период человек сорок во всей Европе, а в Англии и того меньше — всего человек десять. При жизни Ньютона «Начала» вышли еще два раза — в 1713 и 1726 гг.

«НАЧАЛА»

«Если я видел дальше других, то потому, что стоял на плечах гигантов», — этими словами Ньютона можно в какой-то мере подытожить сказанное в предыдущем разделе (в связи с этим замечанием Ньютона см. [11]). В области механики и теории тяготения Ньютон, опираясь на сделанное Коперником, Галилеем и Кеплером (и, разумеется, другими, чьи имена менее известны), развил и в определенном смысле завершил их труды. Эйнштейн даже назвал Ньютона «великим систематизатором» [17, с. 90]. Действительно, «Математические начала натуральной философии» — фундаментальный, можно сказать, монументальный труд (в русском переводе этой книги [1] почти 700 страниц), охватывающий многое сделанное до Ньютона, его современниками и им самим. Но главное все же не в систематизации, хотя и это имело немалое значение. Главное, во-первых, — в общем подходе — в использовании упоминаемого ниже «метода принципов». Главное, во-вторых, — в существенном развитии и обобщении механики, включая формулировку закона «всемирного тяготения» в универсальном виде. Главное, в-третьих, — решение целого ряда труднейших по тем временам задач, например касающихся движения Луны. О реальном решении таких задач до Ньютона не могло быть и речи. Несомненно, правильнее считать главным что-то одно, и упоминание трех главных элементов «Начал» звучит не лучшим образом (чем-то это напоминает использование термина «первый заместитель» в приме-

нении не к одному, а сразу к нескольким лицам). Но дело не в терминологии (на ней не будем настаивать), а в многогранности и величии «Начал».

Мы не можем продвинуться дальше без того, чтобы не остановиться на содержании «Начал» (как было сказано, на русском языке «Начала» трудно доступны). Если не касаться предисловия автора «Начал», а во втором издании (1713 г.) — и большого «предисловия издателя» (Р. Котса), «Начала» открываются «Определениями» и «Аксиомами и законами движения». Затем следует книга I «О движении тел», книга II «О движении тел» (в отличие от книги I здесь учитывается сопротивление, т.е. трение) и книга III «О системе мира». Приведем теперь ряд отрывков (цитируем по [1]).

«Определения»

Определение I

Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее.

Воздуха двойной плотности в двойном объеме вчетверо больше, в тройном — вшестеро. То же относится к снегу или порошкам, когда они уплотняются от сжатия или таяния. Это же относится и ко всякого рода телам, которые в силу каких бы то ни было причин уплотняются. Однако при этом я не принимаю в расчет той среды (если таковая существует), которая свободно проникает в промежутки между частицами. Это же количество я подразумеваю в дальнейшем под названием тело или масса. Определяется масса по весу тела, ибо она пропорциональна весу, что мною найдено опытами над маятниками, произведенными точнейшим образом, как о том сказано ниже.

Определение II

Количество движения есть мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе.

Количество движения целого есть сумма количеств движения отдельных частей его, значит, для массы, вдвое большей, при равных скоростях оно двойное, при двойной же скорости — четверное.

.....

Определение IV

Приложенная сила есть действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.

Сила проявляется единственно только в действии и по прекращении действия в теле не остается. Тело продолжает затем удерживать свое состояние вследствие одной только инерции. Происхождение приложенной силы может быть различное: от удара, от давления, от центростремительной силы.

.....

Поучение

В изложенном выше имелось в виду объяснить, в каком смысле употребляются в дальнейшем менее известные названия. Время, пространство, место и движение составляют понятия общеизвестные. Однако необходимо заметить, что эти понятия обыкновенно относятся к тому, что постигается нашими чувствами. Отсюда происходят некоторые неправильные суждения, для устранения которых необходимо вышеприведенные понятия разделить на абсолютные и относительные, истинные и кажущиеся, математические и обыденные.

I. *Абсолютное, истинное математическое* время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно и иначе называется длительностью.

Относительное, кажущееся или обыденное время есть или точная, или изменчивая, постигаемая чувствами, внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как то: час, день, месяц, год.

II. *Абсолютное пространство* по самой своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему остается всегда одинаковым и неподвижным.

Относительное есть его мера или какая-либо ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел и которая в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное, например протяжение пространств подземного воздуха или надземного, определяемых по их положению относительно Земли.

.....

IV. *Абсолютное движение* есть перемещение тела из одного абсолютного его места в другое, *относительное* — из относительного в относительное же. Так, на корабле, идущем под парусами, относительное место тела есть та часть корабля, в которой тело находится, например та часть трюма, которая заполнена телом и которая, следовательно, движется вместе с кораблем. Относительный покой есть пребывание тела в той же самой области корабля или в той же самой части его трюма. Истинный покой есть пребывание тела в той же самой части того неподвижного пространства, в котором движется корабль со всем в нем находящимся. Таким образом, если бы Земля в самом деле покоилась, то тело, которое по отношению к кораблю находится в покое, двигалось бы в действительности с тою же абсолютной скоростью, с которой корабль идет относительно Земли. Если же и сама Земля движется, то истинное абсолютное движение тела найдется по истинному движению Земли в неподвижном пространстве и по относительным движениям корабля по отношению к Земле и тела по кораблю.

.....»

Наконец, приведем

«Аксиомы или законы движения»

Закон I

Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние.

.....

Закон II

Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.

Если какая-нибудь сила производит некоторое количество движения, то двойная сила произведет двойное, тройная — тройное, будут ли они приложены разом все вместе или же последовательно и постепенно. Это количество движения, которое всегда происходит по тому же направлению, что и производящая

его сила, если тело уже находилось в движении, при совпадении направлений прилагается к количеству движения тела, бывшему ранее, при противоположности — вычитается, при наклонности — прилагается наклонно и соединяется с бывшим ранее сообразно величине и направлению каждого из них.

Закон III

Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе — взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны.

.....»

Как видно уже из сказанного и, конечно, с еще большей ясностью из всего текста «Начал», они четко построены в духе классического образца — «Начал геометрии» Евклида. Такой стиль вообще характерен для Ньютона, причем сформировался он задолго до «Начал». Например, так же построены «Лекции по оптике», которые Ньютон читал в 1669—1671 гг., хотя они и были впервые опубликованы лишь после смерти Ньютона [18]. Конечно, подражание форме «Начал» Евклида — это не столько стиль Ньютона, сколько стиль эпохи.

Набранные выше курсивом (разумеется, в согласии с [1]) части законов I — III (в случае законов I и III пояснения опущены) это и есть те три знаменитых «закона Ньютона», которые часто цитируются и до сих пор (см., например, [2])¹. Последнее, по крайней мере в общем курсе физики, представляется оправданным. Впрочем, законы Ньютона в их оригинальной форме приведены и в курсе теоретической физики Зоммерфельда [19]. Разумеется, использовать эти законы без пояснений и комментариев сейчас невозможно, и об этом речь пойдет в следующем разделе настоящей статьи.

Книга I «Начал» посвящена в основном решению задач о движении тел («точечных» масс) под действием центральных сил (и при отсутствии сопротивления). Главное здесь — анализ движения под действием силы, обратно пропорциональной квадрату расстояния ($F \sim 1/r^2$). При этом доказываются законы Кеплера и, наоборот, делается вывод, что для движения, отвечающего этим законам, сила $F \sim 1/r^2$ (достаточно, впрочем, первого закона — движения по эллипсу, в фокусе которого находится источник силы). Именно этот вопрос, как упоминалось, перед Ньютоном поставил Галлей. Рассматривается движение не только по эллипсам, но и по параболам и гиперболам, т.е. по любым коническим сечениям. Обсуждается и задача трех и большего числа тел, заложены основы теории возмущений. Одно из достижений книги I — доказательство (нелегкое и полученное впервые) такой теоремы: для закона притяжения $F \sim 1/r^2$ действие сферы (при постоянной плотности массы или при сферически-симметричном распределении плотности) такое же, как если бы вся масса была расположена в центре сферы («частица, находящаяся вне сферической поверхности, притягивается к центру сферы с силой, обратно пропорциональной квадрату ее расстояния до центра сферы» [1, с. 245]). Разумеется, при исследовании теоремы Гаусса (1777—1855) соответствующее доказательство достаточно очевидно (см. [11]). Все-го, конечно, здесь не перескажешь (несколько подробнее это сделано в [8]). Ограничимся еще упоминанием, что в книге III содержится теория движения Луны с учетом действия не только Земли, но и Солнца (эта теория не может считаться полной, но поражает своей мощью, учитывая использовавшиеся методы). Развил здесь Ньютон и теорию приливов и рассмотрел движения комет. Только благодаря Ньютону удалось выяснить впервые на примере кометы Галлея (наблюдавшейся, в частности, в 1682 г.), что кометы движутся по эллиптическим (в первом приближении) орбитам и поэтому «возвращаются» [20—22]

¹В большой физической аудитории физфака МГУ (да и, вероятно, во многих других аудиториях во всем мире) оригинальная (латинская) формулировка этих законов украшала одну из стен.

Помимо подобных конкретных, причем, как иногда говорят, «сильных» результатов очень важны понимание универсальности тяготения и формулировка закона всемирного тяготения. Свое третье «правило умозаключений в физике» (на этих правилах мы еще остановимся ниже) Ньютон сопровождает таким замечанием:

«Наконец, как опытами, так и астрономическими наблюдениями устанавливается, что все тела по соседству с Землей тяготеют к Земле, и притом пропорционально количеству материи каждого из них; так, Луна тяготеет к Земле пропорционально своей массе, и взаимно наши моря тяготеют к Луне. все планеты тяготеют друг к другу; подобно этому и тяготение комет к Солнцу. На основании этого правила надо утверждать, что все тела тяготеют друг к другу. Вообще тяготение подтверждается явлениями даже сильнее, нежели непроницаемость тел, для которой по отношению к телам небесным мы не имеем никакого опыта и никакого наблюдения» [1. с. 504].

В современных обозначениях закон всемирного тяготения Ньютона можно записать так: любые два тела (материальные точки) с массами m_i и m_j притягиваются друг к другу с силами F_{ij} , прямо пропорциональными произведению масс $m_i m_j$ и обратно пропорциональными квадрату расстояния между телами r_{ij} при этом сила притяжения направлена по линии, соединяющей тела (материальные точки). Таким образом, сила, действующая на массу m_i со стороны массы m_j , составляет

$$\mathbf{F}'_{ij}(r_{ij}) = \frac{Gm_i m_j}{r_{ij}^3} \mathbf{r}_{ij}, \quad F_{ji}(r_{ij}) = -F'_{ij}(r_{ij}), \quad (1)$$

где гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-8}$ дин \cdot см² \cdot г⁻² не зависит от масс взаимодействующих тел, т.е. является универсальной; вектор \mathbf{r}_{ij} соединяет точки i и j , причем направлен от точки i к точке j (очевидно, $r_{ij} = r_{ji} = |\mathbf{r}_{ij}|$).

Постоянная G опытами на Земле впервые была измерена в 1798 г. Кавендишем (1731—1810). Постоянная Кеплера K , упомянутая выше в связи с третьим законом Кеплера, равна

$$K \equiv \frac{a^3}{T^2} = \frac{GM_{\odot}}{4\pi^2},$$

где $M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{33}$ г — масса Солнца. Если не пренебрегать массой планет по сравнению с массой Солнца, то, разумеется, нужно учитывать и движение последнего относительно общего для всей планетной системы центра тяжести (центра масс). Третий закон Кеплера при этом изменяется и в применении к задаче двух тел принимает вид (см., например, [2, § 59])

$$\frac{a^3}{T^2(M_{\odot} + m)} = \frac{G}{4\pi^2},$$

где m — масса планеты. Масса всех планет Солнечной системы в 743 раза меньше массы Солнца, масса Земли $M_{\oplus} = M_3 = 5,98 \cdot 10^{27}$ г $= 3 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$, масса Юпитера $M_{\text{Ю}} = 318 M_3 = 10^{-3} M_{\odot}$. Поэтому в первом приближении Солнце можно считать неподвижным. Если бы массы планет были значительно больше и, скажем, всего на порядок меньше массы Солнца, понимание законов движения в Солнечной системе и вывод закона всемирного тяготения могли бы произойти значительно позже, чем в действительности. Теория движения Луны сложна, в частности, в связи с тем, что ее масса $M_{\text{Л}} = 7,35 \cdot 10^{25}$ г всего в 81,3 раза меньше массы Земли. Мы напоминаем эти хорошо известные обстоятельства лишь для того, чтобы подчеркнуть понимание их Ньютоном.

Даже беглая характеристика «Начал» и их роли не может, однако, быть сведена к перечислению конкретных результатов и теорем, установленных Ньютоном. Существенное место занимает его подход к физике, используемый им метод, часто называемый методом принципов. Остановимся на этом вопросе.

«НАЧАЛА» И МЕТОД ПРИНЦИПОВ. ПРИРОДА ТЯГОТЕНИЯ

В книге III «Начал» Ньютон формулирует свою, так сказать, методологию или метод принципов, раньше всего в форме «Правил умозаключений в физике» [1, с. 502].

«Правила умозаключений в физике»

Правило I

Не должно принимать в природе иных причин сверх тех, которые истинны и достаточны для объяснения явлений.

По этому поводу философы утверждают, что природа ничего не делает напрасно, а было бы напрасным совершать многим то, что может быть сделано меньшим. Природа проста и не роскошествует излишними причинами вещей.

Правило II

Поэтому, поскольку возможно, должно приписывать те причины того же рода проявлениям природы.

Так, например, дыханию людей и животных, падению камней в Европе и в Африке, свету кухонного очага и Солнца, отражению света на Земле и на планетах.

Правило III

Такие свойства тел, которые не могут быть ни усилиемы, ни ослабляемы и которые оказываются присущими всем телам, над которыми возможно производить испытания, должны быть почитаемы за свойства всех тел вообще».

Правило III сопровождается пояснением, часть которого, касающаяся всемирного тяготения, уже цитировалась выше. Далее следует

Правило IV

В опытной физике предложения, выведенные из совершающихся явлений с помощью наведения (индукции), несмотря на возможность противных им предположений, должны быть почитаемы за верные или в точности, или приближенно, пока не обнаружатся такие явления, которыми они еще более уточняются или же окажутся подверженными исключениям.

Так должно поступать, чтобы доводы наведения не уничтожались предположениями».

Какова направленность «правил умозаключений», какова их цель? Ответить на эти вопросы можно лишь в свете того мировоззрения и той методологии, которые доминировали до Ньютона, с которыми он боролся. Речь идет, в частности, о картезианских представлениях о природе и путях ее изучения. В основе лежали не наблюдения или опыты, а гипотезы о природе явлений, их причинах. Так, тяготение связывалось с вихрями в некой «тонкой материи» и целиком трактовалось в духе близкодействия. Но на таком пути продвинуться вперед и создать количественную теорию было совершенно невозможно, особенно в те времена. Упрощая и схематизируя, можно сказать, что программа Декарта, его сторонников и последователей сводилась к построению теории гравитационного поля (или, конкретно, общей теории относительности) до создания механики и теории всемирного тяготения Ньютона. Огромная заслуга Ньютона состояла, в частности, именно в

понимании реальных возможностей физики его времени и в этой связи в использовании упомянутых правил и, если говорить о тяготении, в постулировании закона всемирного тяготения с его дальностью действия.

«Общее поучение», которым заканчиваются «Начала», в значительной части посвящено борьбе с гипотезой вихрей, «которые подавляются многими трудностями». Здесь упоминаются, в частности, наблюдения над движением планет и комет: «Движения комет вполне правильны и следуют тем же законам, что и движения планет, и не могут быть объяснены вихрями. Кометы переносятся по весьма эксцентрическим орбитам во всех областях неба, чего быть не может, если только вихрей не уничтожить» [1, с. 658]. Полемика с противниками и критиками Ньютона посвящена также весьма обширное «Предисловие издателя ко второму изданию» (1713 г.), написанное Р. Котсом по предложению Ньютона. Если Ньютон, по крайней мере в «Началах», в общем не опускался до полемических выпадов, то Котс, защищая ньютонианство и критикуя противников, не стесняется в выражениях. Например, он пишет [1, с. 12]:

«Так как все тела, находящиеся на Земле или в небесных пространствах, относительно которых возможно поставить или опыты, или наблюдения, тяготеют взаимно, то можно утверждать, что тяготение есть общее свойство всех тел. Подобно тому как нельзя представить себе тело, которое бы не было протяженным, подвижным и непроницаемым, так нельзя себе представить и тело, которое бы не было тяготеющим, т.е. тяжелым.

Если кто станет утверждать, что тела, составляющие неподвижные звезды, не тяготеющие, ибо их тяготение не было наблюдаемо, то, рассуждая так же, следовало бы сказать, что эти тела и не протяженны и не обладают ни подвижностью, ни непроницаемостью, ибо и эти свойства для неподвижных звезд никем наблюдаемы не были. Что же из этого следует? Или что в числе общих свойств тел находится и тяготение, или же что протяженность, подвижность и непроницаемость также не находятся в их числе, и, следовательно, или что природа вещей правильно объясняется тяготением тел, или же что она неправильно объясняется и протяженностью, и подвижностью, и непроницаемостью.

Я слышу, как некоторые осуждают это заключение и неведомо что бормочут о скрытых свойствах. Они постоянно твердят, что тяготение есть скрытое, сокровенное свойство, скрытым же свойствам не место в философии. На это легко ответить: сокровенны не те причины, коих существование обнаруживается наблюдениями с полнейшей ясностью, а лишь те, самое существование которых неизвестно и ничем не подтверждается.

Следовательно, тяготение не есть скрытая причина движения небесных тел, ибо явления показывают, что эта причина существует на самом деле. Правильнее признать, что к скрытым причинам прибегают те, кто законы этих движений приписывают неведомо каким вихрям некоторой чисто воображаемой материи, совершенно непостижимой чувствами.

Но, может быть, тяготение следует признать скрытой причиной и исключить из философии потому, что причина самого тяготения неизвестна и никем не найдена. Кто рассуждает таким образом, должен озаботиться, чтобы не впасть в такое противоречие, которое рушит основания всей философии. Причины идут неразрывной цепью от сложнейших к простейшим, и когда достигнута самая простая причина, то далее идти некуда. Поэтому простейшей причине нельзя дать механического объяснения, ибо если бы таковое существовало, то эта причина не была бы простейшею. Поэтому если простейшие причины называть сокровенными и исключать, то придется исключать и непосредственно от них зависящие, затем и происходящие от этих последних, пока философия не окажется свободной и очищенной от всяких причин вообще.

Есть и такое учение, в котором утверждают, что тяготение сверхъестественно, и называют его непрерывным чудом, и поэтому считают, что его надо отбросить, ибо в физике не место сверхъестественному. Едва ли стоит затрачивать труд, чтобы опровергнуть такую нелепость, которая низвергает всякую философию вообще. По такому учению или

придется отрицать, что тяготение присуще телам, чего, однако, утверждать нельзя, или же придется называть это свойство тел сверхъестественным, ибо его нельзя вывести ни из других их свойств, ни из механических причин.

Но непременно должны существовать некоторые первоначальные свойства тел и, следовательно, как таковые, не вытекающие из других. Значит, и все такие свойства пришлось бы считать сверхъестественными и отбросить; спрашивается, какая же после этого останется философия.

Некоторым вся эта небесная физика еще менее нравится, ибо она противоречит *декартовым* догматам и едва ли может быть с ними согласована. Пусть они остаются при своем мнении, но пусть они будут справедливы и предоставят другим такую же свободу, какую они желают, чтобы была предоставлена им. Пусть же нам будет предоставлено право придерживаться *ньютоновской* философии, которую мы считаем более правильной, и признавать истинными причины, подтверждаемые явлениями, а не такие, которые выдумываются и ничем не подтверждаются».

Несколько далее Котс еще более резок:

«Мы не допускаем возможности объяснить совершающиеся явления вихрями, потому что это нашим автором доказано с совершеннейшею ясностью и полнотою, и надо обладать большой склонностью к бредням, чтобы напрасно затрачивать труд на подновление нелепейшей выдумки и на украшение ее новыми пояснениями».

Только путь, на который встал Ньютон, его далекодействующая теория всемирного тяготения привели к успеху, к развитию механики и астрономии. Характерно в этом отношении замечание, сделанное Эйнштейном в «Автобиографических заметках», написанных на 68-м году жизни и представлявших собой «что-то вроде собственного некролога». Обсуждая механику Ньютона и ее слабые стороны, Эйнштейн восклицает:

«Прости меня, Ньютон; ты нашел единственный путь, возможный в твоё время для человека величайшей научной творческой способности и силы мысли. Понятия, созданные тобой, и сейчас еще остаются ведущими в нашем физическом мышлении, хотя мы теперь и знаем, что если мы стремимся к более глубокому пониманию взаимосвязей, то мы должны будем заменить эти понятия другими, стоящими дальше от сферы непосредственного опыта» [17, с. 270].

Ньютон в отличие от некоторых его последователей вовсе не считал при этом, что сформулированный им закон всемирного тяготения исчерпывает проблему и выяснение природы тяготения не нужно. Напротив, он признавал, что доискиваться до причин нужно, но при наличии достаточно прочной базы, в первую очередь наблюдений. Об этом свидетельствует, в частности, окончание последнего «общего поучения», которым заканчиваются «Начала» [1, с. 661]:

«До сих пор я изъяснял небесные явления и приливы наших морей на основании силы тяготения, но не указывал причины самого тяготения. Эта сила происходит от некоторой причины, которая проникает до центра Солнца и планет без уменьшения своей способности и которая действует не пропорционально величине *поверхности* частиц, на которые она действует (как это обыкновенно имеет место для механических причин), а пропорционально количеству *твердого* вещества, причем ее действие распространяется повсюду на огромные расстояния, убывая пропорционально квадратам расстояний. Тяготение к Солнцу составляется из тяготения к отдельным частицам его и при удалении от Солнца убывает в точности пропорционально квадратам расстояний даже до орбиты Сатурна, что следует из покоя афелиев планет, и даже до крайних афелиев комет, если только эти афелии находятся в покое. Причину же этих свойств тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю. Все же, что не выводится из явлений, должно называться *гипотезою*, гипотезам же метафизическим, физическим, механическим, скрытым свойствам не место в экспериментальной философии.

В такой философии предложения выводятся из явлений и обобщаются с помощью наведения (индукции). Так были изучены непроницаемость, подвижность и напор тела, законы движения и тяготение. Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным нами законам и вполне достаточно для объяснения всех движений небесных тел и моря.

Теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире, проникающем во все сплошные тела и в них содержащемся, коего силою и действиями частицы тел при весьма малых расстояниях взаимно притягиваются, а при соприкосновении сцепляются, наэлектризованные тела действуют на большие расстояния, как отталкивая, так и притягивая близкие малые тела, свет испускается, отражается, преломляется, уклоняется и нагревает тела, возбуждается всякое чувство, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниями этого эфира от внешних органов чувств мозгу и от мозга мускулам. Но это не может быть изложено вкратце, к тому же нет и достаточного запаса опытов, коими законы действия этого эфира были бы точно определены и показаны».

Еще ярче, возможно, Ньютон высказался против дальнего действия в письме к Р. Бентли, написанном в 1693 г.:

«Предполагать, что тяготение является существенным, неразрывным и врожденным свойством материи, так что тело может действовать на другое на любом расстоянии в пустом пространстве, без посредства чего-либо передавая действие в силу, — это, по-моему, такой абсурд, который немислим ни для кого, умеющего достаточно разбираться в философских предметах. Тяготение должно вызываться агентом, постоянно действующим по определенным законам» (цитируется согласно [6, с. 147]; о переписке Ньютона с Бентли см., в частности [23]).

Приведенные выше слова Ньютона «гипотез же я не измышляю» особенно часто цитировались (при этом стало нормой приводить их и по-латыни: «*hypotheses non fingo*»), но, как ясно из всего изложенного, это утверждение нужно понимать не как отрицание роли и необходимости гипотез, а в духе противопоставления методов Ньютона необоснованным спекуляциям. Более того, если говорить о гипотезах в тех смыслах, которые обычно вкладываются в термин «гипотеза» в современных научных исследованиях, то Ньютон «был одним из величайших гигантов среди не столь уж многочисленного отряда изобретателей гипотез. Но он действительно не измышлял гипотез (т.е. безосновательных спекуляций и непроверяемых мнений)» [106, с. 127].

КРИТИКА МЕХАНИКИ НЬЮТОНА И ЕЕ ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ

Ньютон создал, несомненно, стройное в целом здание классической механики. Однако в «Началах» имеются слабые места, не говоря уже о том, что в механике предстояло сделать еще очень многое.

Остановимся сначала на критических замечаниях. Волею судеб неудовлетворительным (и не без оснований) было признано уже определение I, открывающее «Начала», а именно определение массы (см. выше). На этот счет существует целая литература [24, 25]. Зоммерфельд, например, называет это определение «бессодержательным, так как плотность в свою очередь может быть определена только как количество материи в единице объема» [19, с. 8]. Формально такая критика обоснованна, фактически же приведенное выше пояснение Ньютона к определению I многое разъясняет; особенно важно, что масса тела пропорциональна его весу. В общем, насколько нам известно, ни к каким ошибкам или даже особым неясностям принятое Ньютоном определение массы не привело. Дей-

ствительно, согласно определению II, импульс тела (его «количество движения») равен $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$. Далее, второй и третий законы Ньютона приводят к заключению, что при взаимодействии двух тел, изолированных от их окружения, суммарный импульс $m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2$ сохраняется. Поэтому отношение масс $m_1/m_2 = -\Delta v_2/\Delta v_1$ можно измерить, определяя изменения скоростей тел в результате их взаимодействия, скажем, при ударе. Именно такое определение величины массы в сочетании с выбором какой-то массы («эталонной гири») за единицу сейчас широко распространено¹. Близкое определение величины массы, особенно детально обсуждавшееся Э. Махом (1838—1916), оперирует не с изменениями скоростей Δv_1 и Δv_2 , а с ускорениями тех же масс \mathbf{a}_1 и \mathbf{a}_2 (подробнее см. [24]). Поскольку все здесь основано на законах Ньютона, не приходится удивляться, что принятое им и обоснованно критикуемое определение массы не привело к отрицательным последствиям.

Заметим, что мы говорили выше об определении или измерении «величины массы», а не об определении самого понятия «масса». Масса — это некоторая мера инертности тела; она фигурирует в выражении для импульса $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ и во втором законе Ньютона (очевидно, речь идет об инертной массе; вопроса о «тяжелой массе» мы сейчас не касаемся). Как измерять массу m , указано выше (подробнее см. [2, 24, 25]). Но неверно было бы сказать, как это нередко делается в литературе, что масса (или, точнее, отношение масс) есть не что иное, как отношение соответствующих ускорений или отношение изменения скоростей.

Неудачным представляется ньютоновское определение III, в котором Ньютон фактически именует произведение массы на ускорение $m\mathbf{a}$ «силой инерции» [1, с. 25]. Злополучное понятие о силах инерции вызвало многочисленные споры, отзвуки которых можно услышать и в наши дни (см., например, [26—28]). Здесь нет, конечно, возможности останавливаться на этом вопросе подробнее. Ограничимся замечанием, что, по нашему мнению, совпадающему с наиболее распространенным, понятие и термин «сила инерции» уместно и целесообразно использовать лишь в неинерциальных системах отсчета. Если ускорение такой системы относительно инерциальной системы отсчета есть \mathbf{a}_0 , то второй закон Ньютона в неинерциальной системе принимает такой же вид, как в инерциальной системе (см., в частности, ниже), но с добавлением в правую часть уравнения движения для массы m «силы инерции»

$$\mathbf{F}_И = -m(\mathbf{a}_{\text{пер}} + \mathbf{a}_{\text{кор}}),$$

где $\mathbf{a}_{\text{пер}} = \ddot{\mathbf{v}}_0 + [\dot{\vec{\omega}}\mathbf{r}] + [\vec{\omega}[\vec{\omega}\mathbf{r}]]$ — ускорение переносного движения и $\mathbf{a}_{\text{кор}} = 2[\vec{\omega}\mathbf{v}_{\text{отн}}]$ — кориолисово ускорение (подробнее и в тех же обозначениях см. [2, § 64]; нам представляется нецелесообразным расшифровывать все эти хорошо известные выражения). Когда речь идет об основах механики и ее принципах, не только достаточно, но и наиболее рационально ограничиться рассмотрением инерциальных систем отсчета. Переход к другим системам отсчета практически бывает весьма важным, но представляет собой лишь кинематический пересчет.

Теперь мы подошли к вопросу уже принципиальному — выбору систем отсчета, в которых справедливы законы Ньютона в сформулированной им форме. Ньютон ясно понимал, конечно, что выбор системы отсчета и указание способа измерения (определения) времени совершенно необходимы для изучения движения масс. Например, если даже понимать первый закон буквально и считать, что некое тело движется в данной системе отсчета по инерции — равномерно и прямолинейно, то в других системах отсчета движение тела будет, вообще говоря, неравномерным и непрямолинейным (исключение составляют, как известно, системы отсчета, имеющие постоянную скорость $\mathbf{V} = \text{const}$ относительно

¹В частности, так величина массы определяется в курсе [2]. Автор часто ссылается на этот курс, ибо речь идет об учебном пособии, «допущенном» и фактически используемом в настоящее время на физических факультетах в наших вузах. Приятно констатировать, что этот учебник находится, по нашему мнению, на должной высоте (сейчас, правда, мы касаемся только основ механики).

исходной). Поэтому Ньютон и ввел понятия об абсолютном пространстве и абсолютном времени, при использовании которых справедливы законы движения. Ньютон понимал вместе с тем, что не может указать способа фиксировать абсолютное положение и абсолютное время — это вполне очевидно из текста «Начал» и, например, из такого отрывка, где речь идет об абсолютном пространстве [1, с. 32]:

«Однако совершенно невозможно ни видеть, ни как-нибудь иначе различить при помощи наших чувств отдельные части этого пространства одну от другой, и вместо них приходится обращаться к измерениям, доступным чувствам. По положениям и расстояниям предметов от какого-либо тела, принимаемого за неподвижное, определяем места вообще, затем и о всех движениях судим по отношению к этим местам, рассматривая тела лишь как переносящиеся по ним. Таким образом, вместо абсолютных мест и движений пользуются относительными; в делах житейских это не представляет неудобства, в философских необходимо отвлечение от чувств. Может оказаться, что в действительности не существует покоящегося тела, к которому можно было бы относить места и движения прочих».

Для нас сегодня метафизический характер абсолютного пространства и абсолютного времени очевиден. Но 300 лет назад царила иная атмосфера и доминировали другие понятия, чем теперь. Ньютон должен был и, вероятно, хотел видеть за «относительным», «кажущимся» и «обыденным» нечто абсолютное, существующее независимо от возможностей измерений и наблюдений. Такой подход оказался возможным и плодотворным потому, что фактически Ньютон выбирал системы отсчета, очень близкие к инерциальным. Именно такова в первую очередь принятая в астрономии система с центром в центре Солнца (или центре масс Солнечной системы) и с осями, направленными на «неподвижные звезды». Для многих опытов на земной поверхности близкой к инерциальной системе является сама эта поверхность и ее окрестности. Абсолютное пространство Ньютона «материализовалось» в теориях, исходивших из представлений о неподвижном эфире. Только общая теория относительности — творение начала века — окончательно вытеснила из физики абсолютное пространство и абсолютное время, понимаемые как абсолютно неизменные и, так сказать, внешние по отношению к веществу и всем полям. Но еще задолго до этого, в XVIII и XIX вв., ньютоновские представления об абсолютном пространстве и времени подверглись жестокой критике и, главное, было развито представление об инерциальных системах отсчета, в которых и справедливы законы Ньютона. Отсылая за некоторыми подробностями к книгам и статьям [14, 29–35] и цитируемой там литературе, мы считаем целесообразным кратко остановиться здесь на современной форме изложения основ механики Ньютона.

Из опыта видно, что существуют такие системы отсчета и такие часы (основанные на наблюдении различных периодических процессов, например вращения Земли или колебаний маятника), при использовании которых тело (масса), достаточно удаленное от всех других, движется прямолинейно и равномерно. Такое утверждение можно, собственно, считать первым законом динамики. Возможно, Ньютон нечто подобное и имел в виду. Известно и другое объяснение причины, по которой Ньютон выделил первый закон. Именно он мог стремиться подчеркнуть, что при отсутствии сил тело не только остается в покое, но и может двигаться с постоянной скоростью (это обстоятельство до Ньютона оставалось, по-видимому, недостаточно ясным). Так или иначе, выделение и формулировка первого закона (закона инерции) дают основания для некоторого недоумения и критики. Действительно, если считать силы известными, то первый закон является прямым следствием второго: при отсутствии сил количество движения $m\mathbf{v} = \text{const}$, а значит, по крайней мере при $m = \text{const}$, скорость $\mathbf{v} = \text{const}$. С другой стороны, как узнать, что на тело не действует сила? Если используется инерциальная система отсчета, то отсутствие сил устанавливается сразу — в этом случае масса движется по инерции, т.е. $\mathbf{v} = \text{const}$. Но, чтобы избежать порочного круга, нельзя обратить постановку задачи и считать без

дальнейших ограничений инерциальными системы отсчета, в которых массы движутся с постоянной скоростью. Поэтому выше, как это часто делается, при определении инерциальной системы было использовано следующее из наблюдений свойство — убывание сил с расстоянием. Более последовательной будет следующая процедура (остановимся здесь для конкретности и краткости на примере Солнечной системы). В «астрономической системе отсчета» (с началом координат в центре масс Солнечной системы и с осями, направленными на неподвижные звезды) силы между всеми массами (планетами, их спутниками) подчиняются третьему закону Ньютона, т.е. в уже использованных выше обозначениях для каждой двух масс m_i и m_j

$$\mathbf{F}_{ij}(r_{ij}) = -\mathbf{F}_{ji}(r_{ij}). \quad (2)$$

В данном случае речь идет о силах гравитации (1). Однако, как известно, закон (2) справедлив в значительно более широкой области (для электростатических сил, в макроскопической механике — при рассмотрении пружин, анализе соударений тел и т.д.).

Очевидно, в условиях справедливости соотношений (1) и (2) масса, достаточно удаленная от всех других масс, будет двигаться по инерции. Следовательно, с соответствующей точностью астрономическая система отсчета является инерциальной. В этой системе справедлив второй закон Ньютона в форме

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{r}_i}{dt^2} = \sum_j \mathbf{F}_{ij}(r_{ij}), \quad (3)$$

где \mathbf{r}_i — радиус-вектор для массы i ($r_{ij} = |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|$). Уравнение (3) инвариантно относительно преобразований Галилея:

$$\mathbf{r}'_i = \mathbf{r}_i - \mathbf{V}t, \quad t' = t, \quad \mathbf{V} = \text{const.} \quad (4)$$

Тем самым ясно, что имеется бесконечно большое число инерциальных систем, движущихся с постоянной скоростью \mathbf{V} относительно исходной — в нашем случае астрономической — системы отсчета.

Но, разумеется, совершенно не обязательно использовать в качестве исходной инерциальной системы астрономическую систему отсчета. Это особенно естественно лишь в вопросах небесной механики. Инерциальной является, как известно, любая система, свободно и без вращения падающая (движущаяся) в достаточно однородном гравитационном поле (свободно падающий «лифт», космический корабль с выключенными двигателями). При этом, конечно, предполагается, что негравитационные силы отсутствуют или, лучше сказать, не играют роли (подробнее — с оценкой «степени инерциальности» тех или иных систем отсчета — эти вопросы обсуждаются в [33, 34]). Близким, по сути дела, является определение инерциальной системы как такой, в которой пространство можно считать однородным и изотропным, а время — однородным (речь, таким образом, идет о пространстве-времени Минковского; см. [3, § 3; 35]). В общем, вопрос об инерциальных системах отсчета в классической механике в наше время может считаться вполне ясным.

Если силы \mathbf{F}_{ij} известны или заданы (и, конечно, только в этих случаях), уравнения движения (3) содержательны и позволяют в принципе найти траектории всех «точечных» масс $\mathbf{r}_i(t)$. Опустим здесь тривиальные замечания, касающиеся необходимости задавать начальные условия или возможности использовать любые системы отсчета, переход к которым фиксирован соответствующими преобразованиями координат. Очевиден также, по крайней мере в принципе, переход к более сложным механическим системам (твердое тело, различные механизмы и т.д.).

Итак, основы классической механики вполне определены и ясны. Уточнения по сравнению с «Началами» в общем существенны (но преимущественно в логическом плане) и

ни в коей мере не меняют оценку роли «Начал», не поколебали их основополагающего значения. Практика Ньютона при исследованиях в области механики была в целом правильной, предусмотреть же все возможные уточнения и обобщения он, конечно, не мог.

Широко распространено такое дилетантское мнение (автор должен признаться, что и он его придерживался). Поскольку Ньютон «изобрел» анализ (дифференцирование и интегрирование) или, во всяком случае, владел его основами и был одним из главных пионеров в этой области, то и в «Началах» он пользовался анализом. Разумеется, подобное заключение обусловлено тем фактом, что сегодня немыслимо представить себе решение задач механики без интегрирования дифференциальных уравнений движения (3). Фактически же Ньютон в «Началах» анализ в явном виде вообще не использовал (!). Все «Начала» построены, если говорить о математике, на геометрических методах и чертежах. Как отмечается в [9], «все, что требовалось, Ньютон доказывал при помощи более или менее эквивалентных анализу прямых геометрических элементарных рассуждений (а не переводя аналитические выкладки на геометрический язык) — ему это было легче»¹. Таким образом, не подтверждается гипотеза, фигурирующая в литературе, что Ньютон не использовал анализ в явном виде для доступности изложения, ибо читателям анализ был еще неизвестен (Ньютон свои математические работы до издания «Начал» не публиковал; первая публикация Лейбница (1646—1716), касающаяся анализа, относится к 1684 г.). Существует и несколько иная точка зрения (см., в частности, брошюру [8]), а именно: Ньютон и не мог сколько-нибудь широко использовать аналитические методы, ибо они не были еще созданы. Только Эйлер (1707—1783) в 1736 г., т.е. через 50 лет после появления «Начал», написал книгу «Механика, аналитически изложенная», содержащую близкие к современным аналитические методы. Дальнейшие успехи в этом направлении связаны с именами Клеро (1713—1765), Даламбера (1717—1783), Лагранжа (1736—1813) и Лапласа (1749—1827). Все они занимались небесной механикой, повторяли выводы Ньютона другими методами, уточняли расчеты движения Луны, планет и их спутников. При этом, когда возникали затруднения или, попросту говоря, расхождения при сравнении расчетов с наблюдениями, начинали сомневаться в справедливости закона $F \sim 1/r^2$ для силы всемирного тяготения. Последнее естественно, ведь этот закон не был «выведен» или обоснован на базе какой-то модели. Но с уточнением расчетов расхождения исчезали. Казалось, что Лаплас в его пятитомной «Небесной механике»² завершил «здание» ньютоновской теории движений в Солнечной системе. В каком-то смысле это действительно верно, хотя развитие небесной механики продолжается и сегодня; особенно оно было стимулировано запуском искусственных спутников Земли и различных космических зондов (включая, конечно, запуски аппаратов, исследовавших в 1986 г. комету Галлея). Но если иметь в виду выход за пределы механики Ньютона, то это историческое событие произошло, хотя тогда и не было осознано, лишь в 1859 г. Мы имеем в виду обнаруженную Леверье (1811—1877) аномалию в движении Меркурия. А именно: даже при учете всех известных возмущений от других планет перигелий Меркурия, согласно расчетам Леверье, по неизвестным причинам дополнительно поворачивается на 38 угловых секунд (") в столетие. По уточненным в 1882 г. данным поворот перигелия Меркурия равен 43" в столетие. С учетом лучших известных значений для скорости света и астрономической единицы поворот перигелия по упоминаемой ниже формуле Эйнштейна составляет 42,98" в столетие [37]. Это значение согласуется с наблюдениями с точностью около $\pm 0,1''$ в

¹В брошюре [9] В. И. Арнольд показывает также, как много глубоких математических идей и результатов предвосхитил Ньютон (в частности, согласно [9], «некоторые идеи Гюйгенса и Ньютона опередили свое время на несколько столетий и получили развитие только в последние годы»). Как нам представляется, в этом отношении математика существенно отличается от физики, но обоснование этого тезиса потребовало бы специального анализа и особой статьи.

²Издание было завершено в 1825 г.; кстати, само название «Небесная механика» было введено именно Лапласом в 1798 г. [36].

столетие. Аномальный поворот перигелия пытались объяснить различными причинами: возмущением от неизвестной планеты или кольца астероидов, сплюснутостью Солнца, отклонениями от закона всемирного тяготения $F \sim 1/r^2$ и т.д. Вопрос оставался, однако, совершенно открытым вплоть до 1915 г., когда Эйнштейн показал [38, с. 439], что общая теория относительности, построение которое как раз тогда завершалось, без каких-либо дополнительных предположений приводит к релятивистскому повороту перигелиев планет, причем: «Вычисление дает для планеты Меркурий поворот на $43''$ в столетие, тогда как астрономы указывают $45 \pm 5''$ в качестве необъяснимой разницы между наблюдениями и теорией Ньютона. Это означает полное согласие с наблюдениями» [38, с. 446–447]. Если бы Эйнштейн использовал уже известные тогда более точные данные наблюдений (поворот на $43''$), совпадение с теорией было бы еще лучшим. Однако и без этого имело место подлинное торжество общей теории относительности. Та обычная для научной литературы довольно сухая фраза из статьи Эйнштейна, которая выше процитирована, не отражает, естественно, чувств ее автора. По мнению А. Пайса, написавшего лучшую из известных нам биографию Эйнштейна [39], объяснение поворота перигелия Меркурия явилось «самым сильным эмоциональным событием за всю научную жизнь Эйнштейна, а быть может, за всю его жизнь вообще». (Эйнштейн по этому поводу писал: «В течение нескольких дней я был вне себя от радостного возбуждения» [39, с. 253].)

Если не говорить о таком облачке на далеком горизонте, как аномалия в движении Меркурия, в XIX в. ньютоновская механика торжествовала. К ней пытались свести, объяснить на ее основе и электромагнитные явления. Как мы хорошо знаем сегодня, абсолютизация классической или ньютоновской механики (как, впрочем, и любая иная абсолютизация) не обоснована, если угодно, просто неверна.

Точность результатов классической механики ограничена при учете зависимости массы m от ее скорости v (частная теория относительности, 1905 г.) и в связи с требованием слабости ньютоновского гравитационного потенциала φ по сравнению с квадратом скорости света c^2 (общая теория относительности, 1915 г.). В применении к Солнечной системе (вряд ли здесь уместны уточнения и пояснения) оба эти требования можно свести к одному:

$$v^2/c^2 \sim |\varphi|/c^2 \ll 1 \quad (5)$$

(при движении по кругу для силы всемирного тяготения, как хорошо известно, $v^2 = |\varphi| = GM/r$). На поверхности Солнца $|\varphi_\odot|/c^2 = 2,12 \cdot 10^{-6}$ ($M_\odot = 1,99 \cdot 10^{33}$ г, $r_\odot = 6,96 \cdot 10^{10}$ см), на орбите Земли $v^2/c^2 \approx |\varphi|/c^2 \sim 10^{-8}$ ($v \approx 3 \cdot 10^6$ см/с), для близких спутников Земли и на ее поверхности $v^2/c^2 \approx |\varphi|/c^2 = 7 \cdot 10^{-10}$ ($v \approx 8 \cdot 10^5$ см/с). Таким образом, эффекты теории относительности в пределах Солнечной системы весьма малы (условия (5) выполняются с большим запасом) и, кстати сказать, в пределах достигнутой точности полностью подтверждаются наблюдениями [40] (см. также § 19 первой статьи настоящего сборника). Для микрочастиц (электронов, протонов и т.д.) гравитационное взаимодействие пренебрежимо мало и достигается скорость v , весьма близкая к c . В таких условиях нужно пользоваться частной теорией относительности, причем масса равна

$$m = m_0/(1 - v^2/c^2)^{\frac{1}{2}}.$$

Здесь m_0 — масса покоя, которую во избежание недоразумений только и целесообразно вводить (подробнее см. [42]). В ньютоновской формулировке второго закона (см. выше) речь идет не о произведении массы на ускорение, а (на современном языке) об уравнении

$$\frac{d}{dt}(m\mathbf{v}) = \mathbf{F}. \quad (6)$$

Поэтому можно сказать, что формулировка Ньютона учитывает возможность зависимости массы от скорости. В этой связи Зоммерфельд пишет, что формулировка Ньютона

«оправдалась прямо-таки пророчески» [19, с. 10]. К сожалению, автор настоящей статьи не знает, имеются ли в сочинениях или письмах Ньютона какие-либо замечания о возможной зависимости массы от скорости. Учитывая использованное Ньютоном определение массы, предположение об ее зависимости от скорости представляется невероятным. Поэтому ни о каком «пророчестве» говорить в данном вопросе не приходится.

Вместе с тем Ньютона действительно можно считать пророком. Чего стоят, например, два его замечания, которые С.И. Вавилов использовал в числе других в качестве эпиграфов к главам своей книги [41]:

«Не обращаются ли большие тела и свет друг в друга? Превращение тел в свет и света в тела соответствует ходу природы, которая как бы услаждается превращениями».

«Не действуют ли тела на свет на расстоянии и не изгибают ли этим действием его лучей; и не будет ли (при прочих равных условиях), это действие сильнее всего на наименьшем расстоянии?»

Разумеется, чтобы правильно оценить эти замечания, нужно помнить, что Ньютон склонялся к корпускулярной теории света. С этой точки зрения световые корпускулы порождаются (испускаются) и поглощаются, а также обладают массой, как инертной, так и тяжелой. Не случайно поэтому, что на основе корпускулярной теории света еще в конце XVIII в. было введено, по сути дела, представление о «черных дырах», а в самом начале XIX в. вычислено отклонение световых лучей в поле Солнца (правда, при этом предсказывается отклонение, которое в два раза меньше вытекающего из общей теории относительности; см. [40]).

Точность классической механики ограничена и при учете квантовых эффектов, квантовой теории — ее начало в 1900 г. было положено Планком (1858—1947). Один достаточный здесь критерий, обеспечивающий возможность пренебречь квантовыми эффектами в механике, состоит в требовании малости длины «волны материи» (длины волны де Бройля) λ по сравнению со всеми характерными размерами и расстояниями:

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar}{mv} \ll L, \quad (7)$$

где $\hbar = 2\pi h = 6,63 \cdot 10^{-27}$ эрг · с — постоянная Планка, m — масса рассматриваемого тела или частицы и v — их скорость. Для движения Земли по орбите $L \sim 10^{13}$ см (большая полуось земной орбиты — астрономическая единица длины 1 а.е. = $1,496 \cdot 10^{13}$ см), $m \sim M_{\text{З}} \sim 5 \cdot 10^{27}$ г, $v \sim 3 \cdot 10^6$ см · с⁻¹ и $\lambda \sim 10^{-60}$ см. Разумеется, длина волны λ в этом случае столь мала, что ее использование в применении к макроскопическому телу, вообще говоря, не имеет никакого смысла. Даже при $m \sim 1$ г и $v \sim 1$ см · с⁻¹ длина волны $\lambda \sim 6 \cdot 10^{-27}$ см, в то время как для электронов ($m \sim 10^{-27}$ г) уже $\lambda \sim 10/v$ см и квантовые эффекты могут быть существенными в макроскопических условиях, не говоря уже об атомных масштабах $L \sim 10^{-8}$ см.

Логически не исключено, что классическая механика ограничена не только, так сказать, с релятивистской и квантовой сторон (условия (5), (7)), но и еще в каких-то случаях. Так, не раз делались предположения о непригодности классической механики в применении к скоплениям галактик или самим галактикам в силу огромных масс и расстояний, фигурирующих в этих случаях, и т.д. (несколько подробнее см., например, § 23 первой статьи настоящего сборника). Никаких реальных указаний на подобные ограничения не имеется, но если бы они даже появились (это представляется нам крайне маловероятным), то в обсуждаемом здесь плане ничего бы не изменилось. Несомненно, даже при отсутствии каких-либо неизвестных ограничений механика Ньютона не абсолютна; она пригодна лишь с некоторой точностью при пренебрежении релятивистскими и квантовыми эффектами. Однако в некоторой области ньютоновская механика точна и полна, или, как нам кажется удобным говорить, точна и полна в области ее применимости (см.

настоящий сборник, с. 191). Таким образом, роль и ценность ньютоновской механики не преходящи, они сохранятся навсегда. Навсегда сохранится и благодарная память потомства о Ньютоне и его «Математических началах натуральной философии».

О НЬЮТОНЕ. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Великие люди, а тем более великие из великих, к числу которых принадлежит Ньютон, — предмет пристального внимания и интереса. Оснований для этого немало. В первую очередь можно указать на естественное желание заглянуть в «творческую лабораторию» и понять психологию исключительных людей. Игрет роль и тот факт, что жизнь знаменитостей нередко по разным параметрам богаче жизни людей заурядных. Часто и материалов о великих людях больше сохранилось; тут и рукописи, и иные материальные «памятники», здесь и воспоминания современников (нередко, впрочем, противоречивые и не заслуживающие особого доверия). Нельзя не упомянуть также о специфическом интересе, который проявляется к жизни выдающихся личностей. Источник такого интереса довольно четко отразил Гёте, заметивший, что «для посредственности нет большего утешения, чем то, что и гений не минует смерти». Гёте подчеркнул и такую тривиальную истину: «И великий человек — всего лишь человек». А у всякого человека есть слабости. К тому же корреляция между «гением и злодейством», между ярким талантом и моральным обликом, если и существует, то далеко не всегда¹.

Так или иначе, Ньютон — излюбленный объект биографических исследований, в частности в последнее время [5, 7, 106]. Небогатая внешними событиями жизнь Ньютона, никогда не покидавшего Англию, никогда не женатого пуританина, была насыщена огромным внутренним содержанием. К тому же это была, к счастью, долгая жизнь (Ньютон скончался на 85-м году). Перед нами предстает и наделенный исключительным талантом юноша, у которого было тяжелое детство, и человек, способный на титанические усилия, потребовавшиеся для написания «Начал» (об этом см. ниже), и, как-то несколько неожиданно, хранитель или смотритель (warden), а затем директор (master) монетного двора в Лондоне².

В разные периоды жизни поведение и в какой-то мере, видимо, и сам характер Ньютона были далеко не одинаковыми. Приоритетные споры Ньютона (особенно с Гуком и Лейбницем) производят во многом неприятное впечатление. Тяжело читать [6] об отношениях между Ньютоном и известным астрономом Джоном Флемстидом (1646—1719), первым Королевским астрономом и создателем обсерватории в Гринвиче. Ньютон бывал с Флемстидом груб и несправедлив, но и Флемстид пишет о Ньютоне в весьма нелестных выражениях (С.И. Вавилов называет характеристику, данную Ньютону Флемстидом, шаржем). Какие страсти кипели в спорах между Ньютоном и Флемстидом, видно уже из такого факта. В 1712 г. Флемстид получил от Галлея 300 экземпляров звездного каталога, составленного Флемстидом, но изданного по настоянию Ньютона не в согласии с пожеланиями Флемстида. Все полученные им экземпляры книги Флемстид сжег.

Да, изображать Ньютона в качестве не только гения, но и образца всех высоких человеческих качеств значило бы исказить историческую правду. Но это несколько не противоречит эпитафии, помещенной в начале настоящей статьи. Ньютон действительно был

¹Распространено мнение об отсутствии подобной корреляции. Как нам кажется, некоторая корреляция все же имеется, причем положительная (см. настоящий сборник, с. 153).

²Смотрителем монетного двора Ньютон стал в 1696 г. и в этой связи переехал из Кембриджа в Лондон. Должность Ньютона отнюдь не была синекурой. Он несколько лет работал на монетном дворе с большим напряжением сил, увеличил его производительность в восемь раз, как утверждают, не поставив ни одного нового станка. Оставаясь директором (с 1699 г.) монетного двора, Ньютон с 1703 г. до самой смерти в 1727 г. был президентом Лондонского Королевского общества.

украшением рода человеческого. Что же касается его личных черт, то они противоречивы. Имели место, по-видимому, «подозрительность, раздражительность, преувеличенное мнение о собственной исключительности» (цитируется по [106, с. 97]). Но, не говоря уже о замечательном таланте (а это, конечно, главное), были и совсем другие черты. Например, на автора настоящей статьи гораздо большее впечатление, чем непрезентабельные сведения о приоритетных и иных спорах, которые вел Ньютон, произвело свидетельство секретаря Ньютона (и его однофамильца) Хэмфри Ньютона, который выполнял свои обязанности с 1685 до 1689 г. Вот соответствующие выдержки (следуем [6, с. 120—121]):

«В это время он писал свои „Principia“, по его распоряжению я переписывал это великодушное произведение, прежде чем послать в печать...

Сэр Исаак был в это время очень любезным, спокойным и очень скромным и, по-видимому, никогда не впадал в раздражение; за исключением одного случая, я никогда не видел, чтобы он смеялся... Он постоянно был занят работой, редко ходил к кому-нибудь или принимал у себя гостей... Он не позволял себе никакого отдыха и передышки, не ездил верхом, не гулял, не играл в кегли, не занимался спортом; он считал потерянным всякий час, не посвященный занятиям. Редко уходил он из своей комнаты, за исключением только тех случаев, когда ему надо было читать лекции как люкасовскому профессору. Лекции мало кто посещал и еще меньше того понимал. Часто приходилось читать перед пустой аудиторией. Посторонних он принимал с простотой и почтением; если его приглашали на ужин или обед, что случалось очень редко, он с удовольствием устраивал ответное угощение. Занятиями увлекался он настолько, что часто забывал обедать. Нередко, заходя в его комнату, я находил обед нетронутым на столе, и только после моего напоминания он, стоя, что-нибудь съедал. Я никогда не видел, чтобы он садился за обед сам, без напоминания. В тех редких случаях, когда он принимал гостей, присутствовало главным образом начальство колледжа. Раньше двух-трех часов он редко ложился спать, а в некоторых случаях засыпал только в пять-шесть часов утра. Спал он всего четыре-пять часов, особенно осенью и весной, когда в его химической лаборатории ни днем, ни ночью почти не гасился огонь. Я не мог узнать, чего он искал в этих химических опытах, при выполнении которых он был очень точен и аккуратен; судя по его озабоченности и постоянной работе, думаю, что он стремился перейти черту человеческой силы и искусства. У Ньютона в это время не было ни учеников, ни товарищей по комнате, которые помогали бы ему в работе. Только один раз за все время он был болен и пролежал несколько дней в постели; страдания он выносил с большим терпением, совершенно безразлично относясь к жизни и смерти.

В лаборатории сэра Исаака было много химических приборов, однако чаще всего он пользовался плавильными тиглями, в которых расплавлял свои металлы. Иногда он справлялся в старой истлевшей книге, лежавшей в его лаборатории и носившей название «Agricola: De Metallis». Превращение металлов было главной целью, а сурьма — главным ингредиентом... Иногда во время прогулки по саду Ньютон внезапно останавливался, взбегал по лестнице в свою комнату и, подобно Архимеду, начинал писать за своим пультом, забывая сесть...

Не обнаружив на лекции ни одного слушателя, Ньютон через четверть часа возвращался обратно. Он подолгу ходил в своей комнате взад и вперед, подобно ученику перипатетиков. Днем он никогда не спал. Думаю, его немало печалила необходимость тратить время на еду и сон. Хотя у него была большая библиотека, он редко справлялся в книгах».

Какое напряжение всех сил, преданность науке, высокое горение!

За этим взлетом, кульминацией которого явились «Начала», последовал тяжелый период. В 1689 г. скончалась мать Ньютона, к которой, по ряду данных, он испытывал глубокую привязанность. Затем в его комнате случился пожар, уничтоживший, по-видимому, многие ценные рукописи. Наконец, на период 1690—1693 гг. приходится психическое

расстройство, видимо, с манией преследования. Сам Ньютон, его родственники и ученики, а также биографы XVIII столетия тщательно скрывали факт болезни, но он несомненен. Возможно, сказалось колоссальное напряжение при создании «Начал». Существует гипотеза, что Ньютон отравился во время своих химических и алхимических опытов и именно это явилось причиной психического расстройства. Но видимо, это не так (см [5]).

В 1694 г. Ньютон уже возобновил прежнюю деятельность, но в нем явно произошел какой-то перелом. Как уже упоминалось, в 1696 г. Ньютон переезжает в Лондон; ему было тогда только 53 года (впрочем, можно сказать и так: ему было уже 53 года, ведь в те времена средняя продолжительность жизни была значительно ниже, чем теперь). Так или иначе, после создания «Начал» научная активность Ньютона резко снизилась, хотя он продолжал заниматься наукой наряду с руководством монетным двором, богословской и некоторой другой деятельностью. Какова причина некоторого отхода Ньютона от науки? Трудно ответить на этот вопрос; в общем это довольно обычное явление по достижении известного возраста и реализации задуманного в молодости. Интересно, однако, заметить, что речь не шла о потере блестящих способностей. Последнее ясно из такого примера. В 1696 г. известный математик Иоган Бернулли (1667—1748) предложил задачу о брахистохроне — о нахождении кривой, двигаясь по которой под действием силы тяжести некоторая масса достигает заданной точки за кратчайшее время. Бернулли и Лейбниц считали, что только развитый ими математический аппарат достаточно мощен для решения этой задачи и Ньютон, занявшийся чеканкой монеты, ее не решит. Но не тут-то было. Вернувшись домой с монетного двора, усталый Ньютон принял вызов и в тот же вечер нашел решение. На следующее утро это решение было послано для опубликования без подписи. Однако, когда Бернулли увидел решение, он воскликнул: «Лев виден по когтям!», — сомнений в авторстве не было (подробнее см. [5, 11]). Ясность мысли Ньютон сохранил до конца. В последние годы жизни он становится добрее к людям, остро переживает столкновения с жестокостью и несправедливостью [106]. К периоду, близкому к концу жизни, относятся знаменитые слова Ньютона: «Не знаю, чем я могу казаться миру, но сам себе я кажусь только мальчиком, играющим на морском берегу, развлекающимся тем, что от поры до времени отыскиваю камешек, более цветистый, чем обыкновенно, или красивую раковину, в то время как великий океан истины расстилается передо мной неисследованным».

Именно этими словами С.И. Вавилов кончает свою ценную биографию Ньютона [6]. Поступим здесь иначе и в качестве заключения вернемся к оценке Ньютона и его деятельности со стороны Альберта Эйнштейна. Такой выбор понятен, ибо именно Эйнштейна нередко сравнивали и сравнивают с Ньютоном, называли вторым Ньютоном и третьим Архимедом (вторым Архимедом считают Ньютона)¹. Разумеется, всякие подобные сравнения достаточно условны, но, бесспорно, со времен Ньютона не укажешь более крупной фигуры в физике, чем Эйнштейн. И вот что он писал в одной из своих статей в 1927 г. [17, с. 82]:

«На днях исполняется 200 лет со времени кончины Ньютона. Мы должны восстановить в памяти образ этого блестящего гения; он указал Западу пути мышления, экспериментальных исследований и практических построений, как никто другой ни до, ни после него. Ньютон не только создал гениальные методы; он в совершенстве владел всем известным в его время эмпирическим материалом и был исключительно изобретателен в нахождении математических и физических доказательств. По всему этому он заслуживает нашего высокого уважения. Но фигура Ньютона означает больше, чем это вытекает из его собственных заслуг, ибо самой судьбой он был поставлен на поворотном пункте умственного развития человечества. Чтобы это образно представить себе, вспомним, что до Ньюто-

¹ Еще в 1910 г. Планк назвал Эйнштейна «Коперником XX столетия», что несколько удивляет, поскольку общая теория относительности еще не была создана. Очевидно, Планк имел в виду частную теорию относительности, роль которой действительно в какой-то мере аналогична сделанному Коперником.

на не существовало законченной системы физической причинности, системы, которая бы как-то отражала более глубокие черты внешнего мира».

Такая оценка вклада Ньютона вполне гармонирует, как нам кажется, с известным двустишием английского поэта Александра Попа (1688–1744)¹:

Nature and nature's laws lag hid in night.
God sad: «Let Newton be!» And all was light.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ньютон И.* Математические начала натуральной философии / Пер. с латин. с примечаниями и пояснениями А.Н. Крылова (Последнюю публикацию перевода см.: *Крылов А.Н.* Собрания трудов. Т. VII. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1936).
2. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Механика. — М.: Наука, 1979.
3. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. Т. I: Механика. — М.: Наука, 1973; 1988.
4. *The Correspondence of Sir Isaak Newton. Vols I–VII.* — Cambridge: Cambr. Univ. Press, 1959–1977.
5. *Westfall R.* Never at Rest: A Biography of Isaak Newton. — Cambridge: Cambr. Univ. Press, 1982.
6. *Вавилов С.И.* Исаак Ньютон. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1945 (новое издание — М.: Наука, 1989).
7. *Карцев В.П.* Исаак Ньютон. — М.: Молодая гвардия, 1987. — (Сер. «Жизнь замечательных людей»).
8. *Кобзарев И.Ю.* Ньютон и его время. — М.: Знание, 1978.
9. *Арнольд В.И.* Гюйгенс и Барроу, Ньютон и Гук. — М.: Наука, 1989.
- 10а. Исаак Ньютон: Сборник статей к трехсотлетию со дня рождения. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1943.
- 10б. Современные историко-научные исследования (Ньютон): Реферативный сб. — М.: ИНИОН АН СССР, 1984; см. также: Науковедение // Реф. ж. — 1980. — N 5. — С. 67, 73.
11. *Гинзбург В.Л.* Несколько замечаний к биографии Исаака Ньютона. Статья помещена в виде дополнения в новом издании (1989 г.) книги С.И. Вавилова [6].
12. *Льюис М.* История физики. — М.: Мир, 1970.
13. *Паннекук А.* История астрономии. — М.: Наука, 1966.
14. *Гинзбург В.Л.* Гелиоцентрическая система и общая теория относительности Сб. статей (*Гинзбург В.Л.* О теории относительности. — М.: Наука, 1979).
15. *Barbour J.* Galileo, Free Fall, and the Law of Inertia // *Contemp. Phys.* — 1985. — V. 26. — P. 397.
16. *Белый Ю.А.* Иоганн Кеплер. — М.: Наука, 1971.
17. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов. Т. IV. — М.: Наука, 1967.
18. *Ньютон И.* Лекции по оптике / Пер. с латин. С.И. Вавилова. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1946.

¹В [6] приводится такой перевод:

«Природы строй, ее закон в ответной тьме таился.
И бог сказал: „Явись, Ньютон!“ И всюду свет разлился».
В переводе С.Я. Маршака двустишие звучит так:

«Был этот мир глубокой тьмой окутан.
Да будет свет! И вот явился Ньютон».

19. *Зоммерфельд А.* Механика. — М.: ИЛ, 1947.
20. *Марочник Л.С.* Свидание с кометой. — М.: Наука, 1985. — (Б-чка «Квант». Вып. 47).
21. *Gingerich O.* Newton, Halley and the Comet // *Sky and Telescope*. — 1986. — V. 71. — P. 230.
22. Историко-астрономические исследования. — М.: Наука, 1986. — С. 41.
23. *Harrison E.* Newton and the Infinite Universe // *Phys. Today*. — 1986. — V. 39. N 2. — P. 24.
24. *Джеммер М.* Понятие массы в классической и современной физике. — М.: Прогресс, 1967.
25. *Goodinson P.A., Luffman B.L.* On the Definition of Mass in Classical Physics // *Amer. J. Phys.* — 1950. — V. 53. — P. 40.
26. *Мандельштам Л.И.* Еще раз о силах инерции // *УФН*. — 1946. — Т. 28. — С. 99; то же: Полное собрание трудов. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. — Т. III. — С. 323.
27. *Ишлинский А.Ю.* Механика относительного движения и силы инерции. — М.: Наука, 1981; Механика (идеи, задачи, приложения). — М.: Наука, 1985. — С. 504.
28. *Седов Л.М.* Очерки, связанные с основами механики и физики. — М.: Знание, 1983.
29. *Эйлер Л.* Теория движения тел // *Основы динамики точки*. — М.; Л.: Гостехиздат, 1938.
30. *Neumann C.* Über die Prinzipien der Galilei — Newton'schen Theorie. — Leipzig, 1870.
31. *Voss A.* Die Prinzipien der rationellen Mechanik // *Enzyklopadie der Mathematische. Wissenschaften*. — Leipzig, 1901—1908. — Bd 4. — Tl. 1.
32. *Лауе М.* Статьи и речи. — М.: Наука, 1969. — С. 153, 266, 282.
33. *Хайкин С.Э.* Физические основы механики. — М.: Наука, 1971.
34. *Линец А.М.* О системах отсчета классической механики // *Эйнштейновский сборник*, 1971. — М.: Наука, 1972. — С. 254.
35. *Brehme R.W.* On Force and the Inertial Frame // *Amer. J. Phys.* — 1985. — V. 53. — P. 952.
36. *Воронцов-Вельяминов Б.А.* Лаплас. — М.: Наука, 1985.
37. *Nobili A.M., Will C.M.* The Real Value of Mercury's Perihelion Advance // *Nature*. — 1986. — V. 320. — P. 39.
38. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов. Т. 1. — М.: Наука, 1965.
39. *Pais A.* Subtle is the Lord... // *The Science and the Life of Albert Einstein*. — Oxford: Oxford Univ. Press, 1982 (русский перевод: *Пайс А.* Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. — М.: Наука, 1989).
40. *Гинзбург В.Л.* Об экспериментальной проверке общей теории относительности // *УФН*. — 1979. — Т. 128. — С. 435; см. также сборник статей, упомянутый в ссылке [14].
41. *Вавилов С.И.* Экспериментальные основания теории относительности: Собрание сочинений. Т. IV. — М.: Изд-во АН СССР, 1956.
42. *Окунь Л.Б.* // *УФН*. — 1989. — Т. 158. — С. 511.

ЗАМЕТКИ ПО ПОВОДУ ЮБИЛЕЯ

К середине 1986 г. пришлось услышать такое замечание: «Вам скоро исполняется 70 лет. Это считается юбилеем, и его отмечают по-разному. Одна из возможностей — юбиляр сам пишет статью для какого-либо журнала или сборника. Почему бы и Вам так не поступить?» В ответ на это я спросил: «Хотите выяснить, удержусь ли я на дереве?» Поскольку такой ответ озадачил собеседника, пришлось рассказать такую историйку, вполне возможно, выдуманную. На неких островах в Тихом океане, когда вождь племени старел, он должен был залезть на самую высокую пальму, а все племя ее раскачивало; если вождь удерживался, он оставался на своем посту, если же срывался, вопрос о выборе нового вождя возникал «естественным» образом.

Такова была моя реакция на рекомендацию написать что-либо в связи с юбилеем. Подумав же, понял ее неправомерность. В самом деле, что значит для физика доказать, что он еще «держится на дереве», или (используя более привычный образ) еще «сидит в седле»? Это значит выполнить «работу» по физике типа тех, которые делались в более молодые годы. Но то, что я называю работой, не сделаешь по заказу, во всяком случае я такого никогда не умел и не умею. Главное, такая статья была бы довольно специальной и не имела никакого отношения к юбилею. Переход через весьма малоприятный 70-летний рубеж не хотелось бы и вообще отмечать. В моем случае никто и не получил извещения с портретом юбиляра и сообщением о каком-то заседании или указании адреса, по которому можно присылать приветствия. То, что было, — это нечто вроде капустника. Вместе с тем совет что-то написать показался привлекательным. Например, можно было бы предложить журналу какие-то воспоминания или понятный неспециалистам небольшой обзор на физическую или астрофизическую тему. Немало таких обзоров я написал в разные годы, но в данный момент нет на моем горизонте каких-то научных новостей, которые породили бы энтузиазм и стремление поделиться ими с читателями. Нет сейчас и особых оснований писать воспоминания. Вместе с тем накопились отдельные замечания, быть может, представляющие интерес. Вот и решил попытаться их изложить, можно сказать, написать заметки «по поводу» (á propos) юбилея¹.

Итак, эти заметки — не воспоминания, но в них затрагиваются вопросы, которые меня волновали и волнуют. Поэтому они преломляются сквозь призму собственной жизни. Отсюда и невозможность изгнать автобиографические элементы и личные местоимения (что нередко вызывает неудовольствие читателей). Я имел в виду это обстоятельство, когда редактировал статью с учетом замечаний, сделанных теми (пользуюсь возможностью их поблагодарить), кто прочел первый вариант. Однако заранее ясно, что далеко не все будут удовлетворены. Не раз уже приходилось убеждаться, что даже друзья, мнение которых уважаешь, совсем по-разному оценивают какое-либо утверждение, да и всю статью. Приведу хорошо запомнившийся пример. Одну статью я закончил несколькими фразами «на высокой ноте»². И вот читавшие статью еще в рукописи два известных физика, сами авто-

¹При этом я иногда без оговорок повторяю сказанное в ранее опубликованных статьях. Большинство из них переиздано в настоящем сборнике.

²См. статью «Как развивается наука (замечания по поводу книги Т. Куна «Структура научных революций»». Настоящий сборник, с. 122.

ры многих публикаций, реагировали на упомянутую концовку по-разному. Один сказал: «Выбрось эти фразы, они совершенно не нужны». Второй заметил: «Эти фразы — лучшие во всей статье». Что из этого следует? Во-первых, ясно, что автор, при всем внимании к критике, в общем необходимой и часто полезной, не должен забывать о многообразии оценок и вкусов читателей, а поэтому не должен заглушать свой внутренний голос. Во-вторых, автору не следует мешать действовать в согласии со сказанным выше. Между тем редакторы (вообще работники редакций и издательств) у нас наделены, на мой взгляд, слишком большими полномочиями, нередко диктуют свои требования, считают, что «лучше знают», как нужно и как нельзя писать. Так и родились, пусть остроумные, но по сути горькие определения типа: телеграфный столб — это хорошо отредактированная сосна.

Проблема взаимоотношений между авторами, редакторами и читателями, безусловно, существует. Ограничусь сейчас лишь призывом к взаимной терпимости. Нарушений норм и правил русского языка, морали допускать нельзя. В остальном же свобода мнений, свобода в выборе стиля и формы совершенно необходимы. Утверждение «о вкусах не спорят» не представляется безусловным. Но допустимость и даже естественность различных вкусов и оценок несомненны.

О ЧЕМ ПОЙДЕТ РЕЧЬ

В жизни мы сталкиваемся с рядом трудных, иногда мучительных проблем. Естественно, их характер зависит от многого: возраста, ситуации в семье, окружения, здоровья, специальности, способностей, общественного положения — всего не перечислишь. Ниже я собираюсь коснуться лишь трех важных этапов на жизненном пути, причем в применении к сравнительно узкой прослойке — тем, кто хочет посвятить, а затем и посвящает свою жизнь естественным наукам, в первую очередь физике¹. Для определенности только физику и буду обычно упоминать.

Первый этап — выбор профессии. Даже тот, кто решил окончить полную среднюю школу и затем сразу пойти учиться в высшее учебное заведение, нередко еще не имеет четких устремлений и не знает, стать ли ему инженером, физиком, врачом или историком. Мы сталкиваемся и с худшей ситуацией — желанием окончить школу лишь для того, чтобы не пойти в производственно-техническое училище, а в вуз поступить такой, где конкурс поменьше. В результате немало оканчивающих вузы не обладают высокой квалификацией, а то и вообще не работают по специальности. Врезалась в память корреспонденция, в которой восхвалялась некая бабушка, получившая «на хранение» уже десятка два дипломов от своих потомков. В контексте можно было понять, что эти дипломы и нужны-то были только для престижа или в качестве приданого. В последние годы положение меняется: все лучше понимают, что квалифицированный рабочий ценнее и, вероятно, счастливее плохого инженера. Но это уже другая тема. Думаю же я сейчас о тех, кто имеет и необходимые способности, и желание окончить высшую школу, но плохо представляет себе будущее. Им нужно помочь выбрать правильный путь.

Второй важный этап в жизни такого молодого человека — выбор более узкой специальности в вузе. Нередко такой выбор труден и объективно, и субъективно. Заняться ли теоретической физикой, экспериментальной оптикой или биофизикой? Разница большая, а на третьем курсе физического факультета университета или некоторых других вузов (например, Московского физико-технического института) уже необходимо «определиться», пойти на какую-то специальную кафедру.

¹Проще было бы сказать, что речь пойдет об ученых-естественниках. Я, однако, испытываю буквально идиосинкразию к слову «ученый» и всячески стараюсь его не употреблять. В этом я далеко не одинок. Помню, как Л.Д. Ландау язвил: «Кот ученый — понятно, ученый муж — смешно».

Оба эти поворотных пункта — выбор профессии физика и более узкая специализация — для меня оказались тяжелыми. Я почувствовал себя «на месте» и по-настоящему начал работать только после того, как в 1938 г. окончил физфак МГУ и почти случайно занялся теоретической физикой. Потом тоже было немало проблем, трудностей и радостей (когда что-то получалось). Но в общем научная жизнь лет сорок катилась по установившейся колее: делал работы и доклады, писал статьи и книги. Но начиная с 60—65 лет характер деятельности все больше изменялся. Недаром в 60 лет можно уйти на пенсию, а возраст с 60 до 75 лет по наиболее распространенной у нас классификации возраста называется пожилым¹. Это весьма гуманное название отодвигает начало старости до 75 лет, но не снимает специфических проблем, встающих перед любым, вероятно, научным работником, достигшим пожилого возраста. На этом последнем, а в рамках настоящей статьи — третьем — этапе научной жизни также собираюсь остановиться. Предварительно, правда, коснусь и вопроса об изменении продуктивности с возрастом до 60 лет.

ШКОЛА

Положительные отзывы о школе слышишь редко. Как родители, так и школьники почти всегда чем-либо недовольны: тут и перегрузка занятиями, и плохие учебники или их нехватка, и плохие учителя и т.д. У меня, должен признаться, критика школы обычно вызывает некоторое раздражение. Объясняю это «житейским принципом относительности», в данном случае сопоставлением школы сегодня (точнее, за последние 50 лет) со школой, в которой учился сам. Очень уж мне не повезло: как раз на мои школьные годы пришлись ломка школы, различные «эксперименты». Кажется, не было обязательным и само посещение школы; во всяком случае, я поступил в 1927 г. в 4-й класс, а до этого учился дома. Не помню причин, приведших к такому почти немыслимому в наше время решению. Несомненно, родители хотели сделать «как лучше», возможно, их отпугивало тогдашнее состояние школы. Фактически, однако, в той московской школе, в которую я поступил (бывшая «французская гимназия»), сохранились вполне квалифицированные учителя. Они могли научить грамотно писать и освоить школьную математику. (Правда, преподавание литературы и истории носило по современным меркам анекдотический характер.) Была в нашей школе и физика, и некоторые другие предметы, что-то лучше, что-то хуже, но главная беда заключалась в том, что в 1931 г., когда я окончил семь классов, на этом все и оборвалось — «было признано», что полная средняя школа не нужна. Через несколько лет одумались — появились школы-десятилетки, но я так и проучился в школе только четыре года.

И вот в 15 лет нужно было выбрать жизненный путь. Помню, как это было трудно, даже мучительно. В семье особой помощи не было. Отец, высококвалифицированный инженер, на 53 года старше меня, наукой не интересовался. Братьев и сестер не было, т.е. отсутствовала среда, состоящая как из старших, так и из сверстников, которая столь важна при формировании вкусов, интересов в науке. К счастью, еще в школе появилось влечение к физике. Поскольку совсем не помню подробностей, придется сообщить, что у меня своеобразная память с высоким порогом — запоминается только то, что произвело сильное впечатление. Так, о физике первое четкое воспоминание — книга О.Д. Хвольсона «Физика наших дней»². Это была популярная книга о достижениях физики, о лице физики того периода. Сейчас научно-популярных книг много, а тогда было мало. Для меня же вообще была одна — книга Хвольсона, о которой вспоминаю с большой благодарностью.

¹ См., например, «Демографический словарь» (М., 1985).

² Хвольсон О.Д. Физика наших дней. Издание четвертое, просмотренное и дополненное. — М; Л.: ГТТИ, 1932. Первое издание вышло в 1928 г.

Быть может, именно она решила судьбу. Так или иначе, я не пошел в фабрично-заводское училище, а после полугода неопределенности поступил лаборантом в рентгеновскую лабораторию одного вуза. Там общался в основном с двумя другими лаборантами, бывшими на три года старше, они увлекались физикой и изобретательством (оба, кстати, стали известными физиками). Формально я в лаборатории немногому научился, но проникся чем-то более важным — интересом к работе, увлеченностью.

В 1933 г. поступление в университеты впервые за ряд лет стали проводить по открытому конкурсу. Я решил поступать и месяца за три подготовился. Вступительные экзамены на физфак МГУ сдал, но без блеска, и принят не был. Чувство обиды отсутствовало (досада — другое дело), ведь я понимал, что плохо подготовлен. Подождать год и вновь поступать не хотелось — я уже «разогрелся» учением. Поэтому поступил на заочный факультет МГУ, но не работал (как-то на это смотрели сквозь пальцы). Так, в третий раз пришлось учиться самому, и только в 1934 г. удалось перевестись на очное отделение. Формально времени я не потерял, окончил физфак в 1938 г. в возрасте 22 лет, как и «полагается» даже сейчас преуспевающему молодому человеку. Но отсутствие нормального школьного образования мне даже через столько лет представляется сугубо отрицательным обстоятельством. Провести 10 лет в школе кажется счастьем, кажется, что успел бы так много... Быть может, это иллюзия, но именно отсюда проистекает желание сделать несколько замечаний о школе.

Речь идет именно о замечаниях (пусть это будет выступление «в порядке обсуждения»). Не буду повторять общеизвестных истин, касающихся роли и задач школы в общем развитии, духовном и физическом воспитании. Перечислю лишь четыре требования к школе, которые представляются мне особенно важными, скажем, для будущего физика.

Во-первых, должна быть обеспечена грамотность, т.е. умение писать без ошибок и литературным языком, ясно излагать свои мысли. Какой-то опыт будет приобретен и в вузе, например, в процессе писания курсовых работ, научных статей и диплома. Но главное должно быть заложено в школе. Та подготовка, которую получил я в школьные годы, не обеспечила грамотности. В 1934 г. на втором курсе университета у нас был диктант, и около половины студентов, в том числе и я, получили неудовлетворительную оценку. Потом у нас проводились занятия по русскому языку, но они мало что дали. Нужны тренировки, тренировки плюс требовательность. Все это может и должна обеспечить школа. Мне же приходится смотреть в словарь, думать над построением даже простых фраз, проверять написанное. Стараюсь побольше давать печатать на машинке. Но разве обязана машинистка исправлять ошибки, и можно ли уповать на это?

Как видите, я себя не щажу, делаю это с единственной целью — подчеркнуть, сколь недопустимо либеральничать в вопросе о грамотности. Между тем сплошь и рядом приходится сталкиваться с «успешно» окончившими десятилетку и вуз, но не умеющими как следует писать. В подавляющей части случаев это не результат отсутствия способностей к языку (бывает и такое), а следствие плохого обучения. Вспоминаю разговор с одним физиком, который очень хорошо писал (он был автором учебника и ряда статей). На вопрос, как он научился так писать, последовал контрвопрос: «Как часто Вы писали в школе сочинения?». Я ответил, что примерно раз в две недели. «А я писал сочинения шесть раз в неделю» — мой собеседник до революции учился во французской гимназии или лицее в Швейцарии, где его семья находилась в эмиграции. Знания, которые полагается вынести из школы в области литературы и истории, нужны. Нельзя, однако, допускать, чтобы они приобретались за счет грамотности. В конце концов, с историей и литературой можно знакомиться в любом возрасте, а недостаток грамотности после школы обычно не устранишь.

Во-вторых, школа должна обеспечить автоматизм в области элементарной математики. Имею в виду быстрый счет, навыки в арифметике, алгебре, тригонометрии, использова-

ние простых ЭВМ. Это достигается опять тренировкой плюс требовательностью. Школьнику скучно склонять и спрягать, учить грамматические правила, много раз решать почти одинаковые задачи и делать преобразования, которые уже в принципе ясны. Поэтому-то я, когда овладевал программой трех классов за три месяца, решил, скажем, 100 задач вместо 1000, которые решил бы в школе. Результат — отсутствие автоматизма — ощущаю всю жизнь. Поэтому-то я советую не экономить время на сокращении числа задач, примеров, упражнений. Это — лжеэкономия. Лучше рациональнее сокращать программу, не вводя в нее многого из того, что будет изучаться в вузе.

Третье, пусть не требование, а пожелание — еще в школе овладеть английским языком. До второй мировой войны в физике доминировал немецкий язык, сейчас даже издающиеся в ФРГ физические журналы печатают статьи в основном по-английски. Именно английский язык стал международным языком науки, и его необходимо знать. Тратить в вузе на изучение языка много времени нерационально, нужно лишь совершенствоваться (например, научиться писать по-английски научные статьи).

Четвертое, и последнее, замечание — предоставить ученикам возможность выйти за рамки школьной программы, прикоснуться к современному состоянию науки. Этой цели служит журнал «Квант», многочисленные выпуски его библиотечки, ряд научно-популярных журналов. Но на совет ознакомиться с этим факультативным материалом школьники отвечают: «А где взять время, так много задают на дом». Это и верно, и неверно. На то, что действительно интересно, время найдется. Но трудно увлечься, не преодолев какого-то барьера. Нельзя научиться плавать, не входя в воду, а туда не очень-то тянет тех, кто не умеет плавать. Здесь очевидна роль учителя-энтузиаста. Помогут и лекции или беседы квалифицированных людей, не предусмотренные никакой программой. Когда моя внучка училась в школе, я предлагал прочесть у них лекцию по физике или астрофизике. Уверен в том, что части школьников это было бы интересно, могло бы дать какой-то толчок, пусть лишь побудило бы прочесть какие-либо статьи или книжки. Но в школе так и «не нашлось времени» организовать такую лекцию.

Когда я все это писал, то до какой-то степени потерял чувство реальности и начал фантазировать на тему: что было бы, если бы мог все начать сначала. Гипотетическому В.Л. Гинзбургу следовало бы реализовать ту программу, которую я пытался набросать выше. Но боюсь, предоставленный самому себе, я всячески увиливал бы от всего, что не люблю: изучения грамматики и правил орфографии русского и английского языков, от всего, что нужно заучивать. Но в нормальной школе все это преодолел бы и поступил на физический факультет (другой выбор кажется немыслимым) несравненно лучше подготовленным.

Конечно, далеко не все в судьбе зависит от подготовки. Однако весьма вероятно, что «при прочих равных условиях» гипотетический В.Л. Гинзбург избежал бы многих трудностей, больше успел бы сделать, был бы счастливее...

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Заочное обучение на первом курсе физфака в целом было аналогично самостоятельному овладению программой старших классов школы. Ограничусь одним примером. Каким-то образом мне удалось перевестись на второй курс очного отделения, не сдав астрономию. Возможно, на заочном отделении об этом предмете забыли, на очном же небольшой курс астрономии читали, и мои товарищи вспоминали о нем с удовольствием. Я как-то даже не заметил, что совсем не знаком с астрономией. Но в 1946 г. сначала увлекся радиоастрономией, а потом и другими новыми областями: астрофизикой космических лучей, гамма-астрономией. Сделал на астрофизические темы много работ. За границей вообще многие считают меня астрономом, поскольку знают по астрономическим работам, видели и слышали на международных конференциях. Но я так и не удосужился как следует

познакомиться с картой звездного неба. И когда знакомые спрашивают, что это за звезда или созвездие, мне остается только сообщить о своей неграмотности в элементарной астрономии. Это скорее смешно, но не даром сказано, что от великого до смешного один шаг. Тот факт, например, что о существовании сверхновых звезд и их оболочек я узнал с большим опозданием, существенно помешал самой работе.

Все эти жалобы, возможно, уже раздражающие читателей, продиктованы одним чувством — сожалением об упущенных возможностях. Придумать (вернее, предсказать) какой-либо эффект или неизвестное явление, объяснить природу уже наблюдавшихся — вот самое большое счастье, которое пришлось испытывать в науке. А как это происходит? Многое зависит от склада ума. В общем нужно, пусть поверхностно, но знать побольше о разном, иметь время думать и фантазировать, а значит, быть подготовленным так, чтобы зря не тратить драгоценное время, уметь его эффективно использовать.

На физфаке МГУ, когда я там учился с 1934 по 1938 г., «эксперименты» типа бригадного метода и приема не по конкурсу были уже в прошлом. Обучение происходило привычным путем. Главное же, имелись хорошие лекторы, работали (причем не по совместительству) видные физики. Сам я без колебаний отдал свои симпатии Л.И. Мандельштаму и его окружению (И.Е. Тамму, Г.С. Ландсбергу, С.Э. Хайкину, М.А. Леонтовичу), хотя на физфаке имелись и другие квалифицированные специалисты. Неплохо преподавалась и математика, существовала связь с механико-математическим факультетом (мехматом).

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ. ТЕОРЕТИКИ И ЭКСПЕРИМЕНТАТОРЫ

Учился я хорошо и с удовольствием; некоторый кризис наступил при выборе кафедры для специализации. Это очень ответственный момент, причем мне трудно предложить какие-то принципы выбора. Если физика увлекает, то чем же оптика хуже или лучше кристаллофизики, радиофизики или физики полупроводников? Пожалуй, можно выделить физику высоких энергий как посвященную наиболее таинственным проблемам, «переднему краю» физики. И еще имеется существенное различие между экспериментальными и теоретическими специальностями¹.

Физика — наука о свойствах и строении материи, об общих закономерностях явлений природы. Ясно, что она просто немыслима без экспериментов или наблюдений природных явлений. Однако одного накопления фактов недостаточно для понимания явлений, нужен их анализ, в том числе количественный, математический. Последним и занимается теоретическая физика, выявляющая единство ряда внешне различных явлений, дающая математическую формулировку физических представлений и законов, анализ следствий из них. Нет физики без экспериментов и наблюдений, нет ее и без теории. Всем известными разделами теоретической физики являются классическая (ньютоновская) механика, квантовая механика, теория электромагнитного поля, общая теория относительности, статистическая физика.

Встречающееся недоразумение N 1 связано с отождествлением теоретической физики с ее высшим эшелонem. Например, считается, что на физических факультетах теоретическая физика преподается лишь начиная с третьего курса или даже позже и отражена в таких предметах, как, скажем, квантовая механика. Фактически же теоретические представления и законы физики излагаются уже в школе. Курс общей физики доминирует на первых курсах физфаков, но теоретическая физика в нем представлена широко и глубоко.

¹Некоторые недоразумения, имеющиеся в понимании этого различия, я осознал, когда писал статью о курсе теоретической физики Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица. См. статью «Курс» в настоящем сборнике (с. 336).

В общем, теоретическая физика — органическая часть физики, которую должен знать и использовать всякий физик — иначе он вообще не физик.

Недоразумение N 2 состоит в каком-то противопоставлении физиков-экспериментаторов и физиков-теоретиков, причем работа теоретиков иногда представляется более важной, определяющей. На самом деле теоретики и экспериментаторы просто не могут существовать друг без друга, да и подобное деление достаточно условно. Существует и терминологическая путаница: теоретиками иногда называют не всех, кто специализируется в теоретической физике, а лишь занимающихся ее наиболее математизированными разделами: квантовой теорией поля, общей теорией относительности и т.д. Физиками-теоретиками сейчас нередко называют и специализирующихся в области так называемой математической физики.

В XIX в. физиков было в тысячи раз меньше, чем сегодня, гораздо меньше было материала (областей физики, фактов, теоретических представлений), несравненно проще была техника эксперимента. Не существовало и сколько-нибудь четкого деления на экспериментаторов и теоретиков, хотя в зависимости от склонностей и способностей одни физики больше экспериментировали или наблюдали, другие теоретизировали. В наш век положение изменилось, и все чаще и шире происходит разделение труда. Вместе с тем современный физик-экспериментатор может концентрировать свое внимание на обдумывании аппаратуры, ее расчете, обработке наблюдений, но сам уже не работает «руками», предоставляя это более молодым сотрудникам. В некоторых областях физики-теоретики тесно связаны с экспериментом, обрабатывают результаты измерений и т.п. В целом тем не менее орудие их труда — математика, включая использование ЭВМ. Какая нужна математика, зависит от задачи и ... удачи: понимание физической сущности вопроса нередко позволяет использовать простую модель или работать в разумном приближении, допускающем применение несложного математического аппарата.

Способности к математике, музыке, шахматам выявляются довольно рано. Способности к физике как-то скрыты, по-настоящему проявляются только на деле. Даже такие гиганты, как А. Эйнштейн и Н. Бор, вовсе не блистали в школьные и студенческие годы. Бывает, правда, что уже в юности видны выдающиеся способности к теоретической физике (вспомним В. Паули и Л.Д. Ландау). Но будем ориентироваться не на исключительных людей, а просто на профессионально пригодных. Тот, кто, добравшись до третьего курса физфака, хорошо и без чрезмерного напряжения усваивает материал, утвердился в желании заниматься именно физикой, имеет все шансы стать квалифицированным физиком. Если есть вкус к эксперименту, целесообразность выбора экспериментальной специальности очевидна. Кстати, и на кафедрах, экспериментальных по названию, иногда предлагают теоретические задачи, пусть и тесно связанные с экспериментом. Но даже если начать с экспериментальной работы, это не значит, что закрываешь себе возможность заниматься теорией, а в будущем стать «чистым» теоретиком.

К последней категории принадлежу я сам. В университете выбрал оптическую специальность, но, окончив физфак, стал теоретиком. Мой пример свидетельствует, что в теоретической физике можно работать, так сказать, с физическим уклоном, без больших математических способностей и знаний. Однако вступить на такой путь непросто — должна найтись подходящая задача, нужна моральная поддержка¹. Такое нельзя запрограммировать. Напротив, если студент-физик имеет математические способности, вычисляет с удовольствием, да еще не любит «работать руками», у него имеются все основания сразу пойти в теоретики. Правда, в случае «фронтных» направлений (квантовая теория поля и др.) риск представляется мне довольно большим. Но речь ведь идет о 20-летних: в случае неудачи есть еще время перестроиться. Многое при выборе специальности зависит, очевидно, от конкретной обстановки. Я знаю ее лишь на физтехе (МФТИ), где с 1968 г.

¹Подробнее об этом см. статью «Об Игоре Евгеньевиче Тамме» в настоящем сборнике (с. 272).

заведую созданной тогда на факультете общей физики кафедрой «Проблемы физики и астрофизики». Система физтеха довольно хорошо известна, поэтому ограничусь замечанием, что базой упомянутой кафедры служит Отдел теоретической физики им. И.Е. Тамма Физического института им. П.Н. Лебедева АН СССР (ФИАН). В конце третьего курса мы проводим вступительный экзамен для всех желающих. В основу экзамена положена некоторая программа по классической электродинамике (теория поля), сообщаемая заранее (она просто вывешивается за один-два месяца до экзамена). На экзамене предлагаются задачи в рамках программы, задаются и различные вопросы. Приходит на экзамен человек двадцать-тридцать, из них мы отбираем пять-десять (некоторые отбираются условно, считаются кандидатами — им дают дополнительные задания для проверки). В результате с четвертого курса у нас каждый год имеется обычно пять-десять человек, которых мы и готовим. Каждый из студентов имеет руководителя, ему предлагается тема для исследования. Помимо общих для всего факультета лекций нашей группе (формально — это половина группы) читаются и специальные курсы. Большое значение в подготовке я придаю участию в еженедельном общемосковском семинаре по теоретической физике. Не скрою, что это мое любимое детище, проводится семинар уже почти 30 лет, 1985 г. был закончен 1108-м заседанием. На семинар приходит в среднем 150—200 человек со всей Москвы, посещают и докладывают на семинаре и «гости столицы», как иногда называют приезжих. Целей у семинара несколько, одна из них — информация о последних достижениях в физике и астрофизике.

Что касается тем для научной работы студентов, то они в значительной мере определяются интересами, а следовательно, и возможностями преподавателей кафедры. Фактически темы концентрируются в области физики плазмы, космологии, общей теории относительности, астрофизики космических лучей, физики Солнца, взаимодействия излучения с веществом. Иногда давались и даются темы из других областей. К руководству привлекаются и не сотрудники кафедры: диктуется это интересом, проявленным тем или иным студентом и, конечно, согласием соответствующего руководителя¹. За первые 17 лет работы кафедру окончили (и практически все успешно) 107 человек. Аспирантуру кафедры окончили 34 человека, почти все защитили кандидатские диссертации, а пять человек уже стали докторами физико-математических наук. В общем, мы готовим квалифицированных людей, производящих доброкачественную «продукцию».

Однако для достижения этой цели нужно затрачивать, как ясно уже из сказанного, много усилий, нужны условия, имеющиеся далеко не везде. Между тем наблюдается некоторое насыщение физиками, а ускорение научно-технического прогресса требует в первую очередь повышения качества. Таким образом, проблема отбора и подготовки высококвалифицированных физиков, и в частности физиков-теоретиков, остается актуальной и все время должна анализироваться с учетом обстановки.

С.И. Вавилов, помню, не раз повторял: «Теоретик — курица, которая несет золотые яйца». Верно, мощь и возможности теоретической физики огромны, причем не нужна дорогостоящая аппаратура (иногда, правда, необходимы ЭВМ). Но верно и то, что могущих нести золотые яйца нужно найти и еще немало потрудиться, чтобы такие яйца действительно появились.

¹Начиная с 1988 г. на кафедре начали (частично за счет астрофизического направления) готовить специалистов и в области теории сверхпроводимости. (Примеч. автора к настоящему изданию).

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОДУКТИВНОСТИ НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ ОТ ВОЗРАСТА (ДО 60 ЛЕТ)

Широко распространено мнение, что количество (объем) и качество «продукции» физиков и вообще научных работников в области естественных наук достигает некоторого максимума в довольно раннем возрасте, а затем быстро уменьшается. Отсюда и афоризм: «Physics is the game of the young» (физика — игра молодых). Статистика, казалось бы, подтверждает сказанное. Так, в классической монографии Г. Лемана «Возраст и достижения» для многих специальностей и на довольно большом материале выявляется возраст, в котором получены существенные научные результаты¹. Вывод при этом делается такой: больше всего открытий и значительных достижений физики делают в возрасте 30—34 лет. То же относится к математикам, специалистам по электронике, изобретателям. Для химиков максимум приходится на 26—30 лет, для астрономов — на 35—39 лет и т.д. К 60 годам продуктивность (число достижений) падает в два-три раза по сравнению с максимальной. Данные вроде бы достаточно ясные.

Однако фактически это не так, поскольку не было учтено распределение самих научных работников по возрасту².

Действительно, несколько столетий вплоть до недавнего времени наука развивалась по экспоненциальному закону — так росло число людей, объем продукции (число публикаций) и т.д. В результате доля молодых людей, работающих в науке, возрастала, в силу чего зависимость продуктивности от возраста нельзя определять так, как это сделал Леман. Необходимо устанавливать число достижений отдельно для каждой возрастной группы.

Поясню это на примере, предложенном С. Коулом (табл. 1). Числа, стоящие во втором и третьем столбцах таблицы, выдуманы, взяты для примера. В предпоследнем столбце указан процент сделавших важные открытия, условно говоря, по Леману, т.е. путем деления числа физиков, сделавших важные открытия в каждой возрастной группе, на их полное число (на 1250). В последнем столбце процент определяется (условно — по Коулу) путем деления на число физиков в той же возрастной группе. Пример почти детский, но из него очевидно, что заключение о том, будто важные открытия делаются в основном в молодые годы, может в принципе целиком объясняться молодостью большинства физиков, а не падением их продуктивности с возрастом. Итак, зависимость продуктивности от возраста разумно определять для каждой возрастной группы в отдельности. Так Коул и поступает: для шести специальностей (физики, математики, химии, геологии, психологии и социологии) в зависимости от возраста приводится среднее число публикаций научных работников за некоторый пятилетний период. Для оценки важности (качества) публикаций указывается, согласно индексу цитирования (Science Citation Index), среднее число ссылок на них, появившихся в литературе за один год через пять лет после опубликования.

Эти данные приведены в табл. 2 только для физиков и для всех шести упомянутых специальностей вместе взятых (использовались сведения о 2460 научных работниках, из них физиков 592). До 60 лет продуктивность остается почти неизменной. Некоторый максимум приходится на 40—44 года, т.е. на 10 лет позже, чем по данным Лемана, и, главное, максимум столь неярко выражен, что вполне может иметь какое-то побочное происхождение. На основании того материала, с которым я ознакомился³, а также собственных наблюдений я склонен согласиться с выводами Коула: по крайней мере, в тех науках, которые были мной упомянуты, до 60 лет возраст довольно слабо сказывается на науч-

¹ *Leman H.C. Age and achievement. — Princeton, 1953.*

² *Cole S. Age and scientific performance // Amer. J. Sociology. — 1979. — V. 84, N 4. — P. 958—973.*

³ Помимо монографий Г. Лемана и С. Коула упомяну также: *Пельц Д., Эндрюс Ф. Ученые в организациях. — М., 1973.*

Таблица 1

Гипотетические данные о продуктивности физиков разного возраста

Возраст (в годах)	Общее число физиков	Число физиков, сделавших важные открытия	Процент физиков, сделавших важные открытия	
			по Леману	по Коулу
До 30	5000	500	40	10
30—39	4000	400	32	10
40—49	2000	200	16	10
50—59	1000	100	8	10
60 и старше	500	50	4	10
Полное число	12500	1250		

Таблица 2

Возраст и научная продуктивность

Научная продук- тивность	Возрастная группа (годы)						
	До 35	35—39	40—44	45—49	50—59	60 и более	Все воз- расты
Физики							
Среднее число пуб- ликаций за пять лет	4,5	5,3	6,2	5,6	4,4	3,4	5,1
Среднее число ссылок на эти публикации	11,2	15,1	10,8	6,8	7,4	15,9	11,5
Шесть специальностей							
Среднее число пуб- ликаций за пять лет	6,1	6,8	7,7	6,3	5,9	4,6	6,4
Среднее число ссылок на эти публикации	7,5	8,8	9,1	6,4	5,7	6,3	7,5

ной продуктивности. Правда, по числу публикаций какой-то спад после 50 лет замечен, но само число публикаций не может считаться достаточно ярким показателем научной продуктивности (например, из табл. 2 следует, что число ссылок для возрастной группы физиков 50—59 лет даже выше, чем для 45—49 лет).

Важную оговорку необходимо сделать в отношении особенно крупных открытий и достижений. В этом случае как по данным Лемана, так и на основании хорошо известных примеров максимум продуктивности явно приходится на более молодые годы¹. Несомненно, это показательно, но при анализе зависимости продуктивности и качества работы всей массы научных работников от возраста было бы совершенно неправильно ориентироваться на гениев или людей с очень ярким, исключительным талантом. Не следует забывать, что таких людей крайне мало. В каждой области, в каждый период их обычно можно пересчитать по пальцам. Различные критерии оценки продуктивности и важности достижений, использованные Леманом и Коулом, затрудняют, разумеется, сопоставление их выводов.

¹Так, А. Эйнштейн свои знаменитые работы по частной теории относительности и некоторые другие сделал в 1905 г. — в возрасте 26 лет; создание общей теории относительности он завершил в 36 лет. Н. Бору, когда он предложил в 1913 г. теорию атома, было 28 лет. П. Дирак открыл релятивистское волновое уравнение для электрона в 26 лет (1928 г.). Э. Шредингер и М. Планк свои наиболее важные работы выполнили в более позднем возрасте — соответственно в 39 лет (1926 г.) и в 42 года (1900 г.).

Думаю, заключение Коула все же справедливо в отношении массы научных работников, т.е. некоего «среднего, но вполне квалифицированного» специалиста.

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ ПО ВОЗРАСТУ

Проблема зависимости научной продуктивности (а также активности и работоспособности) от возраста не только любопытна и интересна, но имеет актуальное значение для развития науки и техники и с точки зрения возможностей ускорения научно-технического прогресса. Действительно, долгие годы у нас (да и во всем мире) наблюдался быстрый рост числа научных работников. Так, в Академии наук СССР в 1937 г. это число составляло около 3 тыс., а к началу 1985 г. равнялось уже 54 тыс. В некоторых областях, особенно в физике, рост был еще быстрее. К сожалению, я не располагаю достаточно подробными сведениями на этот счет¹. Поэтому приведу, пусть и весьма частные, но зато точные сведения, касающиеся Отдела теоретической физики ФИАН СССР. Этот отдел в 1934 г., с переездом Академии наук в Москву, был организован И.Е. Таммом (1895—1971) и сейчас носит его имя. До и во время войны в отделе работало пять-шесть человек, в 1945—1946 гг. начался его рост. Ограничусь периодом 1960—1985 гг. (соответствующие сведения отражены в табл. 3). В 1985 г. в отделе работали 51 научный сотрудник, имелось несколько стажеров и аспирантов, а также инженеров, ведущих научную работу. В 1985 г. 17 из 21 младших научных сотрудников имели кандидатскую степень. Среди старших научных сотрудников лишь шесть — кандидаты наук, остальные доктора (в числе последних единственная женщина); заведующие секторами — доктора наук; к числу докторов наук относятся академики и члены-корреспонденты (в 1985 г. в отделе работали три академика и три члена-корреспондента АН СССР).

Таблица 3

Число научных сотрудников Отдела теоретической физики ФИАН СССР и их средний возраст

Год	Все научные сотрудники		Младшие научные сотрудники		Старшие научные сотрудники		Заведующие секторами	
	Число	Возраст	Число	Возраст	Число	Возраст	Число	Возраст
1960	15	37,2	4	32	8	34,1	3	52,3
1965	19	38,7	6	29,3	10	38,8	3	57,3
1970	27	40,5	10	31,3	12	42,4	5	54,4
1975	32	41,1	13	32,8	12	43,6	7	52
1980	41	42,6	16	33,7	17	44,6	8	56,1
1985	51	44,3	21	34,6	22	47,5	8	61,1

Отдел пополняется исключительно за счет молодежи в возрасте 25—27 лет; в последние годы он растет примерно на 4% в год (увеличивается на два человека в год). Такой

¹ Некоторые данные приведены, например, в книге: *Шелищ П.Б.* Динамика науки. — Л., 1981. Согласно этим данным, в 1979 г. у нас было 1340,6 тыс. научных работников с ежегодным приростом в 2% (последнее значение существенно ниже, чем за предшествующие годы; например, в 1960, 1965, 1970, 1975 и 1978 гг. прирост составил 14,2; 8,6; 4,8; 4,6 и 2,6% соответственно). В 1972 г., когда было 1056 тыс. научных работников, они распределялись по возрасту так: до 29 лет — 16,3%, в интервале 30—40 лет — 46,3%, в интервале 41—50 лет — 24,7% и в возрасте 51 года и старше — 12,7%.

Согласно брошюре «Динамика научных кадров СССР (квалификационная структура)» (ИНИОН АН СССР, 1985), сейчас у нас около 1,5 млн. научных работников. В 1982 г. их было 1431,7 тыс., в том числе 423,0 тыс. кандидатов наук и 39,7 тыс. докторов наук (около 2,8%).

Ряд сведений и замечаний, касающихся научных работников пожилого возраста, содержится в книге: *Сонин М.Я., Дыскин А.А.* Пожилой человек в семье и обществе. — М., 1984; в частности, см. с. 126—131.

рост представляется минимальным, необходимым для нашего отдела. Но и в этом случае, если никто не покинет отдел, средний возраст сотрудников в год будет возрастать примерно на три месяца. Непрерывное «старение» почти всех категорий научных работников за последние 25 лет ясно видно и из табл. 3. И это при росте за 25 лет общего числа сотрудников более чем в три раза! Можно думать, что эти цифры довольно типичны для многих других отделов и лабораторий. В силу медленности снижения продуктивности с возрастом вплоть до 60 лет происходившее до сих пор увеличение среднего возраста сотрудников, как мне кажется, еще заметно не сказалось на работе. Впрочем, значительно больший приток молодежи все равно был бы весьма полезен для дела.

Однако на это нельзя рассчитывать; напротив, в академических институтах Москвы, по-видимому, достигнуто насыщение по численности. Более того, новое штатное расписание, вводимое в 1986 г. и связанное как с созданием новых категорий должностей (научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, главный научный сотрудник), так и с возможностью увеличивать зарплату (в основном более молодым научным сотрудникам), побуждает к сокращению штатов. На словах сокращать штат академических институтов, быть может, и нетрудно, но в реальных условиях неясно, как это делать. Необходимо обеспечить трудоустройство (отвлечемся сейчас от лиц пенсионного возраста). Переход из одного академического института в другой не решает проблемы в целом, да и вакансий, как правило, нигде нет (вне Москвы и Ленинграда ситуация с вакансиями, по-видимому, лучше, но переезд в другие города сопряжен с рядом трудностей). Переходить, таким образом, нужно в научно-исследовательские учреждения в народном хозяйстве, в вузы, техникумы и школы. Такая тенденция разумна и прогрессивна, но «самотеком» проблему не решишь, переход нужно организовать, позаботиться о людях. Мне не известны какие-либо меры, предпринимаемые в этом направлении. К счастью, в рамках настоящей статьи я могу не развивать эту малоприятную тему.

Но еще одно замечание нельзя не повторить. Насыщение академических и ряда других учреждений научными кадрами делает особенно острой проблему отбора молодых людей, приходящих в науку. Чем меньше вакансий, тем, очевидно, тщательнее нужно отбирать наиболее профессионально пригодных. Между тем академическая аспирантура совершенно не отвечает этим требованиям, которые могут быть удовлетворены только при наличии открытого всесоюзного конкурса в академическую аспирантуру. Об этом я говорю (даже кричу!) и пишу¹ уже 10 лет, но результатов пока нет.

ПОСЛЕ 60 (О НАУЧНЫХ РАБОТНИКАХ СТАРШИХ ВОЗРАСТОВ)

В 60 лет научный работник, как и всякий человек, становится лицом пожилого возраста и в нашей стране может уйти на пенсию (женщины — на пять лет раньше). Возможность перехода на пенсию — огромное социальное завоевание. Представляется правильным как выбор пенсионного возрастного порога (55 и 60 лет), так и отсутствие, за некоторыми исключениями, дифференциации в зависимости от профессии, должности и т.д. Совершенно очевидно, что с возрастом падают работоспособность, продуктивность, возможность «работать по-прежнему». Многое, конечно, зависит от здоровья, наследственности, поэтому различают календарный и биологический возрасты². Но в среднем они должны совпадать, и я не буду их различать. Для данного возраста работоспособность и продуктивность зависят от специальности, характера деятельности. Научные работники находятся, конечно,

¹ Гинзбург В.Л. // Известия. — 1976, 8 сент.; Лит. газета. — 1984, 7 марта, 1 авг.; Вестн. АН СССР. — 1976. — N 9. — С. 56—58; 1985. — N 6. — С. 46—47.

² Биологический возраст «определяется состоянием обмена веществ и функций организма, а также соответствием этих процессов возрастным нормам человеческой популяции» см. сноску на с. 225).

в благоприятном положении по сравнению с теми, от кого требуются большие физические усилия. Для дальнейшей дифференциации в зависимости от профессии у меня нет достаточных данных, хотя в упоминавшейся книге Немана собран довольно большой фактический материал (в частности, сведения о продуктивности в разных возрастах в зависимости от продолжительности жизни; еще раз подчеркну, что критика выводов Лемана, которая была приведена выше, следуя Коулу, имеет ограниченное значение, в основном в силу разных критериев определения продуктивности и достижений). Поэтому сделаю лишь несколько замечаний.

По данным, которые удалось извлечь из «Демографического словаря»¹, в СССР в 1970 г. людей старше 60 лет было 11,8% всего населения, а уровень долголетия (отношение числа людей в возрасте 80 лет и выше к людям в возрасте 60 лет и выше) составлял примерно 7—12% (для мужчин в городах 6,7%, в сельской местности 10,2%; для женщин соответственно 9,6 и 12,3%). Значит, людей старше 80 лет было около 1% всего населения. Число долгожителей (в возрасте 90 лет и выше) было 0,123%, а старше 100 лет, по-видимому, около 0,004%. Вероятно, за последние 15 лет процент людей старших возрастов повысился.

Любопытно сравнить приведенные цифры с возрастным составом Академии наук СССР по данным на 5 мая 1985 г. (табл. 4). В этой таблице в первой строке (50) указано число всех академиков или членов-корреспондентов в возрасте 50 лет и выше, т.е. родившихся в 1935 г. и ранее (для простоты учитывался лишь год рождения)². Аналогичный смысл имеют данные в строке 60 и т.д. Средний возраст академиков 69,9 года, а для членов-корреспондентов он равен 63,1 года.

Таблица 4

Возрастной состав членов АН СССР (по данным на 5 мая 1985 г.)

Возраст ≥	Академики	Процент к общему числу академиков (284)	Члены-корреспонденты	Процент к общему числу чл.-корр. (549)
50	280	98,6	510	92,9
55	261	91,9	426	77,6
60	226	79,6	302	55
65	195	68,7	220	40,1
70	157	55,3	175	31,9
75	110	38,7	91	16,6
80	54	19	34	6,2
85	15	5,3	18	3,3
90	3	1,06	4	0,73
95	1	0,35	2	0,36
100	0	0	0	0

Нельзя считать, что табл. 4 непосредственно отражает возрастной состав квалифицированных научных работников, поскольку их число меняется со временем, изменяется и состав Академии. Тем не менее приведенные в ней данные довольно показательны. Особенно важно, что почти 80% академиков и 55% членов-корреспондентов относятся уже к пожилому (60—75 лет) и старому (старше 75) возрастам. Ясно, что проблема работоспособности и

¹Этот словарь, изданный в 1985 г. (см. сноску на с. 225), ярко демонстрирует, к какой потере информации приводит абсурдное засекречивание различных статистических данных, практиковавшееся до «перестройки». (Примем, автора к настоящему изданию.)

²За помощь в составлении табл. 3 и 4 признателен Ю.А. Успенскому и И.И. Мазину. На 1 января 1990 г. средний возраст академиков был равен 69,5 года, а для членов-корреспондентов он составлял 63,7 года (эти и некоторые другие сведения об АН СССР см. в статье автора «Демократия по-академически», опубликованной в газете «Известия» за 14 апреля 1990 г., московский выпуск).

продуктивности в этих возрастных группах не только интересна или любопытна, но и имеет актуальное значение для развития науки, поскольку члены Академии в большинстве случаев играют довольно видную роль в научной жизни и деятельности нашей страны. К сожалению, соответствующие данные, по-видимому, не проанализированы. Между тем как раз для членов Академии уже собран огромный фактический материал. Дело в том, что с 1940 г. систематически издаются «Материалы к биобиблиографии ученых СССР» — распределенные по годам библиографические справочники практически всех публикаций членов Академии (каждый выпуск посвящен одному человеку; всего опубликовано уже около 350 выпусков). Используя эти данные, легко выяснить число публикаций в зависимости от возраста, причем как с соавторами, так и без них. Из указателей можно почерпнуть и некоторые сведения, характеризующие «продукцию» (скажем, объем опубликованного материала, число статей в научных журналах и в других изданиях). Некоторой характеристикой качества или актуальности статей является, как известно, число появляющихся в литературе ссылок на них. Соответствующие сведения можно извлечь из индекса цитирования¹.

Разумеется, при анализе зависимости продуктивности от возраста не следует ограничиваться членами АН СССР; я хотел лишь подчеркнуть, что для этой категории научных работников старших возрастов материал в значительной мере уже собран, и можно только удивляться, почему он не используется.

В связи с отсутствием обработанных данных о других (да и независимо от этого) я попытался заняться «наукометрией» собственных публикаций и работ. Под «работами» понимаю статьи, иногда совсем короткие, но содержащие оригинальные результаты, а также обзоры, книги, некоторые опубликованные доклады. К числу «работ» не относятся научно-популярные статьи, некоторые заметки и статьи, в основном дублирующие опубликованное ранее, рецензии, предисловия, статьи в газетах и т.п. Деление, конечно, довольно условное. Для себя под «работой» понимаю публикации, включенные в список, который начал когда-то составлять по необходимости, а потом пополнял — такой список удобно иметь под рукой. В моем списке за период с 1939 по 1985 г. (т.е. за 47 лет) всего 315 работ; при этом ряд дублирующих или родственных статей фигурируют под одним номером. Следовательно, за год в среднем выполнялось 6,7 работы. С 1977 по 1985 г. (уже пожилой возраст) сделано 40 работ (в среднем 4,4 работы в год).

За эти же почти девять лет полное число публикаций, упомянутых в моих академических отчетах, равно 90 (в среднем десять в год; сюда включены, конечно, все работы, но не учтены предисловия к сборникам и книгам и т.п.). Полного числа публикаций за все годы я не знаю; если не считать мелочей, то их примерно в два раза больше числа работ². Замечу, что число работ и число публикаций довольно сильно флуктуируют — год на год не приходится (например, в 1985 г. я подготовил 14 публикаций, из которых семь можно считать «работами»; из последних, правда, четыре с соавторами).

Физик-теоретик в основном работает сам или с одним, редко — двумя соавторами. Я не исключение, совместных статей у меня меньше половины, но с возрастом их становится все больше. При анализе продуктивности и работоспособности вопрос о совместных публикациях особенно важен. Выявлять вклад соавторов совместной работы и трудно, и обычно некорректно. Вместе с тем критерии, которыми руководствуются при вхождении в авторский коллектив в разных областях и для разных людей, весьма различны. Поэтому вывод о высокой продуктивности некоторых руководящих научных работников, полученный на основе числа публикаций, может оказаться совершенно неверным. Рад

¹Об индексе цитирования как методе анализа научной деятельности см.: *Хайтун С.Д.* Что такое «цитат-индекс»? // *Природа*. — 1980. — № 3. — С. 40—51).

²Подробные библиографические сведения до 1977 г. содержатся в указателе: *Материалы к биобиблиографии ученых СССР. Сер. «Физика»*. — Вып. 21 / *В.Л. Гинзбург*. — М., 1978.

констатировать, что среди советских физиков-теоретиков «приписывание» к чужим работам в общем не практикуется. Кстати, нужно различать оригинальные работы и обзоры, популярные статьи и т.п. В первом случае (оригинальные работы) в число авторов может входить лишь тот, кому принадлежит идея работы (если эта идея нетривиальна) и ее обсуждение, или тот, кто непосредственно участвовал в ее выполнении (в вычислениях и обсуждении). Если речь идет о неоригинальной публикации, критерии допустимости соавторства более расплывчаты, но все равно появление фиктивных «соавторов» нельзя ни понять, ни оправдать. Последнее, а в какой-то мере и предыдущие замечания относятся и к экспериментаторам. В целом, однако, ситуация в этом случае сложнее. Сейчас эксперимент нередко проводится большим коллективом, встречаются статьи с десятками авторов. Здесь, несомненно, имеются некоторые трудности, но они мне недостаточно известны и ясны.

«НИЧЕГО ТАК НЕ СЛЕДУЕТ ОСТЕРЕГАТЬСЯ В СТАРОСТИ, КАК ЛЕНИ И БЕЗДЕЛИЯ» (ЦИЦЕРОН)

Сознательно или бессознательно почти все научные работники, кого пришлось наблюдать, руководствуются этим принципом, провозглашенным Цицероном. Те, кто сейчас старше 35–40 лет, в большинстве своем сталкивались в жизни с многими трудностями, привыкли тяжело и много работать (и, кстати, нередко не имели возможности и не научились хорошо отдыхать). Для них, если сохранились здоровье и интерес к науке, уход на пенсию не «заслуженный отдых», а почти трагедия. Для дела, для развития науки уход с работы вполне еще работоспособных и опытных людей также крайне невыгоден. Вместе с тем нельзя не считаться с возрастными изменениями и необходимостью освобождать место для молодых. Здесь мы сталкиваемся с подлинной проблемой, о которой нужно думать, решать ее.

Уже довольно давно существует институт «профессоров-консультантов», позволяющий работоспособным докторам наук и на пенсии продолжать работать, получая некоторую дополнительную зарплату. Штатное место при переходе на должность консультанта освобождается, высвобождается и существенная часть зарплаты. Должен быть узаконен и переход на половину ставки с сохранением пенсии. Такая система представляется мне прогрессивной. Неправильно, однако, ограничивать ее докторами наук. Проводимая сейчас переаттестация научных работников, переход на новую структуру должностей в значительной мере направлены как раз на то, чтобы больше внимания обращать на деловые качества, а не только на ученые степени. В полном согласии с таким совершенно правильным подходом нужно дать возможность продолжать в какой-то форме работать (скажем, на половине ставки, но с сохранением пенсии) и научным работникам — кандидатам наук.

Члены Академии наук СССР и других академий, насколько я знаю, весьма редко выходят на пенсию. Во всяком случае, их к этому не понуждают, мотивируя особенно высокой квалификацией. Но возраст властен над всеми. Поэтому вряд ли можно возражать против перехода на пенсию и членов академий, причем с предоставлением им возможности оставаться консультантами. Впрочем, допустимо разрешить очень небольшой категории лиц и в почтенном возрасте, если силы позволяют, не уходить на пенсию или, находясь на пенсии, сохранить небольшой сектор или лабораторию, скажем, для теоретиков — до 5–8 человек, для экспериментаторов — до 15 человек. Но чего, по моему убеждению, нельзя оправдать, так это возможности в любом возрасте (даже старше 85, а то и 90 лет!) оставаться директором института, иногда огромного. У нас же такие случаи известны (см. примечание в конце статьи).

На Западе также столкнулись с аналогичной проблемой, точнее, с необходимостью введения предельного возраста для замещения ряда должностей: профессоров, мастеров (президентов) колледжей и т.д. В результате во всех известных мне случаях (к сожалению, систематических сведений не имею) на Западе и в Японии введен безусловный предельный возраст для профессоров, занимающих кафедры, и для некоторых других категорий научных работников. Особенно важна безусловность этого правила, не допускающая исключений. В противном случае не избежать обид. В результате, например, даже великий физик П. Дирак в 66 лет (1968 г.) оставил свою кафедру в Кембридже и после этого часть времени жил в США, где до конца жизни (1984 г.) занимал, по-видимому, должность, аналогичную нашему профессору-консультанту (в англоязычных странах существует такое звание — *professor emeritus*). То, что с возрастом нельзя не считаться, осознала даже столь консервативная «организация», как католическая церковь. С недавних пор в Ватикане действует постановление о неучастии кардиналов старше 80 лет в конклаве — собрании кардиналов, избирающих нового папу. А ведь участие в конклаве считалось чуть ли не основной привилегией кардинального сана.

Я отнюдь не предлагаю в сколько-нибудь существенной мере использовать опыт Запада (а тем более Ватикана) для решения наших проблем, связанных с возрастом. Не вижу оснований для обязательной отставки по возрасту с любой должности, заведомо нет оснований и как-то ограничивать избирательные права членов Академии. Но необходим обязательный предельный возраст для замещения научных должностей, связанных с большой ответственностью и нагрузкой, причем он не должен допускать исключений (т.е. должен быть безусловным). Тогда заранее известно, когда, скажем, директор заведомо должен уйти, и это облегчает поиски преемника, исключает ряд сложностей.

Поскольку я сам не директор, то боюсь упрека в том, что делаю рекомендации по вопросам, меня лично не затрагивающим (а быть добрым или благородным за чужой счет не так-то трудно). Поэтому поясню, что я заведу сейчас большим отделом, несу ответственность почти за 100 человек. В таких случаях тоже необходим безусловный предельный возраст. Каким он должен быть? У меня нет достаточных данных, чтобы сделать на этот счет обоснованное предложение¹.

Обсуждаемые организационные вопросы важны, но еще важнее, да и сложнее анализ сути дела — симптомов и причин понижения продуктивности и работоспособности с возрастом, а также путей наиболее эффективного и рационального использования сил. Если не касаться болезней или «нормального» повышения утомляемости, то очевидны следующие причины уменьшения научной продуктивности с возрастом.

Во-первых, падение «творческих» способностей (слово «творчество» стало таким за-taskанным, что без кавычек обойтись трудно). Можно спорить, приводить в пример Микеланджело, Пикассо, Шагала. Но в физике даже великие люди, дожившие до старости и сохранившие ясность мысли, становились все же менее оригинальны и изобретательны, не работали как в молодости.

Во-вторых, уже в пожилом возрасте, не говоря о более позднем, нередко становится неинтересно работать над некоторыми темами, трудно вести сложные вычисления и т.д. В молодости тоже бывает трудно работать, иногда даже очень трудно, и это скорее правило, чем исключение. Важные результаты редко даются легко. Пусть идея и возникла мгновенно, ее ведь еще нужно реализовать, за озарением обычно следует труд, труд и труд. Но с возрастом исчезают некоторые стимулы, в частности падает то «здоровое честолюбие»², которое столь способствует преодолению трудностей.

¹См. примечание, помещенное в конце статьи.

²В «Словаре русского языка» СИ. Ожегова нет такого термина, а честолюбие определяется как «жажда известности, почестей, стремление к почетному положению». Честолюбие в таком определении тоже нередко играет важную роль в научной деятельности. Однако можно не жаждать почестей, но сильно стремиться получить важные результаты, стремиться к самоутверждению и признанию. Это я и называю

В-третьих, достижение «степеней известных» сопряжено, как правило, со всякими нагрузками и обязанностями, а поэтому времени для своей собственной работы становится все меньше. Разумеется, руководство научной работой других и научно-организационная деятельность необходимы, полезны и почетны. Если такая деятельность приносит удовольствие — тем лучше. Но многим, мне в том числе, подлинное удовольствие и удовлетворение доставляет лишь собственная работа, пусть это будет даже скромная научно-популярная статья. Одно из следствий подобной ситуации — то, что в выходные дни я обычно работаю. Вряд ли это должно быть нормой.

Поскольку я опять перешел на себя, отмечу, что испытываю затруднения, обусловленные не только третьей из перечисленных причин, но и первыми двумя. Позволю себе поделиться таким наблюдением. В прошлом я со скуки, во время болезни, в поезде, на лодке, играл в игру, которую неправильно называл «мозговой атакой»¹; брал часы и старался за 15—30 минут придумать какой-либо эффект, какое-либо возможное явление. И выходило, придуманные так эффекты (быть может, правильнее сказать — эффектики, ибо речь не идет о чем-то значительном) легли в дальнейшем в основу десятка работ. Не буду приводить конкретных примеров и ограничусь замечанием, что некоторые из них касаются эффекта Вавилова — Черенкова, переходного излучения и переходного рассеяния². Но вот уже лет десять ничего у меня из «мозговой атаки» не получается, перестал и пробовать. Или воображения не хватает, или не можешь достаточно напрячь внимание, или, наконец, иссяк запас того материала, образов, представлений, из которых конструируется что-то новое. Ответа дать не могу, но факт есть факт.

Один коллега, прочитавший рукопись в первом ее варианте, воспринял некоторые замечания (в первую очередь касающиеся «мозговой атаки») как жалобу на возраст. Мне это представляется не вполне верным. Разумеется, как и всякий другой, я был бы счастлив сбросить с плеч лет десять или более. Поскольку это невозможно, жалобы на возраст не только бессмысленны, но в известной мере и вредны. Они мешают понять, что с возрастом меняются способности, возможности и вкусы. Между тем такое понимание должно помочь трудиться с наибольшим эффектом.

Никогда я не любил вычислять, но приходилось, без этого физик-теоретик работать не может. То, чего не любишь, реже делаешь, поэтому со временем трудности еще больше возрастают.

Думаю, что в случае рождения идеи :— пусть только увлечения (идея может и «не пойти») — я еще сумел бы преодолеть немало трудностей. Ну, а если огонь не зажегся, зачем же заставлять себя работать? Есть, конечно, физики, которые решают разные задачи (конечно, не учебного типа) с удовольствием. Один из моих ныне покойных друзей говорил, что у него в таких случаях чувство мастера, обтачивающего детали. Понимаю такие чувства, даже завидую им. Но раз их нет, то ищешь работу другого типа. Впрочем, и в 1985 г. я выполнил одну «обыкновенную работу» физика-теоретика, ибо возникла небольшая идея. В остальном же писал доклады на две конференции, принял участие в четырех «работах» с соавторами, готовил новое издание своей книги, а также занимался публицистикой.

Л.Д. Ландау не раз подчеркивал, что нельзя, не нужно «работать на премию». Л.И. Мандельштам в разговоре со мной дал другой, тоже правильный совет, который перефра-

«здоровым» (или хорошим) честолюбием; без него добиться подлинного успеха в науке, измеряемого не премиями и почестями, а научными результатами, почти невозможно.

¹В литературе «мозговой атакой» («brainstorming») называют групповой метод решения проблем путем их свободного обсуждения. См., например, Проблемы научного творчества. Вып. 4. — М.: Изд. Ин-та научной информации АН СССР, 1985.

²См., например: Гинзбург В.Л. О теории относительности. — М., 1979. — С. 188, 212.

зирую здесь так: лет в 60—65, если станет трудно и(или) менее интересно решать задачи, придет время для философии, истории физики и т.п.¹.

Такой путь не только допустим, но и привлекателен. Меня, однако, всерьез и надолго заняться философией или историей науки не тянет. Впрочем, те заметки и статьи типа настоящей, которые я пишу, представляют собой нечто родственное, хотя их правильнее, по-видимому, отнести к жанру публицистики. Достоин упоминания и пример физиков-теоретиков, успешно возглавивших большие экспериментальные лаборатории. Правда, это делалось не в 60 лет, а раньше, но всерьез и надолго. Для некоторых физиков-теоретиков еще более привлекательным кажется «промежуточный» вариант — участие в интересной экспериментальной работе. Для меня такой работой могли бы оказаться поиски высокотемпературных сверхпроводников. К сожалению, на такой путь у нас очень трудно вступить в силу ряда причин житейского и организационного характера.

Труд бывает, правда, мучительным, но в общем (особенно когда работа идет) доставляет удовольствие. В этом важнейшем отношении старшие возрасты не составляют исключения, а способность работать может сохраняться очень долго, до конца. Этому есть много примеров, но я опять вспомнил о книге О.Д. Хвольсона, первое издание которой вышло в 1928 г., а четвертое, просмотренное и дополненное, в 1932 г., когда ее автору исполнилось 80 лет. А ведь это была «Физика наших дней (новые понятия современной физики в общедоступном изложении)». Поистине «в здоровой старости плохо только то, что и она проходит» (не знаю точно, кому принадлежит этот афоризм, который я дополнил словом «здоровой»; быть может, это и неудачно с литературной точки зрения, но заведомо верно по существу).

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Занятия наукой для тех, кто ее любит и профессионально пригоден к научной деятельности (нужно и то, и другое!), — большое счастье. Повезло научным работникам и в том отношении, что в отличие от некоторых других профессий они могут заниматься своим делом и в старших возрастах. Чтобы работа шла успешно, с максимальным эффектом, а вследствие этого приносила побольше удовлетворения, не следует плыть по течению, рассчитывать на слепую удачу. К тому же в пожилом возрасте возникают специфические нелегкие проблемы. Чем раньше удастся понять некоторые требования и условия плодотворной научной работы, тем легче будет потом — всю жизнь. В настоящей статье я пытался поделиться кое-каким опытом и соображениями на этот счет, как, впрочем, и рядом других замечаний. Удалась ли моя попытка, хотя бы в скромной мере? Хочу на это надеяться.

ПРИМЕЧАНИЕ К НАСТОЯЩЕМУ ИЗДАНИЮ

Статья была написана в середине 1986 г. В настоящем издании, если не говорить о нескольких словах, были лишь восстановлены некоторые немногочисленные замечания, имевшиеся в рукописи, но для сокращения объема выброшенные при публикации в журнале «Природа» (№ 10, с. 80, 1986 г.). Последние приводимые в статье данные относятся к 1985 г. Сейчас, в 1989 г., когда я готовлю настоящее издание, можно было бы «продвинуться» на три года вперед. Но книга выйдет не ранее 1991 г., и, таким образом, при принятых у нас (и не только у нас) темпах публикации книг стремление помещать в них

¹Об этом см. статью «Один совет Леонида Исааковича Мандельштама», помещенную в настоящем сборнике (с. 280).

самые последние сведения все равно неосуществимо. Впрочем, в отношении основного содержания настоящей статьи (да и книги в целом) я не вижу здесь большой потери. Ограничусь замечанием, что обсуждавшееся в статье введение предельного возраста при занятии административных должностей в 1988 г. было у нас, наконец, введено (для «рядовых» членов АН СССР этот возраст составляет 70 лет, а для членов Президиума АН СССР он равен 75 годам). К сожалению, эти правила, как и многие другие, строго не соблюдаются.

Замечу также следующее. В известном ежегоднике «*Annual Review of Astronomy and Astrophysics*», начиная с 1975 г. публикуются в качестве первой главы статьи автобиографического характера или, во всяком случае, не обычные научные обзоры — нечто среднее между автобиографией и воспоминаниями. В 1988 г. я получил предложение написать такую статью для сборника 1990 г., и уже в начале 1989 г. соответствующая моя статья «Заметки астрофизика-любителя» была в редакции (она опубликована в «*Ann. Rev. Astron. Astrophys.*» — 1990. — V. 28. — P. 1). Эта статья частично перекрывается с «Заметками по поводу юбилея», и уже по этой причине я решил ее не помещать в настоящем сборнике.

ОПЫТ НАУЧНОЙ АВТОБИОГРАФИИ

1. Введение

Для писателей прижизненное издание избранных произведений или даже собрания сочинений в нескольких томах является нормой (если, конечно, находится издатель). В научной среде, напротив, при жизни автора избранные труды издаются довольно редко. Последний известный мне пример — двухтомные избранные труды Я.Б. Зельдовича [1]. Основная причина такого различия заключается (трудно в этом сомневаться) в том, что художественные произведения в общем не устаревают или, во всяком случае, не теряют интереса (конечно, это относится только к подлинной литературе, а не к малохудожественным и конъюнктурным сочинениям, неоднократно издававшимся у нас огромными тиражами). Научные работы, напротив, обычно перекрываются и развиваются более поздними публикациями или же находят отражение в обзорах, монографиях и учебниках. Тем не менее публикацию собраний научных трудов отнюдь нельзя признать излишней. (Разумеется, опять возникает вопрос о качестве, но сейчас подразумеваются работы, оказавшиеся ценными, по крайней мере, когда они были опубликованы). В случае великих людей здесь и доказывать нечего, но и физики или представители других специальностей, рангом пониже также нередко сделали за свою жизнь немало полезного. Удобно иметь возможность прочесть их работы, не копаясь в старых журналах. Поэтому, а также с целью почтить память их авторов и издаются посмертно многочисленные собрания избранных научных трудов. А раз так, то почему же не принять участие в издании избранных трудов самому автору, пока он еще не отправился в мир иной? Но, по-видимому, это считается нескромным, да и далеко не каждый возьмется за такое очень трудоемкое дело. С другой стороны, прижизненное издание с участием автора, вообще говоря, должно быть значительно выше по качеству, чем посмертные издания. Коротко говоря, я нисколько не осуждаю Я.Б. Зельдовича за издание им своих трудов. Когда он дарил их мне, то заметил примерно следующее: «Тебе тоже скоро 70, вот и последуй моему примеру». И добавил: «Это два года жизни». Я.Б. не посвятил, конечно, целиком два года только составлению, редактированию и комментированию своих трудов [1], но ясно, что он проделал огромную работу. Кроме того, к этой работе было привлечено много других лиц. Совет Я.Б. показался мне, признаюсь, соблазнительным. Подведение итогов, начиная с известного возраста, довольно естественно. Однако я вскоре отказался от мысли издавать свои избранные труды: это огромная, тяжелая работа, да и привлечь к ней кого-то еще я бы, вероятно, не сумел. Наконец, не уверен в том, что такие «труды» в моем случае представят интерес, оправдывающий их издание. Другое дело, подумал я, при составлении настоящего сборника написать статью — нечто вроде проспекта к неизданным избранным трудам или вариант научной автобиографии — со ссылками на те свои работы, которые в какой-то мере ценю. Возможно, и даже вероятно, что и такой путь не всеми будет одобрен, но речь ведь не идет о принудительном чтении.

2. Классическая и квантовая электродинамика

Я занялся теоретической физикой до какой-то степени случайно, напав на некоторый вопрос, в котором смог в первом приближении разобраться. Как было дело, не касаясь физики, рассказано в воспоминаниях об И.Е. Тамме (см. ниже с. 272). Здесь же поясню суть вопроса.

В конце 1938 г., когда я начал работать, атмосфера и вся ситуация в теоретической физике (да и в физике вообще) были совсем иными, чем сейчас. В Москве тогда физиков-теоретиков насчитывалось в лучшем случае несколько десятков, сегодня их сотни. Достаточно было раз в неделю зайти в библиотеку, чтобы увидеть все новинки — несколько довольно тонких номеров физических журналов на немецком и английском языках. Сейчас даже в ФРГ все физические журналы публикуют статьи практически лишь на английском языке, превратившемся как бы в новую латынь (в смысле международного языка науки). Общее же число и объем журналов по физике и астрономии возросли в десятки раз. Тогда, полстолетия назад, можно было следить практически за всей физикой, сегодня это невозможно. Впрочем, я пристрастился к тому, чтобы проглядывать все новые журналы, долго держался «на плаву», но недавно все же сдался — времени и сил все меньше, а журналов все больше.

Обращаясь к моей собственной работе, замечу, что она началась не с чтения журналов, а с попытки реализовать «идею», навеянную некими экспериментами по оптике каналовых лучей, которые я в своем дипломе пытался повторить. Эти эксперименты не имеют сейчас интереса, поэтому изложу суть дела в простой постановке вопроса. Пусть имеется атом, спонтанно излучающий на частоте ω_0 с одинаковой вероятностью в направлениях z и $-z$. Допустим теперь, что на атом налетает заряд (электрон или ион), движущийся со скоростью \mathbf{v} вдоль оси z . Разложим электромагнитное поле заряда на плоские волны типа $A \exp\{i(\omega t - \mathbf{k}\mathbf{r})\}$. Легко видеть, что в данном случае $\omega = \mathbf{k}\mathbf{v} = k_z v$. Далее, я знал о существовании индуцированного излучения: падающий на атом фотон с частотой, равной частоте перехода ω_0 , повысит вероятность излучения в направлении падающего фотона. В результате вероятность излучения в направлении \mathbf{v} будет выше, чем в направлении $-\mathbf{v}$. Такой вывод ошибочен, потому что поле движущегося заряда не эквивалентно совокупности свободных фотонов в вакууме, для которых $\omega = ck$ (c — скорость света); для поля же заряда, как сказано, $\omega = k_z v \leq kv < kc$. Даже сейчас в известных мне учебниках принято на словах отождествлять при квантовании поперечное электромагнитное поле с полем фотонов. Разумеется, это неверно: увлекаемое движущимся зарядом его электромагнитное поле отлично от совокупности фотонов, или, на ученом языке, можно сказать, что увлекаемое поле представляет собой поле фотонов, но не находящихся на массовой поверхности, т.е. не удовлетворяющих условию $\omega = ck$. Фактически, однако, при квантово-электродинамических вычислениях результаты получаются правильные, ибо «математика умнее человека» (несколько подробнее об этом см. в гл. 1 книги [2]). Хотя я не раз собирался заняться квантованием увлекаемого поля, но так и не собрался — вероятно, это не случайно: квантовоэлектродинамический формализм (да и любой формализм) — не моя стихия. Странно все же, что простая в принципе проблема нигде как следует не освещена.

Итак, попытка объяснить пространственную асимметрию интенсивности излучения при пролете зарядов мимо возбужденных атомов потерпела крах. Но, знакомясь с квантовой электродинамикой, я обнаружил в статье Фока [3] и развивавшей ее статье [4] поразившее меня утверждение: равномерно движущийся заряд излучает. Между тем в классической электродинамике, как мы привыкли считать, равномерно движущийся (в вакууме) заряд не излучает. Мой первый научный результат связан как раз с пониманием такого кажущегося противоречия [5]. Все дело в разной постановке вопроса: в классике обычно речь идет о стационарной задаче — заряд все время движется с постоянной скоростью и и при этом действительно не излучает. В квантовой же электродинамике

(или, как тогда чаще говорили, в квантовой теории излучения [6]) при использовании теории возмущений задача ставилась так: в момент $t = 0$ имеется равномерно движущийся заряд (электрон), а фотоны отсутствуют. Тогда в последующее время $t > 0$ фотоны появляются, заряд излучает. Но в классике произойдет то же самое, если считать, что при $t = 0$ поперечное электромагнитное поле полностью отсутствует, а заряд движется. Физически это значит, что в момент $t = 0$ заряд резко (мгновенно) ускоряется и приобретает скорость v . Но тогда заряд излучит как свое увлекаемое поле, так и некоторое поле излучения, обусловленное ускорением заряда. Как я показал в [5], классический и квантовый расчеты в рассмотренном простейшем приближении просто совпадают. Пользовался я при этом так называемым гамильтоновским методом, с которым познакомился по книге Гайтлера [6] и навсегда полюбил — метод прост и нагляден. Основное содержание моей первой публикации [5] содержится в гл. 1 легко доступной книги [2] (могу к ней и отослать). Вдохновленный тем, что мог заняться и даже что-то прояснить в области квантовой электродинамики, считавшейся тогда «передним краем» физики, я, используя тот же гамильтоновский метод, занялся исследованием квантовоэлектродинамических расходимостей [7]. Затем столкнулся в литературе с утверждением, связывающим спонтанное излучение с действием нулевых флуктуации вакуума. Но тогда спонтанное излучение было бы чисто квантовым эффектом, что явно неверно. Обсуждению этого вопроса была посвящена моя третья статья [8], опубликованная в том же 1939 г. Этот простой в общем вопрос (о природе спонтанного излучения) обсуждается и до сих пор. Я к нему тоже вернулся в 1983 г. в методической заметке [9].

К самому началу моей работы относится также статья [10], могущая сегодня вызвать удивление. Дело в том, что в книге Гайтлера [6] (речь идет о первом издании), да и во всех известных мне тогда источниках использовалась лоренцева калибровка электромагнитных потенциалов $\operatorname{div} \mathbf{A} + \frac{1}{c} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0$. Поэтому продольное поле приходилось выделять специальным преобразованием. Я же показал, что цель достигается сразу при использовании кулоновской калибровки $\operatorname{div} \mathbf{A} = 0$. Сейчас это знает каждый студент, но в 1939 г. И.Е. Тамм и В.А. Фок, оба физики-теоретики с мировым именем, не знали такого результата и рекомендовали мне его опубликовать [10]. Через несколько лет я где-то обнаружил, что кулоновская калибровка с успехом применялась и до меня. Таким образом, меньше всего я претендую здесь на какой-то приоритет и сообщил сказанное лишь для иллюстрации состояния теории в 1939 г.

3. Излучение равномерно движущихся источников (эффекты Вавилова — Черенкова и Доплера, переходное излучение и родственные явления)

Излучение равномерно движущихся источников можно считать некоторой особой главой электродинамики, хотя дело и не сводится только к электродинамике (имеются аналогии в акустике и в теории любого поля). Так или иначе, этот круг вопросов я как-то особенно люблю (последнее слово не так уж часто используется в науке, но в этом я вижу лишь дань традиции или какой-то условности). Возможно, объяснение заключается в том, что теория излучения Вавилова — Черенкова (В.Ч.) была построена в 1937 г. Таммом и Франком [11] на моих глазах, и, кстати, я жалел, что совсем немного «опоздал», не приняв участия в обдумывании природы эффекта В.Ч., открытого в 1934 г. Так или иначе, об эффекте В.Ч. я никогда не забывал и уже в упомянутой статье [8] предложил другой способ получения результата Тамма и Франка. В их работе [11] вычислялось поле равномерно движущегося в среде заряда, а затем находился поток вектора Пойнтинга через цилиндрическую поверхность, окружающую траекторию заряда. Я же, используя

гамильтоновский метод, вычислял излучаемую энергию, что проще. Само же условие излучения В.Ч. получается сразу, ибо уравнения для амплитуд осцилляторов поля имеют вид (подробности описываемого здесь и ниже см. в [2, гл. 6])

$$\ddot{q}_\lambda + \omega_\lambda^2 q_\lambda = \sqrt{4\pi} \frac{e}{n} \mathbf{e}_\lambda \mathbf{v} \exp\{-i\mathbf{k}_\lambda \mathbf{r}_i\}, \quad (1)$$

где $\omega_\lambda^2 = (c^2/n^2)k_\lambda^2$, \mathbf{e}_λ — вектор поляризации излучения, v — скорость заряда, находящегося в точке $\mathbf{r}_i(t)$, и n — показатель преломления среды.

На языке гамильтоновского метода заряд (или другой источник) излучает, если амплитуды q_λ нарастают во времени, а это при больших временах t имеет место в случае резонанса, т.е. когда в правой части уравнения (1) имеется частота, равная ω_λ . Для равномерно движущегося источника $\mathbf{r}_i(t) = \mathbf{v}t$ условие излучения имеет вид $\omega_\lambda = ck_\lambda/n = \mathbf{k}_\lambda \mathbf{v}$ или

$$\cos \theta = c/(nv), \quad (2)$$

где θ — угол между k_λ и \mathbf{v} . Но условие (2) есть как раз условие излучения В.Ч. Разумеется, в вакууме $n = 1$, и при $v < c$ излучение типа В.Ч. невозможно. Однако если при $t = 0$ амплитуда q_λ и ее производная $\dot{q}_\lambda \equiv dq_\lambda/dt$ равны нулю, то в последующее время $q_\lambda(t)$ и $\dot{q}_\lambda(t)$ отличны от нуля, что при адиабатическом включении взаимодействия или медленном ускорении заряда и отвечает «излучению» (формированию) увлекаемого поля заряда, о чем речь уже шла в разд. 1 настоящей статьи.

Вычисляя $q_\lambda(t)$ и $p_\lambda = \dot{q}_\lambda(t)$, а затем и энергию поля

$$H_{tr} = \int \frac{\varepsilon E_{tr}^2 + H^2}{8\pi} dV = \sum (p_\lambda p_\lambda^* + \omega_\lambda^2 q_\lambda q_\lambda^*), \quad (3)$$

получаем выражение для интенсивности излучения и, конкретно, при равномерном движении — для излучения В.Ч. Разумеется, результат расчета (см. [8, 2]) совпадает с полученным в [11]. Третий метод расчета состоит в вычислении работы силы радиационного трения (т.е. силы $e\mathbf{v}\mathbf{E}(\mathbf{r}_i)$, где $\mathbf{E}(\mathbf{r}_i)$ — поле, действующее на заряд; см. [12, гл. 14]). Все три упомянутых метода вычисления интенсивности излучения хотя и приводят для эффекта В.Ч. к одному и тому же результату, но по существу отнюдь не идентичны. В общем случае, естественно, поток энергии через некоторую поверхность, изменение энергии поля в объеме и работа силы радиационного трения не равны друг другу (подробнее см. [2, гл. 3]).

Какой из этих методов удобнее и эффективнее использовать — зависит от задачи и той величины, которую нужно определить. Конкретно, остановимся на излучении в анизотропной среде, например в кристалле. Пятьдесят лет назад уравнения электродинамики в сплошной анизотропной среде были, конечно, хорошо известны. Однако применялись они только для описания распространения «свободных» электромагнитных (в частности, световых) волн — это и составляет содержание, скажем, кристаллооптики. Но как излучает диполь (осциллятор), находящийся в кристалле? Ответа на этот простой вопрос я тогда в литературе не нашел (да и сейчас не знаю, была ли такая задача решена до моей работы 1940 г. [13]). Речь идет об обобщении на анизотропный случай хорошо известного для вакуума или изотропной среды выражения для энергии, излучаемой в единицу времени в телесный угол $d\Omega$:

$$\frac{dH_{tr}}{dt} = \frac{e^2 \omega_0^4 a_0^2 n}{8\pi c^3} \sin^2 \theta d\Omega, \quad (4)$$

где a_0 — амплитуда малых колебаний заряда e с частотой ω_0 и θ — угол между осью диполя и направлением наблюдения. Формулу (4) особенно легко получить как раз гамильтоновским методом (т.е., по сути дела, при разложении поля на плоские волны), но обычно ее

выводят из общих решений уравнений поля с использованием запаздывающих потенциалов (см., например, [14, § 67]). Для анизотропной среды решение для потенциалов уже так сразу не напишешь, между тем как гамильтоновский метод обобщается очевидным образом. Именно разложение теперь нужно вести по «нормальным» электромагнитным волнам, могущим распространяться в рассматриваемой анизотропной среде. Уравнение для амплитуд этих волн аналогично уравнению (1). Дальнейший расчет также прост и приводит к результату (см. [13; 2, § 6])

$$\frac{dH_{tr,l}}{dt} = \frac{e^2 \omega_0^4 (\mathbf{a}_l \mathbf{a}_0)^2 n_l^3}{8\pi c^3} d\Omega, \quad (5)$$

где \mathbf{a}_0 — амплитуда колебаний заряда, \mathbf{a}_l — нормированный соответствующим образом вектор поляризации нормальной волны l и n_l — отвечающий этой волне показатель преломления (при переходе к изотропной среде, разумеется, (5) переходит в (4)). Таким же методом решается задача об излучении В.Ч. в кристаллах [15] (в [15] при интегрировании была допущена ошибка; см. [16]).

В отношении теории эффекта В.Ч. упомяну еще о решении задач об излучении в каналах и щелях, а также об излучении различных диполей (магнитных, электрических, тороидных). Здесь нет возможности на этом останавливаться, тем более что можно ото-слать к обзорам [2, 17], где имеются и соответствующие литературные ссылки.

В свете изложенного довольно естественно, что я уже на первом этапе своей работы (в 1940 г.) построил и квантовую теорию эффекта В.Ч. [18]. Если ввести понятие о «фотонах в среде» с энергией $\hbar\omega$ и импульсом $(\hbar\omega n/c)\mathbf{k}/k$, как это автоматически получается при квантовании электромагнитного поля в среде, то из законов сохранения энергии и импульса приходим к выражению

$$\cos \theta_0 = \frac{c}{n(\omega)v_0} \left[1 + \frac{\hbar\omega(n^2 - 1)}{2mc^2} \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}} \right], \quad (6)$$

где θ_0 — угол, под которым частица с постоянной (до излучения) скоростью \mathbf{v}_0 излучает фотон с энергией $\hbar\omega$. Как и следовало ожидать, при $\hbar\omega/(mc^2) \ll 1$ условие излучения (6) переходит в классическое условие (2). В оптике даже для электронов $\hbar\omega/(mc^2) \lesssim 10^{-5}$, и, следовательно, квантовый подход к излучению В.Ч. не представляет практического интереса. Это сразу же отметил Л.Д. Ландау, о чем я рассказываю на с. 296 настоящего сборника. Фактически тем не менее квантовый подход к излучению в среде оказался ценным. Дело в том, что законы сохранения не только позволяют установить связь между θ_0 и ω , но и указывают на направление перехода между уровнями энергии (скажем, для уровней 1 и 2 с энергиями E_1 и E_2 мы узнаем, происходит ли переход с излучением с уровня 1 на уровень 2 или наоборот). Поэтому сразу же выясняется [19], что в области аномального эффекта Доплера (см. также [2, 17]) излучение сопровождается возбуждением излучателя. Это замечание весьма важно для понимания характера аномального эффекта Доплера, а также понимания природы возбуждения ускоренного «детектора» [20].

Помимо эффектов В.Ч. и Доплера при равномерном движении источника может возникнуть переходное излучение, рассмотренное в 1944 г. И.М. Франком и мной [21]. В этом случае скорость источника v может быть и меньше фазовой скорости света $v_\phi = c/n$, но важна неоднородность среды на траектории излучателя (заряда и т.д.). Пусть это и несколько формально, но лучше всего переходное излучение связывать с переменностью параметра vn/c : в вакууме $n = 1$ и излучение возникает лишь при ускорении — при изменении отношения v/c ; в среде же и при постоянстве v излучение появляется за счет изменений vn/c . Как оказалось, переходное излучение — богатый, если можно так выразиться, эффект, проявляющийся в разных формах (неоднородность n в пространстве или

во времени, переходное рассеяние, переходное тормозное излучение) и играющий важную роль в физике плазмы, для создания особых (переходных) счетчиков и т.д.

Причина того, что излучению равномерно движущихся источников в настоящей статье уделено, видимо, непропорционально много места, была объяснена еще в начале этого раздела. Но нужно и честь знать, поэтому подробнее останавливаться на переходном излучении и родственных явлениях здесь уже нет возможности и придется ограничиться упоминанием соответствующих обзоров [2, 17, 22], где, разумеется, имеются ссылки на оригинальные работы.

4. О характере настоящей статьи

В каком плане и ключе следует (или хотя бы целесообразно) писать научную автобиографию, остается, конечно, неизвестным. Хотелось бы, чтобы дело не свелось просто к перечислению отдельных проблем и работ, а была как-то выявлена внутренняя логика деятельности автора. Разумеется, последнее нетрудно сделать, если имеется сквозная тема. Тогда просто можно излагать материал в исторической последовательности. Но я занимался очень многим и, кстати, вижу в такой возможности одну из самых привлекательных черт теоретической физики. Причины перехода от одной проблемы к другой бывали разные: тут и некоторая логика развития, и случайные импульсы, и давление столь мощного фактора, как война или другие «внешние» обстоятельства.

Как я занялся теоретической физикой — ясно из сказанного выше. Начал, пусть и случайно, с центральной тогда проблемы — квантовой электродинамики, теории элементарных частиц. Но, к счастью, интересовался и другим, держал глаза открытыми. Поэтому, убедившись в эффективности гамильтоновского метода в вакууме [5, 7], я сразу же стал применять его в электродинамике сплошной среды [8, 13, 15, 18] и тем самым «зацепился» за теорию излучения равномерно движущихся источников. Если первый результат в этой области был получен в 1939 г. [8], то последний (к настоящему времени, да, вероятно, и вообще) относится к 1985 г. [23]. Вместе с тем теория эффекта В.Ч. [8, 15, 18] была все же побочной линией. Основной же с 1940 г. оказалась теория частиц с высшими спинами, о чем пойдет речь в разд. 5. Но война, начавшаяся для нас 22 июня 1941 г., побудила искать более близкое к практике приложение своих сил. Помню, как мы, теоретики в ФИАНе (Физическом институте им. П.Н. Лебедева АН СССР), спрашивали всех кого могли, чем бы заняться полезным для обороны — тогда это было совсем не очевидно, а переход на военные рельсы никак не был подготовлен. Так, И.Е. Тамм занялся расчетами, нужными при размагничивании кораблей (т.е. для устранения угрозы от магнитных мин), а я получил от Б. А. Введенского совет рассмотреть распыливание радиоимпульсов, отражающихся от ионосферы. Этой теме и была посвящена моя первая «оборонная» работа [24]. Другим прикладным исследованием явилась разработанная совместно с И.Е. Таммом теория электромагнитных процессов в слоистых сердечниках (имелись в виду антенны) [25]. Судя по списку статей, опубликованных в военные годы (этот список содержится в справочнике [26]), да и насколько помню, я отдавал себе отчет в довольно сомнительной практической ценности моей работы в области распространения радиоволн, в силу чего продолжал заниматься как релятивистской теорией частиц с высшими спинами, так и некоторыми другими вопросами. Тем не менее теория распространения волн в плазме (в частности, в ионосфере) на долгие годы заняла прочное место в моей работе и, можно сказать, в жизни.

Подробнее рассказывать об этом значило бы превратить научную автобиографию в обычную автобиографию, чего мне здесь не хотелось бы¹. Ограничусь поэтому замечанием, что работа в области распространения волн в плазме повлекла за собой занятия

¹В какой-то мере это сделано в статье «Заметки астрофизика-любителя», написанной по заказу ежегод-

радиоастрономией, а затем некоторыми другими вопросами астрофизики, в частности астрофизики космических лучей и гамма-астрономии. Об этих направлениях речь, естественно, еще пойдет ниже. Другая линия родилась под влиянием теории сверхтекучести Ландау [28].

В 1940 г. (или около того) я был на докладе Л.Д. Ландау на эту тему и именно тогда, вероятно, узнал, что природа сверхпроводимости еще не ясна. Естественно, захотелось что-либо сделать в области сверхпроводимости. И вот с тех пор (а если говорить о публикациях, то с 1944 г.) и до настоящего времени я занимаюсь теорией сверхпроводимости и сверхтекучести. В перерывах между электродинамикой, спинами, плазмой и сверхпроводимостью фигурировали астрофизика, сегнетоэлектричество, кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и т.д.

В общем путь был извилистым, причины поворотов уже перечислялись и частично пояснены. Поэтому настоящая статья и носит несколько фрагментарный характер.

5. Высшие спины

Даже в настоящее время, не говоря уже о ситуации полстолетия назад, доминирующее место в физике занимает рассмотрение частиц только со спинами 0 и $1/2$. К этому можно добавить, правда, фотоны — частицы со спином 1, но с массой нуль. Вместе с тем не было и нет оснований отрицать возможность существования частиц с более высокими спинами ($3/2$, 2 и т.д.) или со спином 1, но с отличной от нуля массой покоя (более того, именно частицами последнего типа являются W^\pm - и Z^0 -бозоны, открытые в 1983 г.; трудно сомневаться и в существовании гравитонов-квантов гравитационного поля, обладающих спином 2 и равной нулю массой покоя). Релятивистское уравнение (уравнение Дирака) для частиц со спином $1/2$ было установлено в 1928 г., а для частицы со спином 0 — еще раньше (в 1926 г.). Поэтому, естественно, что уже в 30-е годы начали исследовать уравнения для частиц с высшими спинами 1, $3/2$, 2 и т.д. (с любой массой покоя), взаимодействующих с электромагнитным и другими полями. При этом выявилось существенное отличие этих уравнений от справедливых для спинов 0 и $1/2$. В последних случаях в высших приближениях теории возмущений появлялись расходящиеся выражения (метод перенормировок был развит только в 1948 г.), но в первом исчезающем приближении теории возмущений получаются вполне разумные результаты, скажем, для рассеяния света на частице со спином 0 или $1/2$. Для частиц с высшими спинами, напротив, уже результаты первого приближения в некоторых случаях приводят к явно некорректным выражениям, например к неограниченному росту сечения с энергией. Анализ подобных трудностей (их называли «затруднениями второго рода») был в конце 30-х годов в центре внимания. Я тоже занялся этой проблемой в 1940 г. и пришел к выводу, что неограниченное возрастание сечения (скажем, для рассеяния света на частице со спином 1) обусловлено недостаточно полным учетом реакции собственного поля частицы на движение ее магнитного момента [29]. Классический нерелятивистский анализ приводит при этом к заключению, что учет реакции собственного поля магнитного момента в известном смысле эквивалентен переходу к рассмотрению уравнения для волчка, могущего находиться в любых спиновых состояниях [29, 30]. Коротко говоря, возникло предположение (при этом не только у меня; ссылки см. в [30]), что для устранения «затруднений второго рода» нужно принимать во

ника «Annual Review of Astronomy and Astrophysics» [27]. Замечу лишь, что именно в связи с исследованием распространения волн я с 1945 г. ряд лет заведовал (по совместительству) кафедрой распространения радиоволн радиофака Горьковского Государственного университета (ГГУ), где у меня был ряд аспирантов. Именно в Горьком совместно с этими аспирантами и сотрудниками было написано много статей по распространению волн в плазме, радиоастрономии и некоторым другим вопросам.

внимание возбужденные спиновые состояния частиц, т.е. не ограничиваться исследованием уравнений с одним спиновым состоянием. Подобное заключение имело эвристическое значение, но для создания теории нужно было построить релятивистские уравнения для частиц, могущих находиться в различных спиновых состояниях. Решением этой задачи я и занялся, причем особый интерес имело уравнение для частицы $(1/2 - 3/2)$, могущей иметь спин $1/2$ и спин $3/2$ [30]. Построенное и исследованное мной уравнение для частицы $(1/2 - 3/2)$ в точности совпадает с полученным Баба несколькими годами позже [31] (см. также [34]). Релятивистская теория частиц с несколькими спиновыми состояниями представляет известный интерес, но естественно стремиться сразу рассматривать все спиновые состояния. И.Е. Тамм и я встали именно на такой путь и, конкретно, пытались построить релятивистскую теорию волчка, точнее, некоторый ее аналог. Мы потратили на эту работу много сил, но опубликовали ее только в 1947 г. [32], поскольку не пришли к ценным с физической точки зрения результатам. Исходным для нас было уравнение

$$\left(\square - k^2 + \frac{\beta}{2} M_{ik} M_{ik} \right) \Psi(x_i, u_i) = 0 \quad (7)$$

где

$$M_i k = u_k \frac{\partial}{\partial u_i} - u_i \frac{\partial}{\partial u_k}$$

$$u_i u_i = r^2, \quad \square = \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_i}$$

для функции Ψ , зависящей от обычных координат — четырехмерного вектора x_i и от нового четырехвектора u_i — внутренних степеней свободы частицы. Спектр масс уравнения (7) оказался бесконечно вырожденным, а его решения преобразовываются по бесконечномерным представлениям группы Лоренца. Для снятия вырождения мы пытались наложить еще одно уравнение на Ψ ; рассматривались и некоторые другие уравнения (см. [32—34] и указанную там литературу).

Думаю, что это направление представляло интерес и было методически ценным уже в связи с рассмотрением всех спиновых состояний, внутренних степеней свободы (по сути дела, речь шла о неточечной частице, ибо x_i , можно рассматривать как «центр масс» двух точек, разделенных «расстоянием» u_i) и бесконечномерных представлений. Насколько могу судить, и в настоящее время эти моменты привлекают внимание.

На исследование релятивистских волновых уравнений я потратил много сил (см. [30, 32—34]) и, как ясно из сказанного, не напрасно (по крайней мере, я так считаю), несмотря на незавершенность этих работ. Вместе с тем очень рад, что осознал (во время или с не слишком большим опозданием) целесообразность оставить эту тематику — она требует значительно больших, чем у меня, математических способностей и знаний.

6. Распространение электромагнитных волн в плазме (ионосфере). Радиоастрономия

В 1941 г. я начал заниматься, как уже упоминалось, распространением радиоволн в ионосфере, причем первой была рассмотрена задача об изменении формы импульса волн, отражающихся от ионизированного слоя [24]. Затем последовало, можно сказать, систематическое наступление на весь этот круг вопросов. Здесь можно упомянуть: выяснение того факта, что в разреженной плазме (в частности, в ионосфере) действующее поле \mathbf{E}_{ef} равно среднему макроскопическому электрическому полю \mathbf{E} , учет влияния на отражение волн от ионосферы земного магнитного поля, рассмотрение поглощения волн, слабонелинейных эффектов и т.д. Я стремился (как и в ряде других случаев) изложить весь

материал систематически. Это было целесообразно и для целей преподавания в ГГУ. Так появилась монография [35], а затем и книга более широкого профиля [36], содержащая около 1200 ссылок на литературу. Там и можно найти упоминание об отдельных статьях и соответствующих результатах. Как-то не хочется их подробнее излагать; отмечу, однако, эффект «утраивания» сигналов, возникающий при малых углах между магнитным полем и градиентом концентрации электронов (т.е. в случае ионосферы — углах с вертикалью; см. [37; 36, § 28]). Кроме того, мне кажется ценным анализ (в квазигидродинамическом приближении) влияния ионов на распространение волн в плазме во всем диапазоне частот. Это позволяет понять специфику высокочастотного случая и, главное, характер перехода к магнитогидродинамическому приближению [38] (к сожалению, эта работа пришлось на период, когда мы могли публиковать статьи лишь на русском языке, а английские переводы советских журналов не публиковались; поэтому работа [38] осталась практически незамеченной и была «перекрыта» иностранными публикациями). Наконец, хотелось бы упомянуть не имеющий отношения к ионосфере учет влияния земного магнитного поля на распространение радиоволн в атмосфере в результате наличия у молекул кислорода O_2 магнитного момента [39]. Оказывается, в этом случае решающее значение имеет индуцированное излучение — факт, который в то время был совсем не очевиден.

Нужно отметить, что в условиях ионосферы плазму можно в первом приближении считать «холодной», т.е. пренебрегать эффектами пространственной дисперсии. Поэтому в [36] рассматривается в основном (хотя и не только) «холодная» плазма. Подробнее теория распространения волн в «горячей» плазме была изложена в [40], но к этому времени я почти уже перестал заниматься плазмой, и монографию [40] писал в основном А.А. Рухадзе¹.

Занятия плазмой пригодились, когда я сравнительно недолго занимался теорией управляемого термоядерного реактора. Здесь нужны некоторые пояснения. В 1947 г. И.В. Курчатов привлек И.Е. Тамма к исследованию термоядерной проблемы (речь тогда шла о возможности создания водородных бомб). Я тогда был заместителем И.Е. Тамма по теоретическому отделу и, естественно, тоже занялся этой работой, как это сделали и некоторые другие сотрудники, в том числе А.Д. Сахаров. Вначале наша работа, хотя и считалась крайне секретной, носила вполне абстрактный характер. Вскоре, однако, родились две идеи — одна у меня, другая у А.Д. Сахарова, которые радикально изменили ситуацию. С тех пор прошло более 40 лет, но идиотизм нашей жизни таков, что вся эта деятельность все еще считается секретной (!)² Приходится поэтому мне ограничиться замечанием, что в 1948 г. И.Е. Тамм и А.Д. Сахаров переехали работать в места, довольно отдаленные, я же, как не вызывающий доверия³, остался в Москве во главе небольшой «группы поддержки», но по-прежнему с часовым у дверей. Единственное интересное дело, которым я тогда зани-

¹Мы написали эту книгу (статью) потому, что она была заказана мне для «Handbuch der Physik» и не хотелось отказываться от такого предложения.

²В связи со смертью А.Д. Сахарова решились наконец кое-что рассекретить, и в журнале «Природа» в 1990 г. появились статьи В.И. Ритуса и Ю.А. Романова (N 8, с. 23), где сообщается и об истории создания водородных бомб. В этих статьях указано, что мной было предложено использовать в бомбе ${}^6\text{Li}$. Благодаря реакции ${}^6\text{Li} + n \rightarrow t + {}^4\text{He} + 4,6 \text{ МэВ}$, упоминаемой на с. 17 настоящего сборника, удастся регенерировать радиоактивный тритий. Насколько я знаю, в иностранной литературе использованию в водородных бомбах ${}^6\text{Li}$ придается весьма большое значение (правда, это предложение приписывается не мне, а другим).

³Моя жена была в 1944 г. (тогда мы еще не были знакомы) арестована по обвинению в контрреволюционной деятельности, но, просидев в тюрьме и лагере около года, в 1945 г. подпала под амнистию и фактически выслана в г. Горький (точнее, прописана она была под Горьким). Там я с ней и познакомился, когда начал преподавать в ГГУ, а в 1946 г. мы поженились. Все мои попытки получить разрешение на переезд жены в Москву не увенчались успехом, и она смогла вернуться в Москву только после следующей амнистии в 1953 г., а в 1956 г. была реабилитирована (несколько подробнее см. в [27]). Кстати сказать, я думаю, что только участие в упоминаемой в тексте «закрытой» работе спасло мне жизнь или, во всяком случае, избавило от ареста.

мался «по закрытой линии», было как раз исследование некоторых вопросов, относящихся к теории управляемых термоядерных реакторов. В 1952 г. (или еще в конце 1951 г., точно не помню) кто-то счел проблему управляемого термоядерного синтеза столь секретной, а меня столь подозрительным, что мне перестали выдавать собственные отчеты. К счастью, вскоре — 5 марта 1953 г. — сталинская диктатура закончилась и совсем отлучить меня от науки не успели (насколько могу судить, такая возможность была вполне реальна). Однако к работе в области термоядерного синтеза я уже не возвращался даже после того, как по инициативе И.В. Курчатова эта деятельность в 1956 г. была рассекречена. Правда, в 1962 г. я опубликовал [41] свои старые отчеты термоядерного жанра.

В науке (и, конечно, не только в науке) имеется много, очень много взаимосвязей. Одно порождает другое. Это в достаточной мере тривиальное замечание можно проиллюстрировать на примере того, как я нежданно-негаданно занялся астрономией. В конце 1945 г. или в начале 1946 г. Н. Д. Папалекси, думавший о радиолокации Солнца, попросил меня выяснить условия отражения радиоволн от солнечной атмосферы. Разумеется, такое предложение было адресовано именно мне, потому, что солнечная атмосфера, в частности корона, представляет собой, это очевидно, как бы гигантскую ионосферу и все соответствующие формулы были у меня под рукой. Расчеты показали, что локация Солнца затруднительна, поскольку радиоволны должны сильно поглощаться до «точки» отражения (вопрос об отражении за счет неоднородностей не рассматривался, а уровнем отражения считалась поверхность, на которой показатель преломления равнялся $n = \sqrt{1 - \omega_p^2/\omega^2} = 0$). Но отсюда сразу же следовал более интересный вывод, который я и сделал [42] (подробнее см. в [36]). Именно источником солнечного радиоизлучения должна быть не фотосфера, а корона или — для более коротких волн — хромосфера. Между тем в то время уже предполагалось, что корона сильно нагрета, скажем, до 1 млн. градусов (температура фотосферы, как известно, составляет около 6000 К). Таким образом, температура солнечного радиоизлучения, исходящего из короны (это волны с длиной около 1 м и более), должна даже в равновесных условиях быть весьма высокой.

Космическое радиоизлучение было впервые обнаружено в 1931—1933 гг. (первая публикация относится к 1932 г.). Однако до конца войны (до 1945—1946 гг.) радиоастрономии было посвящено всего несколько работ, а ее значение и возможности не были в достаточной мере осознаны. Примерно одновременно со мной заключение о высокой температуре солнечного радиоизлучения было в том же 1946 г. сделано и другими авторами и, главное, подтверждено наблюдениями (ссылки см. в [27, 43]). Произошел буквально радиоастрономический взрыв, обусловленный в основном переходом к мирной жизни и совершенствованием радиотехники за военные годы.

Сейчас, быть может, даже трудно поверить, что в то время угловое разрешение радиотелескопов не достигало и десятка угловых минут. Поэтому Н.Д. Папалекси предложил исследовать радиоизлучение короны во время полного солнечного затмения 20 мая 1947 г., используя Луну в качестве «заслонки», помогающей разрешить различные области солнечной атмосферы. Организованная с этой целью экспедиция в Бразилию позволила решить задачу, в частности подтвердила корональное происхождение метрового радиоизлучения Солнца (см. сборник, цитированный в [43]). Я был участником Бразильской экспедиции и в этой связи уделял радиоастрономии много внимания. Кроме того, радиоастрономическая тематика пришлась весьма ко двору в Горьком, где мы уделяли ей немало времени (особенно вместе с В.В. Железняковым). Как и в случае ионосферных исследований, мне не хочется подробнее писать о сделанном (соответствующие ссылки см. в [27, 36, 43]). Помимо радиоизлучения Солнца (вопросы о распространении и генерации радиоволн) упомяну предложение использовать для повышения углового разрешения дифракцию радиоизлучения на лунном крае и анализ вопроса об ионосферных и внеатмосферных мерцаниях космического радиоизлучения. Отсутствие астрономическо-

го образования (проще говоря, астрономическая неграмотность; подробнее см. в [27, 44]) помешало мне, однако, серьезно заняться несолнечной радиоастрономией вплоть до 1950 г., когда в литературе [45] появилась синхротронная гипотеза, связывающая нетепловое космическое радиоизлучение с синхротронным излучением релятивистских электронов. Астрономам синхротронный механизм излучения не только был неизвестен, но, видимо, казался каким-то спекулятивным. Поэтому нетепловое космическое радиоизлучение довольно длительное время связывалось с активностью гипотетических радиозвезд. Я же, напротив, сразу же оценил плодотворность синхротронной гипотезы и начал ее развивать и пропагандировать [46]. Невозможность в те годы участвовать в международных конференциях помешала быстрому прояснению ситуации. Так, посланный на Манчестерский симпозиум по радиоастрономии (1955 г.) мой доклад о синхротронном космическом радиоизлучении даже не был опубликован. Но уже на Парижском симпозиуме (1958 г.), на котором я тоже не мог присутствовать, синхротронный механизм был уже признан, а мой доклад опубликован (ссылки см. в [27, 43]). Быть может, подобная задержка на Западе с пониманием роли синхротронного радиоизлучения принесла советским физикам и астрофизикам даже некоторую пользу в том смысле, что позволила в тогдашних трудных условиях без острой конкуренции получить и опубликовать ряд результатов, касающихся как радиоастрономии, так и происхождения космических лучей.

7. Астрофизика космических лучей. Гамма-астрономия. Некоторые астрофизические работы

Космические лучи были открыты в 1912 г. (правда, эта дата несколько условна). Затем они многие годы изучались преимущественно в ядерно-физическом аспекте, т.е. в связи с присутствием в космических лучах частиц с высокой энергией. Астрофизический аспект, или, более конкретно, вопрос о происхождении космических лучей, оставался в тени. Основную причину здесь можно видеть в том, что первичные космические лучи могли исследоваться лишь вблизи Земли, или, точнее, высоко в стратосфере. При этом в связи с высокой степенью изотропности космических лучей (влияние земного магнитного поля может быть учтено) об их источниках непосредственно ничего нельзя заключить. Установление синхротронной природы основной части нетеплового космического радиоизлучения позволило связать радиоастрономические данные с электронной компонентой космических лучей вдали от Земли. Стало ясно, что космические лучи присутствуют как в межзвездном пространстве в нашей Галактике, так и в других галактиках и, например, в оболочках сверхновых звезд. Именно так родилась астрофизика космических лучей [47]. Таким образом, занятия радиоастрономией привели меня, начиная с работы [46], к астрофизике космических лучей. Полученные результаты подробно освещены в монографиях [48, 49] (см. также доклад «Астрофизические аспекты исследования космических лучей (первые 75 лет и перспективы на будущее)» [50], где, как и в [47], приведены ссылки на многочисленные статьи). Поэтому (и учитывая тот факт, что настоящая статья и так разрослась) не буду останавливаться на существовавших и продолжающихся обсуждавшихся вопросах. Необходимо вместе с тем заметить, что космическими лучами принято сейчас называть лишь заряженные частицы космического происхождения, обладающие высокой энергией (скажем, кинетической энергией $E_k > 100$ МэВ). При таком определении астрофизика космических лучей не включает такие важные новые области астрономии, как гамма-астрономия и астрономия нейтрино с высокой энергией¹. Вместе с тем все эти направления тесно связаны между собой (то же в некоторой мере относится к рентгеновской

¹Эти области вместе с астрофизикой космических лучей иногда называют астрофизикой высоких энергий.

астрономии, а также к оптическому и радиоизлучению синхротронного происхождения). Особенно тесно с астрофизикой космических лучей (в англоязычной литературе чаще используется менее точный термин происхождение космических лучей — «origin of cosmic rays») связана гамма-астрономия. Дело в том, что из радиоастрономических данных непосредственно можно получать сведения только об электронной компоненте космических лучей (ибо космическое радиоизлучение испускается практически лишь релятивистскими электронами и позитронами), между тем электроны составляют лишь порядка 1% всех космических лучей (в основном они состоят из протонов и более тяжелых ядер). Правда, ценой некоторых предположений об электронной компоненте можно перейти к протонно-ядерной компоненте космических лучей. В то же время изучение космического гамма-излучения (т.е. методами гамма-астрономии) о протонно-ядерной компоненте космических лучей вдали от Земли дает непосредственные сведения (речь в первую очередь идет о гамма-излучении, образующемся при распаде π^0 -мезонов, родившихся при соударениях космических лучей с ядрами межзвездной среды). Естественно, мы (имею в виду и себя, и ряд соавторов) одновременно занимаемся и астрофизикой космических лучей, и гамма-астрономией [2, 48–51].

На глазах людей моего поколения астрономия преобразилась — превратилась из оптической во всеволновую; к этому прибавилась астрофизика космических лучей и в перспективе астрофизика нейтрино с высокой энергией. Мне, несомненно, повезло в том отношении, что довольно рано (в 1946 г.) начал наряду с физикой заниматься и «новой астрономией».

Приобщившись к астрономии, я не только интересовался, конечно, радиоастрономией и астрофизикой высоких энергий, о которых шла речь выше, но делал и еще кое-что. Упомяну об исследовании коллапса магнитной звезды, путей проверки общей теории относительности, нагреве межзвездного газа, сверхтекучести нейтронных звезд (ссылки можно найти в [26, 27]).

8. Рассеяние света. Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии

Рассеяние света находилось в центре внимания на кафедре и в лаборатории, возглавлявшихся Г.С. Ландсбергом в МГУ. Я был студентом на этой кафедре, да и потом примыкал, можно сказать, к тем физикам, которые группировались вокруг Л.И. Мандельштама (Н.Д. Папалекси, Г.С. Ландсберг, И.Е. Тамм, А.А. Андронов и др.)¹. Поэтому, естественно, проблема рассеяния света всегда была мне знакома и близка. Как следствие — появление нескольких работ на эту тему, посвященных рассеянию света в гелии II [52], в «обычных» жидкостях [53] и, наконец, вблизи точек фазовых переходов второго рода (с применением раньше всего к $\alpha \rightleftharpoons \beta$ -переходу в кварце). В прошлом считали, что этот $\alpha \rightleftharpoons \beta$ -переход является переходом второго рода или переходом первого рода, близким к переходу второго рода, т.е. близким к трикритической точке. Фактически же в кварце в узком интервале температур вблизи $\alpha \rightleftharpoons \beta$ -перехода появляется какая-то новая неоднородная фаза. В целом картина фазовых переходов вблизи трикритической точки в твердом теле довольно

¹В научной автобиографии следовало бы, вообще говоря, подробнее остановиться не только на собственной работе, но и на «школе» и «учителях», сыгравших роль в моем обучении, развитии и становлении как физика (в данном случае говорю о себе, но, очевидно, это замечание имеет общий характер). Это все же особая тема, которая к тому же фактически затронута в ч. III настоящего сборника. Там я пишу, в частности, об И.Е. Тамме и Л.Д. Ландау, которых считаю своими основными «учителями» (слова «учитель» и «школа» помещены выше в кавычки, поскольку они в рассматриваемом плане являются довольно расплывчатыми и употреблять их я не люблю).

сложна и многообразна. Отражается это и на рассеянии света. Совместно с Л.П. Леванюком и А.А. Собяниным мы потратили немало труда на анализ этой проблемы и, как я думаю, в конце концов многое выяснили [54], но останавливаться здесь на соответствующей теории невозможно за недостатком места, да и как-то не совсем уместно в плане настоящей статьи.

Другая оптическая проблема, которой я уделял немалое внимание, — учет пространственной дисперсии в кристаллооптике. Пространственная дисперсия, т.е. зависимость диэлектрической проницаемости (в общем случае — тензора $\varepsilon(\omega, \mathbf{k})$) от волнового вектора волны \mathbf{k} , совершенно игнорировалась в курсах электромагнитной теории и оптики еще лет тридцать назад. Точнее, уже в первом издании «Электродинамики сплошных сред» Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица (1957 г.) было ясно подчеркнуто, что гиротропия — это эффект именно пространственной дисперсии. Однако эффекты второго порядка по отношению a/λ , где a — атомный размер и $\lambda = 2\pi/k$ — длина волны, только и остающиеся в негиротропной среде, не упоминаются (гиротропия — эффект порядка $a(\lambda)$). Они, эти эффекты, в кристаллах действительно очень малы, хотя были указаны Лоренцем еще в прошлом веке (ссылки см. в [55, 56]). В 1958 г. под влиянием или, лучше сказать, в качестве реакции на появившееся в литературе обсуждение эффектов пространственной дисперсии второго порядка (т.е. порядка $(a/\lambda)^2$) на основе модельных представлений я рассмотрел [57] этот вопрос феноменологически: разлагая тензор $\varepsilon_{ij}(\omega, \mathbf{k})$ или $\varepsilon_{ij}^{-1}(\omega, \mathbf{k})$ в ряд по \mathbf{k} вплоть до членов порядка \mathbf{k}^2 . Так сразу же выявляется оптическая анизотропия кубических кристаллов (именно этот эффект имел в виду Лоренц). Вместе с тем в [57] было отмечено, что в гиротропных кристаллах вблизи линии поглощения может появиться «дополнительная» волна уже при учете членов первого порядка по a/λ . Поскольку весь вопрос об учете пространственной дисперсии в кристаллооптике в то время, можно сказать, созрел и начал довольно широко обсуждаться, мы с В.М. Аграновичем предприняли систематическое рассмотрение этой проблемы, что до известной степени завершилось изданием монографии [56]. Там, а также в статье [55] история развития кристаллооптики с учетом пространственной дисперсии и в ее связи с теорией экситонов изложена довольно подробно.

9. Теория сегнетоэлектрических явлений. Мягкая мода. Границы применимости теории фазовых переходов Ландау

В 1944—1945 гг. в ФИАНе были обнаружены [58] аномальные диэлектрические свойства титаната бария ВаТЮз — наблюдалась очень большая, причем зависящая от температуры диэлектрическая проницаемость ϵ . Скудность данных и поли кристалличность образцов (исследовалась керамика) помешали сразу же понять, что речь идет о новом сегнетоэлектрике (ферроэлектрике). Поскольку я работал (и работаю) в том же институте, то, естественно, заинтересовался результатами работы [58]. Знал я и теорию фазовых переходов Ландау (см. [59]) и поэтому легко построил феноменологическую (термодинамическую) теорию сегнетоэлектриков [60], а также пришел к выводу, что ВаТЮз — именно новый сегнетоэлектрик. Нужно заметить, что теория фазовых переходов Ландау есть теория самосогласованного (среднего) поля и в простейших случаях (скажем, в случае одного параметра порядка) совпадает со схемами, использовавшимися ранее (Ван-дер-Ваальсом, Вейссом и др.). Главное в теории Ландау — это общность подхода и последовательный учет требований симметрии. Но полезна она и в простых условиях, так как работает, можно сказать, автоматически. Этим я фактически и воспользовался, хотя можно было опираться

ся и на развивавшиеся ранее феноменологические теории сегнетоэлектриков (ссылки см. в [60, 61]).

В [60] в качестве параметра порядка используется электрическая поляризация P , в силу чего вблизи точки перехода второго рода термодинамический потенциал записывается в виде

$$\Phi = \Phi_0 + \alpha P^2 + \frac{\beta}{2} P^4 - EP. \quad (8)$$

Вблизи температуры перехода $T = \Theta$ коэффициенты равны $\alpha = \alpha'_\Theta(T - \Theta)$, $\beta = \beta_\Theta$; при $T > \Theta$ вещество является параэлектриком, а при $T < \Theta$ — пирозлектриком, т.е. веществом со спонтанной поляризацией $P_0 \neq 0$, причем

$$P_0^2 = -\alpha/\beta = \alpha'_\Theta(\Theta - T)/\beta_\Theta.$$

Напомним, что такое вещество (или, точнее, также вещество, в котором происходит переход первого рода, близкий к трикритической точке) и называется сегнетоэлектриком. Далее, в слабом поле $P = P_0 + \frac{\epsilon-1}{4\pi}E$, причем

$$\begin{aligned} \epsilon &= 1 + \frac{2\pi}{\alpha'_\Theta(T-\Theta)} \quad (\text{при } T > \Theta), \\ \epsilon &= 1 + \frac{\pi}{\alpha'_\Theta(\Theta-T)} \quad (\text{при } T < \Theta), \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь, разумеется, правильнее заменить 1 на ϵ_0 — проницаемость, не связанную с переходом, или, еще лучше, пользоваться лишь законом Кюри — Вейсса $\epsilon \sim 1/|\Theta - T|$. Отличие в (8) коэффициентов на множитель 2 при $T > \Theta$ и $T < \Theta$ иногда называлось «законом двойки» и было подтверждено экспериментом. В [60] был получен также ряд других формул, обсуждались данные и для некоторых известных ранее сегнетоэлектриков. Что касается BaTiO_3 , то структура пирозлектрической (сегнетоэлектрической) фазы тогда еще не была известна, и она считалась в [60] тетрагональной или ромбоэдрической. Для обоих этих случаев приводятся схемы пьезоэлектрических коэффициентов и подчеркивается, что для BaTiO_3 при $T < \Theta$ появляется не только пирозлектричество, но и пьезоэффект¹. В [60] рассмотрен и случай переходов первого рода, близких к трикритической точке (или, как тогда говорили, к критической точке Кюри, в которой кривая переходов второго рода переходит на $p - T$ -диаграмме в кривую переходов первого рода). Для этой цели к (9) добавлялся член $(\gamma/6)P^6$.

Поляризация P является вектором, и если именно она служит параметром порядка, то этот параметр имеет, вообще говоря, три компоненты. Для сегнетовой соли, имеющей выделенную ось уже в несегнетоэлектрической фазе, параметр порядка можно считать однокомпонентным — это поляризация по выделенной оси [62]. Но титанат бария в параэлектрической фазе (т.е. выше температуры Θ) имеет кубическую симметрию, и нужно рассматривать именно вектор P . В этом смысле теория [60] была правильной, но ограниченной — например не могла выяснить, какой симметрией обладают сегнетоэлектрические фазы. К сожалению, в 1945 г. в связи с отсутствием экспериментальных данных, в силу загруженности другой работой, да и, видимо, просто по недомыслию я не развил теорию переходов для векторного параметра порядка. Но все же после появления некоторых экспериментальных работ сделал это [62, 63] с учетом роли упругих напряжений, но, правда, лишь для переходов второго рода, т.е. без учета членов порядка P^6 . Поэтому были рассмотрены переходы только в тетрагональную или ромбоэдрическую сегнетоэлектрические фазы. Решение же, отвечающее ромбической фазе, получено не было. В этом отношении

¹В качестве курьеза отмечу, что в 50-е годы я давал по поводу пьезоэффекта в BaTiO_3 показания в нашем суде по просьбе правительства США. Дело в том, что в США кто-то предъявил денежные требования в связи с использованием запатентованных им пьезоэлементов из BaTiO_3 . Правительство США привлекло мои показания (т.е., по сути дела, статью [60]) для того, чтобы отклонить иск.

моя работа [63] менее полна, чем появившаяся позже работа Девоншира [64], который учел, правда, лишь один из трех возможных членов порядка P^6 (см. [61, 65]). К сожалению, как уже упоминалось, в этот период советские работы у нас уже не переводились на английский язык¹, не переводились наши журналы и за границей, а статей для публикации за рубежом мы тоже не посылали. Последствия ясны, но мне не хочется затрагивать здесь каких-либо приоритетных вопросов (частично это сделано в [61] — это был «заказанный» доклад, да и написанный почти через сорок лет после упомянутых публикаций).

Помимо сказанного в статьях [62, 63] было фактически введено понятие «мягкая мода», ставшее впоследствии очень популярным. Правда, термина «мягкая мода» в [62, 63] нет, и, кроме того, я не придал всему этому вопросу должного внимания. Но фактом является то, что введение концепции мягкой моды в литературе приписывается авторам, сделавшим это на десять лет позже и, как я считаю, по крайней мере в одном случае, ничуть не полнее, чем в [62, 63]. Подробнее об этом сказано в статье [61]. Вопрос о мягкой моде мы много обсуждали и в связи с проблемой рассеяния света [54].

Сегнетоэлектрики во многом аналогичны ферромагнетикам, недаром в литературе на английском языке говорят о ферроэлектриках. Поэтому упомяну здесь о статьях [66, 67], в которых были рассмотрены ферромагнетики вблизи точки Кюри, причем в [67] речь идет о доменных стенках, в которых изменяется не направление намагничивания, как обычно, а его величина. Упомяну и о статье [68], посвященной возможности существования поверхностного ферромагнетизма.

В заключение настоящего раздела остановлюсь на границах применимости теории фазовых переходов Ландау. Как уже подчеркивалось (разумеется, это общеизвестно), эта теория есть теория среднего поля, хотя и позволяет вычислять флуктуации тех или иных величин, пока они достаточно малы. Что означает последняя оговорка? Очевидно, если мы вычисляем какую-то величину, скажем поляризацию в сегнетоэлектрике, то теорией Ландау можно пользоваться, пока выполняется условие

$$\overline{(\Delta P)^2} \ll P_0^2, \quad (10)$$

т.е. пока флуктуации поляризации малы по сравнению со спонтанной поляризацией P_0 (при использовании потенциала (8), как уже упоминалось $P_0^2 = -\alpha/\beta$; выше $\overline{(\Delta P)^2} = \overline{(P - P_0)^2}$, где черта отвечает статистическому усреднению и, разумеется, $\overline{\Delta P} = 0$). Применение такого простого критерия приводит к выводу, что теория Ландау применима, если

$$\tau = \frac{\Theta - T}{\Theta} \gg \frac{\kappa_B \Theta \beta_\Theta^2}{32\pi^2 \alpha'_\Theta \delta^3}, \quad (11)$$

где δ — коэффициент перед членом $(\nabla P)^2$, который нужно добавить к термодинамическому потенциалу (7) при учете неоднородности параметра порядка, т.е. в данном случае — поляризации P ; кроме того, в (11), как и раньше, Θ — температура перехода, $\alpha = \alpha'_\Theta(T - \Theta)$ и, наконец, $\kappa_B = 1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/К — постоянная Больцмана. Простые вычисления, приводящие к неравенству (11), приведены в статье [69], а также в [61], причем выделяется только часть флуктуации $\overline{(\Delta P)^2}$, существенно зависящая от температуры T .

Заметим, что в [69] числовой коэффициент $1/(32\pi^2)$ в конечном выражении не выписывался. Так иногда поступают и другие авторы (см., например, [59, 70]), поскольку в случае неравенства коэффициент не так уже важен. Однако фактически малость коэффициента существенна при конкретном обсуждении тех или иных переходов. Критерий (11) с таким

¹Издание прекрасного журнала «Journal of Physics USSR» было прекращено в 1947 г. в связи с кампанией борьбы против космополитизма. Сделано это было столь резко, что рассыпали набор уже готовых номеров (так, в статье [32] имеется ссылка на ее перевод в «Journal of Physics», но соответствующий номер журнала так и не появился).

же или иным числовым коэффициентом получается и несколько иными способами, чем изложенный (см. [71; 59, § 146, 147]).

В 1960 г. советские журналы уже начали переводить (преимущественно в США) на английский язык, и, возможно, поэтому статья [69] часто цитировалась и цитируется. Критерий (11) получил даже название «критерий Гинзбурга», а число $Gi = \kappa_B^2 \Theta \beta_\Theta^2 / (a'_\Theta \delta^3)$ было (впервые, кажется, в книге [70]) названо числом Гинзбурга. Конечно, лестно иметь «свой» критерий и «свое» число. Я сам, однако, никогда не пользуюсь такой терминологией. Дело здесь не в показной скромности, а в том, что, по моему мнению, в русском языке (в отличие от английского) употребление автором своей фамилии как-то «не звучит», не принято (поэтому же я ниже не пользуюсь, хотя это и распространено в литературе, названиями «теория Гинзбурга — Ландау» и «теория Гинзбурга — Питаевского»).

Представляет интерес конкретное обсуждение на основе критерия (11) области применимости теории Ландау в применении к различным фазовым переходам (см. [69, 72], некоторые цитируемые ниже статьи, посвященные теории сверхтекучести гелия II вблизи λ -точки, а также статью [73], касающуюся теории высокотемпературных сверхпроводников).

10. Сверхтекучесть гелия II вблизи λ -точки. Другие работы по сверхтекучести

Появление теории сверхтекучести Ландау [28] явилось для меня одним из ярких событий в жизни. Действительно, это замечательная работа. Но в некоторых отношениях она оказалась незавершенной. Я уже не говорю о том, что сам Ландау в дальнейшем существенно изменил [74] принятый им сначала спектр возбуждений. Более существенно, что Ландау не считал бозе-статистику атомов ^4He определяющей для появления сверхтекучести. Между тем Фейнман показал [75], что бозе-статистика для появления сверхтекучести необходима (впрочем, еще до работ Фейнмана это стало ясно после получения в 1948 г. жидкого ^3He , резко отличающегося от жидкого ^4He). Разумеется, понимание этого обстоятельства никак не сказалось на построенной Ландау [28] двухжидкостной гидродинамике гелия II. Наконец, и это сейчас для нас главное, Ландау не рассматривал область вблизи λ -точки, т.е. перехода $\text{HeII} \rightleftharpoons \text{HeI}$. Его квазимикроскопический подход не годится в этой области, так как концентрация возбуждений (квазичастиц) становится слишком большой и они уже не образуют газ. Гидродинамическая же теория основана, в частности, на введении плотности сверхтекучей части жидкости (HeII) ρ_s , которая считается некоторой заданной функцией p и T или других термодинамических переменных. Между тем фазовый переход — в данном случае λ -переход в гелии — должен быть связан с некоторым параметром порядка η и его изменением, причем η не задается, а определяется из соответствующего уравнения, скажем следующего из теории фазовых переходов Ландау. Естественно предполагать, что η имеет какое-то отношение к ρ_s . Но, насколько я знаю и помню, Ландау — автор как теории сверхтекучести, так и теории фазовых переходов — не интересовался этой проблемой и, во всяком случае, никакого параметра порядка для HeII не вводил. Я же, напротив, заинтересовался (причем еще в 1943 г.) именно вопросом о переходе HeII в HeI — этому посвящено дополнение в моей первой статье [76], посвященной теории сверхпроводимости, о которой еще пойдет речь ниже. Нужно отметить, что никакого конкретного результата в [76] получено не было, высказано лишь довольно туманное предположение о возможности термодинамического подхода к вычислению критической скорости сверхтекучего потока. Эта мысль была в какой-то мере оформлена в статье [77], где в качестве параметра порядка выбрана величина ρ_s и использован термодинамический потенциал $\Phi_{\text{HeII}} = \Phi_{\text{HeI}} + \alpha \rho_s + \frac{1}{2} \beta \rho_s^2 + \frac{1}{2} \rho_s v_s^2$. Отсюда следует, что в состоянии равновесия

$\rho_s = \rho_{se} - v_s^2/2\beta$, где $\rho_{se} = |\alpha|/\beta$, т.е. ρ_s зависит от v_s и существует некоторая критическая скорость, при которой $\rho_s = 0$. Впрочем, в основном в заметке [77] обсуждается некоторое другое объяснение появления критической скорости. Все это имеет в лучшем случае лишь историческое значение и не заслуживает более подробного освещения. То же относится к вопросу о поверхностной энергии, связанной с тангенциальным разрывом скорости в гелии II [78]. Поскольку атомы гелия прилипают к стенке, то при сверхтекучем течении со скоростью $v_s \neq 0$ на стенке должен появляться тангенциальный разрыв скорости, а с ним, казалось бы, будет связана некоторая довольно значительная энергия [78]. Однако специально поставленные опыты показали, что такая энергия с большой степенью точности равна нулю [79]. Отсюда и возникла гипотеза, что на самой стенке $\rho_s = 0$ и поэтому поток $\rho_s v_s$ тоже равен нулю, несмотря на то что $v_s \neq 0$. Другими словами, разрыв скорости оказывается в интересующем нас плане невинным. Именно понимание этого обстоятельства дало толчок для построения теории сверхтекучести гелия II вблизи λ -точки, что и было сделано Л.П. Питаевским и мной [80]. Но к тому времени была уже довольно давно построена Ψ -теория сверхпроводимости [81], в которой роль параметра порядка играет макроскопическая волновая функция Ψ , причем $|\Psi|^2 \sim n_s$, где n_s — концентрация «сверхпроводящих» электронов. Поэтому для гелия в [80] аналогичным образом была в качестве параметра порядка введена функция $\Psi = \eta e^{i\varphi}$, причем

$$\rho_s = m\eta^2 = m|\Psi|^2, \quad \mathbf{v}_s = \frac{\hbar}{m}\nabla\varphi, \quad (12)$$

где для массы m в выражении для \mathbf{v}_s , нужно (а в выражении для ρ_s можно) выбрать массу атома ^4He .

Термодинамический потенциал гелия II записывался в виде

$$\Phi_{\text{HeII}} = \Phi_{\text{HeI}} + \frac{\hbar^2}{2m}|\nabla\Psi|^2 + \alpha|\Psi|^2 + \frac{\beta}{2}|\Psi|^4, \quad (13)$$

причем, как и обычно в теории среднего поля (теории Ландау), считалось, что

$$\alpha = \alpha'_{T_\lambda}(T - T_\lambda), \quad \beta = \beta_{T_\lambda} = \text{const}. \quad (14)$$

Кроме того, в согласии со сказанным ранее принимается граничное условие на твердой стенке (индекс 0)

$$(\Psi)_0 = 0, \quad (15)$$

в то время как в Ψ -теории сверхпроводимости на границе сверхпроводника с вакуумом $d\Psi/dz = 0$ (z — координата, перпендикулярная границе). Из (13) следует, в частности, что для покоящегося гелия II вблизи λ -точки

$$\rho_{se} = m|\Psi_e|^2 = \frac{m\alpha'_{T_\lambda}(T_\lambda - T)}{\beta_{T_\lambda}}. \quad (16)$$

Теория позволяет решать целый ряд задач (поведение пленок гелия II в капиллярах и щелях, изменение ρ_s с ростом v_s и т.д.). На нестационарные процессы схема [80] была обобщена Питаевским [82].

Успешное применение Ψ -теории сверхпроводимости [81] позволяло надеяться на то, что и Ψ -теория сверхтекучести [80] окажется весьма эффективной для анализа поведения гелия II вблизи λ -точки. Но такое заключение неверно. Дело в том, что в случае сверхпроводников приближение среднего поля хорошо применимо практически вплоть до самой критической температуры T_c . В этом легко убедиться [69], используя неравенство (11).

Здесь уместно напомнить смысл коэффициента δ при градиентном члене $(\nabla\eta)^2$ в выражении для термодинамического потенциала (этот член добавляется к (8), где выбран

параметр $\eta = P$). Сразу ясно, что при неоднородном распределении параметра порядка характерное расстояние — длина когерентности, на котором изменяется распределение η в пространстве, — порядка $\xi \sim (\delta/\alpha)^{1/2}$; в самом деле, при таком градиенте параметра порядка $\delta(\nabla\eta)^2 \sim \delta\eta^2/\xi^2 \sim |\alpha|\eta^2$, т. е. «корреляционная энергия» $\delta(\nabla\eta)^2$ порядка объемной энергии $|\alpha|\eta^2$. Количественное выражение для ξ , получают, рассматривая функцию корреляции для флуктуации параметра η , в результате чего получается $\xi^2 = 2\delta/\Phi''_e$, где $\Phi''_e \equiv (\partial^2\Phi/\partial\eta^2)_e$ — равновесное значение соответствующей производной. Для потенциала типа (8), (13) выше точки перехода $\eta_e = 0$ и $\Phi''_e = 2\alpha = 2\alpha'_{T_\lambda}(T - T_\lambda)$, откуда

$$\xi = \sqrt{\frac{\delta}{\alpha}} = \sqrt{\frac{\hbar^2}{2m\alpha'_{T_\lambda}(T_\lambda - T)}} = \frac{3,5 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{T_\lambda - T}} \text{ [см]}, \quad (17)$$

где в последнем выражении использованы известные значения коэффициентов для HeII (подробнее см. [80, 83–86]; выше одной и той же буквой η обозначен как параметр порядка, так и в случае Ψ -теории модуль этого параметра порядка η , что не должно, однако, привести к недоразумениям). Из (17) ясно, что в жидком гелии корреляционная длина велика по сравнению с атомными размерами $a \sim 3 \cdot 10^{-8}$ см (при $T = T_\lambda$ среднее междоатомное расстояние в гелии $a = 3,57 \cdot 10^{-8}$ см) лишь в непосредственной близости к λ -точке. Но при этом, как можно убедиться, используя критерий (11), флуктуации уже велики и вся схема (13), (14) не может использоваться для ряда количественных расчетов (см. [83–86]). Забегая вперед, заметим, что в «обычных» сверхпроводниках длина ξ велика (по сути дела, это связано с тем, что в (14) теперь фигурирует не масса атома гелия m_{He} , а масса электрона). Поэтому-то Ψ -теория сверхпроводимости [81] имеет обычно довольно широкую область применимости.

Непригодность теории среднего поля для жидкого гелия особенно ярко, пожалуй, проявляется в том, что плотность ρ_s вблизи λ -точки следует не закону (16), а зависимости

$$\rho_{se} = 0,35\tau^\zeta \text{ г} \cdot \text{см}^{-3} \quad (\tau = (T_\lambda - T)/T_\lambda), \quad (18)$$

где в интервале значений $10^{-6} \lesssim \tau < 10^{-2}$ показатель $\zeta = 0,672 \pm 0,001$ или практически $\zeta = 2/3$ (согласно (16) было бы $\zeta = 1$).

В связи со сказанным Ψ -теория сверхтекучести в общем и не получила распространения. Кроме того, как раз вскоре после ее появления теория фазовых переходов начала бурно развиваться на основе представлений о масштабной инвариантности критических явлений и теоретико-полевого подходе с использованием группы перенормировок (см. [59, 70]). Успехи на этом пути несомненны, но, как я думаю, Ψ -теория сверхтекучести при ее соответствующем обобщении сохраняет известное значение, а быть может (это еще до конца не выяснено), и окажется достаточно хорошо пригодной для решения большого числа задач. Дело в том, что теорию фазовых переходов Ландау можно обобщить (пусть и полуэмпирически), сохранив ее общий подход, но изменив температурную зависимость (14) коэффициентов α , β и т.д. в выражении типа (13). Насколько я знаю, такой подход впервые был предложен Ю.Г. Мамаладзе в 1967 г. [87]. Затем обобщенная теория обсуждалась рядом авторов, причем А. А. Собянин и я уже ряд лет и вплоть до настоящего времени применяли ее для анализа сверхтекучести вблизи λ -точки (см. [83–86], где приведен также ряд ссылок, в частности, на другие наши статьи). В этой обобщенной Ψ -теории сверхтекучести заменяющий (13) потенциал Φ записывается в виде

$$\Phi_{\text{HeII}} = \Phi_{\text{HeI}} + \frac{\hbar^2}{2m}|\nabla\Psi|^2 + \alpha|\Psi|^2 + \frac{\beta}{2}|\Psi|^4 + \frac{\gamma}{6}|\Psi|^6, \quad (19)$$

где

$$\alpha = -A\tau|\tau|^{1/3}, \quad \beta = \beta|\tau|^{2/3}, \quad \gamma = \text{const}, \quad \tau = (T_\lambda - T)/T_\lambda.$$

Коэффициенты в (19) подобраны так, чтобы для равновесного гелия II имела место зависимость (18) с $\zeta = 2/3$. Получающееся на основе (19) уравнение для Ψ позволяет решать широкий круг задач. Современное состояние проблемы изложено в статьях [84–86], из которых [85] особенно легко доступна. Поэтому, да и по техническим причинам (опять же недостаток места!) мы не будем входить в какие-либо детали (по этой же причине в (19) по сравнению с [84–86] несколько изменены для простоты обозначения для коэффициентов). Судьба обобщенной Ψ -теории сверхтекучести еще не ясна, поскольку необходимых для ее проверки количественных экспериментов совершенно недостаточно. Если теория окажется отвечающей широкому кругу данных с точностью порядка 1%, как мы на то надеемся, ее использование будет полностью оправданно, ибо более строгие методы в применении к ряду задач (размерные эффекты и др.) несравненно сложнее. В таком же положении находится в принципе и почти любая феноменологическая теория. Ясно, например, что все задачи аэродинамики можно решить, опираясь на кинетическую теорию газов. Но, вообще говоря, просто безумием было бы это делать в области применимости уравнений гидродинамики. Аналогична ситуация в случае кристаллооптики (см. разд. 8 и [56]) и Ψ -теории сверхпроводимости. Недостаточное внимание к современной Ψ -теории сверхтекучести [83–86] я могу объяснить лишь тем, что ее путают с теорией самосогласованного поля [80] (см. выше), а также просто влиянием моды и непониманием физики дела.

Помимо Ψ -теории сверхтекучести вблизи λ -точки, теории сверхтекучести были посвящены мои статьи, касающиеся рассеяния света [52], критических скоростей [77], возможной сверхтекучести молекулярного водорода [88], сверхтекучести нейтронных звезд и вообще в астрофизике [89] и, наконец, термомеханическому циркуляционному эффекту в неравномерно нагретом кольцеобразном сосуде со сверхтекучей жидкостью [90, 91]. В последнем случае речь идет о том, что в неравномерно нагретом кольцеобразном (замкнутом, неодносвязном) сосуде со сверхтекучей жидкостью (гелием II) и двумя неодинаковыми «слабыми» звеньями должна возникнуть циркуляция сверхтекучей части жидкости. Любопытно, что мысль о существовании такого эффекта возникла [90] по аналогии с термоэлектрическим эффектом в сверхпроводящей цепи (см. ниже). С другой стороны, заключение о существовании термоэлектрических явлений в сверхпроводниках, ранее отрицавшееся, было сделано на много лет раньше [92], используя аналогию с гидродинамикой сверхтекучей жидкости. Указанный в [90, 91] эффект уже наблюдался, но, насколько я знаю, не привлек к себе особого внимания. Между тем здесь открываются богатые возможности для изучения сверхтекучести [91].

11. Теория сверхпроводимости

Работа Ландау по теории сверхтекучести [28] заканчивается обсуждением проблемы сверхпроводимости. Сверхпроводимость с полным основанием считается аналогичной сверхтекучести, а также связывается с наличием энергетической щели в спектре «электронной жидкости» в металле. В уже упоминавшейся статье [76], написанной в эвакуации в Казани в 1943 г., я постулировал некоторый спектр «возбуждений» (квазичастиц — электронов и дырок) в сверхпроводнике. При этом в отличие от спектра в нормальном состоянии для сверхпроводника в спектр вводилась некоторая щель Δ , не зависящая от температуры. Затем для такого спектра вычислялись свободная энергия, глубина проникновения магнитного поля и т.д. Сравнение с опытными данными, относящимися к 1940 г., привело, например, для ртути к значению $\Delta/(k_B T_c) = 3,1$. Сама же обсуждаемая схема отношение $\Delta/(k_B T_c)$ не фиксирует. Между тем микротекория сверхпроводимости Бардина, Купера и Шриффера (БКШ), построенная через 14 лет (в 1957 г.), в случае слабой связи приводит в согласии с современными экспериментами к значению $2\Delta(0)/(k_B T_c) = 3,53$; кроме того, щель $\Delta(T)$ зависит от температуры, причем $\Delta(T_c) = 0$. Таким образом, ква-

зимикроскопическая модель, построенная в [76], была довольно далека от реальности, хотя и содержала некоторые правильные качественные элементы. Эта «квазимикроскопическая теория» сверхпроводимости излагалась и несколько развивалась в монографии [93] и обзоре [94], однако сейчас может иметь лишь чисто исторический интерес.

Другая судьба у моей второй, сделанной в том же 1943 г. работы по теории сверхпроводимости [92]. Тогда считалось (это повторялось и много лет позже; см., например, [95]), что термоэлектрические эффекты в сверхпроводящем состоянии полностью отсутствуют. Фактически же это не так, хотя и, в самом деле, термоэлектрические эффекты в сверхпроводнике в известном смысле малы и трудно заметны. Дело в том/что в сверхпроводящем состоянии могут течь как сверхпроводящий ток (с плотностью \mathbf{j}_s) так и нормальный ток (с плотностью \mathbf{j}_n), переносимый «нормальными» электронами. Очевидно, \mathbf{j}_s и \mathbf{j}_n аналогичны соответственно потокам $\rho_s \mathbf{v}_s$ и $\rho_n \mathbf{v}_n$ в сверхтекучей жидкости. В незамкнутом сверхпроводнике (скажем, стержне) при наличии градиента температуры ток \mathbf{j}_n не равен нулю, но в изотропном материале этот ток компенсируется током \mathbf{j}_s , так что полный ток $\mathbf{j} = \mathbf{j}_s + \mathbf{j}_n$ равен нулю. Поэтому наличие термоэлектрического тока \mathbf{j}_n приводит лишь к дополнительной теплопередаче. Этот момент в [92] был отмечен, но соответствующий термоциркуляционный коэффициент теплопередачи жс не был вычислен: для этого нужна была отсутствовавшая тогда микротеория сверхпроводимости. Такие вычисления, проведенные много лет спустя рядом авторов на основе теории БКШ, привели к оценке

$$\kappa_c/\kappa_{el} \sim k_B T_c/E_F, \quad (20)$$

где κ_{el} — коэффициент теплопроводности, связанный с «нормальными» электронами в сверхпроводнике, и E_F — энергия Ферми в рассматриваемом металле. Для обычных (невысокотемпературных) сверхпроводников $T_c \lesssim 10$ К и $E_F \sim 10$ эВ $\sim 10^5$ К, откуда $\kappa_c/\kappa_{el} \lesssim 10^{-4}$. Но, как сказано, этот эффект в [92] и не обсуждался. Было, однако, обращено внимание на то, что компенсация \mathbf{j}_n и \mathbf{j}_s не имеет места в анизотропном сверхпроводнике (при несовпадении направления ∇T и осей симметрии кристалла), а также в пространственно неоднородном сверхпроводнике. Побочным результатом работы [92] явилось обобщение известной тогда электродинамики сверхпроводников Лондонов на анизотропный случай. Наблюдение термоэлектрических эффектов в сверхпроводящем состоянии по ряду причин довольно затруднительно и ряд лет не привлекало к себе внимания. Первые экспериментальные данные в этой области были получены только в 1974 г. (через 30 лет после появления статьи [92]!). Впрочем, картина недостаточно ясна и по сей день. Ограничимся здесь ссылками на обзор [96] и статьи [97–99], а также замечанием, касающимся ВТСП — высокотемпературных сверхпроводников [99]. В этом случае оценка (20) приводит уже к значению $\kappa_c/\kappa_{el} \sim 0,1$ (при $T_c \sim 100$ К и $E_F \sim 0,1$ эВ). Возможно, что в ВТСП термоциркуляционная теплопередача еще больше, так как оценка (20) весьма груба и не относится к сверхпроводникам не типа БКШ (см. [99]). По этой и некоторым другим причинам изучение термоэлектрических явлений в ВТСП должно привлечь к себе внимание [99]. Впрочем, это относится и к «обычным» сверхпроводникам. Любопытно, что [99] — моя сейчас последняя научная работа, опубликованная через 45 лет (!) после статьи [92], положившей начало обсуждению этой проблемы, которая все еще «жива».

В те далекие годы я продолжал рассматривать и различные другие вопросы теории сверхпроводимости [93, 100–102], но здесь нужно остановиться лишь на работе [101]. В ней было показано, что теория Лондонов приводит к неверным результатам при рассмотрении разрушения сверхпроводимости тонких пленок и при вычислении поверхностной энергии σ_{ns} на границе между сверхпроводящей и нормальной фазами. Точнее, теорию Лондонов можно «спасти», если ввести поверхностную энергию порядка $\lambda H_c^2/8\pi$, где λ — глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник, а H_c — термодинамическое критическое магнитное поле. Таким образом, речь шла о введении (а не вычислении) еще

одного параметра, и, главное, можно было бы ожидать появления поверхностной энергии порядка $aH_c^2/(8\pi)$, где $a \sim 10^{-8} \div 10^{-7}$ см — атомный размер, в то время как в сверхпроводниках вместо a фигурирует $\lambda \sim 10^{-5}$ см. Итак, встала задача о выяснении природы и вычислении поверхностной энергии. Да и в целом стало ясно, что теория Лондонов непригодна в сильных полях H , сравнимых с H_c . Поставленная задача и была в 1950 г. решена в Ψ -теории сверхпроводимости [81], о которой уже несколько раз упоминалось.

Нарушая исторический порядок событий, нам здесь легче всего пояснить основную идею Ψ -теории сверхпроводимости, опираясь на сказанное в разд. 10 о Ψ -теории сверхтекучести. Отличие состоит в том, что в сверхпроводнике течет ток, определяемый величиной $|\Psi|^2$, пропорциональной концентрации «сверхпроводящих электронов». Другими словами, речь идет о сверхтекучести заряженной жидкости. В этой связи термодинамический потенциал (свободная энергия) сверхпроводника имеет вид (13), но с заменой градиентного члена на следующий:

$$\frac{1}{2m}|\hbar\nabla\Psi - \frac{e}{c}\mathbf{A}\Psi|^2, \quad (21)$$

где \mathbf{A} — векторный потенциал магнитного поля $\mathbf{H} = \text{rot } \mathbf{A}$; разумеется, к (13) нужно добавить также энергию поля $H^2/(8\pi)$. Поскольку Ψ -теория сверхпроводимости выдержала испытание временем (в своей области применимости), она широко используется и излагается в учебниках (см., например, [103]). По этой причине здесь можно не вдаваться в подробности и сделать лишь ряд замечаний. Некоторые электродинамические задачи на основе Ψ -теории были решены уже в [81]. В дальнейшем я подробнее обсуждал те же и другие вопросы, касающиеся: поведения тонких пленок [104], учета анизотропии [105], сравнения теории с опытом [106, 107], переохлаждения и перегрева [108], ферромагнитных сверхпроводников [109], квантования магнитного потока [ПО] и некоторых других задач [111]; упомяну также обзор [112].

Любопытна история (см. [113, 114]), относящаяся к определению величины заряда e в (21). Мне казалось, что этот заряд заранее не определен и может иметь некоторое эффективное значение e_{ef} . Из сравнения с экспериментом следовало по имевшимся тогда данным [106], что $e_{ef} = (2 \div 3)e$, где e — заряд электрона. Но Ландау отметил, что введение эффективного заряда, могущего зависеть от координат, недопустимо, ибо нарушает градиентную инвариантность [106]. Поразительно, что ни я и никто другой тогда не сообщили, что заряд e_{ef} в (21) может иметь некоторое универсальное значение, например $2e$ (последнее как раз и следует из теории БКШ и подтверждается экспериментом [107]).

Сверхпроводимость много лет была загадочным, необъясненным явлением и уже поэтому привлекала к себе особое внимание. Я и тогда понимал, а сейчас еще яснее это вижу, что создание микротeorии сверхпроводимости было не в моих возможностях. Однако следить за развитием событий и обдумывать проблему на качественном уровне было, конечно, доступным и интересным делом. Но вот в 1957 г. появилась теория БКШ, и завеса таинственности спала. Я воспринял это событие со смесью огорчения и облегчения. Во всяком случае, решил больше не заниматься сверхпроводимостью, было много других планов. Но судьба сложилась иначе. Сначала оставались какие-то «хвосты» или возникали задачи, которые хотелось решить или обсудить [107, 108, 110, 111]. Потом возник интерес к сверхпроводимости в космосе [115, 89], и, наконец, в 1964 г. я увлекся проблемой высокотемпературной сверхпроводимости (занимаюсь ею и сейчас).

Получилось это так. Возникла мысль о возможности существования поверхностной сверхпроводимости и, конкретно, сверхпроводимости электронов, находящихся на поверхностных (таммовских) уровнях. Мы рассмотрели этот вопрос [116] в духе теории БКШ. О флуктуациях тогда не думали. В дальнейшем выяснилось, что в двумерном (не говоря уже об одномерном) случае флуктуации в некоторых условиях препятствуют упорядочению. Сейчас ясно, однако, что двумерная сверхпроводимость все же в принципе возможна.

Заманчиво, конечно, было бы иметь диэлектрик в объеме и сверхпроводник на поверхности. Эта проблема остается на повестке дня. Но тогда развитие пошло по другому пути. Появилась статья Литтля, в которой обсуждалась возможность резкого повышения критической температуры T_c в квазиодномерной цепочке за счет взаимодействия электронов проводимости со связанными электронами в боковых «отростках» [117]. Однако одномерный вариант имеет недостатки (большие флуктуации, трудность реализации), в силу чего, да и независимо от этого, я сразу же соединил, можно сказать, работы [116] и [117] — предложил двумерный вариант высокотемпературного сверхпроводника (металл с диэлектрическим покрытием) [118]. В дальнейшем этот вариант был обсужден подробнее [119] — речь шла об экситонном механизме сверхпроводимости¹, исследовании «сэндвичей» диэлектрик — металл — диэлектрик и слоистых соединений. С начала 70-х годов исследование проблемы высокотемпературной сверхпроводимости было довольно широко развернуто в Отделе теоретической физики ФИАНа. Плодом явилась первая в мировой литературе монография на эту тему [120], а также ряд последующих исследований (см. сборник, цитированный в ссылке [86]).

Думаю, что деятельность в области высокотемпературной сверхпроводимости [117–120] до ее открытия была разумной и полезной. Были указаны в качестве вероятных «кандидатов» слоистые (квазидвумерные) материалы, указано на отсутствие принципиальных запретов на значения $T_c \lesssim 300$ К и т.д. Вместе с тем теория не могла дать вполне конкретных указаний на выбор материала, теория ВТСП (на уровне, скажем, теории БКШ) не была создана. Нужно ли этому удивляться? Конечно, нет. Достаточно сказать, что после открытия в 1986–1987 гг. устойчивых и воспроизводимых ВТСП прошло уже (ко времени, когда пишется настоящая статья) около трех лет². Тем не менее теория таких ВТСП не построена, и на этот счет идут горячие споры (см. [114, 121, 122]). В такой ситуации работы [117–120] нередко игнорировались; происходит это и сейчас. Ну что же, в какой-то мере подобное отношение можно понять: благими пожеланиями, как говорится, вымощена дорога в ад. Безусловное признание получают обычно либо достаточно законченная теория, либо, если говорить об экспериментах, недвусмысленные и надежные результаты, например предъявление устойчивого и воспроизводимого ВТСП.

Когда ВТСП были открыты, я испытал радость и старался популяризировать это открытие [123]. В какой мере моя деятельность в области ВТСП действительно была полезной, могут судить лишь другие, сам же я против предъявления приоритетных претензий и, разумеется, не делаю этого (см. [114] и разд. 12).

Мы, естественно, и сейчас активно интересуемся проблемой ВТСП, обсуждаем ее. Результат, касающийся термоэлектрического эффекта, уже был упомянут (см. [99]). Весьма существенным мне представляется построение макротeorии сверхпроводников; к ним относятся известные ВТСП с малой длиной когерентности [73]. Здесь удалось сочетать обычную Ψ -теорию сверхпроводимости [81] для анизотропного материала [105] с обобщен-

¹Под экситонным механизмом сверхпроводимости понимается в общем механизм типа БКШ, в котором роль фононов играют электронные возбуждения — экситоны. По сути дела, в [117, 118] имелся в виду, пусть и не в явном виде, именно экситонный механизм: характерная энергия экситонов E_{ex} значительно выше характерной энергии фононов $\hbar\omega_{ph} \sim k\Theta_D$ (Θ_D — дебаевская температура). За счет этого и может повыситься критическая температура T_c (подробнее см. [119, 120, 114]). В последнее время в связи с исследованием ВТСП обсуждаются и другие варианты, когда притяжение между электронами проводимости также обусловлено не фононами, а электронами, находящимися в системе. В частности, речь идет о роли спиновых возбуждений (спиновых волн). Во избежание путаницы, нам представляется целесообразным называть экситонным механизмом только «электронный» механизм, в котором спиновые эффекты не играют существенной роли.

²Высокотемпературными сверхпроводниками следовало бы, на мой взгляд, называть сверхпроводники с $T_c > T_{b,N_2} = 77,4$ К (T_{b,N_2} — температура кипения азота при атмосферном давлении). Такие материалы (впервые сплавы $6YBa_2Cu_3O_{7-y}$) были получены лишь в начале 1987 г. Однако в литературе принято относить к ВТСП и материалы с $T_c \gtrsim 30$ К, обнаруженные в 1986 г.

ной Ψ -теорией, пригодной в критической области (см. разд. 10 и [83–87]). Правда, все это сделано в предположении, что параметром порядка является скалярная комплексная функция Ψ . Но в ВТСП, а также сверхпроводниках с «тяжелыми фермионами» параметр порядка может оказаться и более сложным (см. [122]). Микротеорией ВТСП я не занимаюсь, лишь стараюсь следить за ее созданием. Те задачи, которыми сейчас активно интересуюсь, это макротеория ВТСП, в частности для различных параметров порядка, а также теория термоэлектрических эффектов. Имеется, конечно, немало и других интересных вопросов¹. К сожалению, как я уже писал об этом в статье «Заметки по поводу юбилея» (см. с. 223 в настоящем сборнике), после примерно 65 лет мне трудно работать как следует (сейчас мне уже существенно больше лет — я родился 4 октября 1916 г.). К тому же в апреле 1989 г. я был выбран народным депутатом СССР от АН СССР и должен, пока не подал в отставку (см. газету «Поиск», N 8, июнь 1989 г.), уделять много внимания общественной деятельности. По этим причинам я довольно скептически оцениваю перспективы своей дальнейшей научной работы. Но сдаваться не хочу, стараюсь следить за развитием событий и, быть может, смогу еще кое-что сделать. Хорошим стимулом служит то обстоятельство, что у работающих в области сверхпроводимости имеется некая привлекательная цель, можно сказать, мечта. Если до 1987 г. такой мечтой было создание ВТСП — высокотемпературных сверхпроводников ($T_c > T_{b,N_2} = 77,4$ K), то теперь мечта — создание «комнатотемпературных» сверхпроводников (КТСП; $T_c \gtrsim 300$ K). Статус этой проблемы сегодня примерно такой же, как был в отношении ВТСП до 1986–1987 гг.

12. Заключительные замечания

Настоящая статья вопреки моим первоначальным намерениям и ожиданиям оказалась весьма длинной. Поэтому по ходу ее написания старался кое-что сокращать, ссылаться преимущественно на обзоры (включая книги) и т.д. При этом, однако, совсем не был отражен и даже не упомянут ряд работ, которые я считаю заслуживающими (или заслуживавшими) некоторого внимания. Упомяну об уширении линий рэлеевского рассеяния света в газах [125], о дисперсии звука в жидкостях [126] и дисперсионных соотношениях в акустике [127], об исследовании напряжений оптическим методом [128] и излучении микрорадиоволн (было предложено использовать ондуляторы) [129], о теории электрических флуктуации [130] и самосогласованной теории ферромагнетиков [131], о роли квантовых флуктуации гравитационного поля [132] и теории вандерваальсовых сил [133]. Перечисленное можно было бы несколько продолжить, но это вряд ли целесообразно, тем более что все опубликованное до 1977 г. довольно полно указано в [26].

Удалась ли моя попытка написать научную автобиографию? Не мне судить, но весьма в этом сомневаюсь. Получилось что-то вроде расширенной справки. Самому мне, правда, писать было небезынтересно, посмотрел старые работы, подвел итоги. Статья пригодится и тем, кто будет писать мою посмертную биографию². Ну, а все остальные, как отнесутся? Не знаю, утешаю себя мыслью, уже высказанной во введении, что статью можно и не читать.

В заключение хочу коснуться вопросов приоритета. На эту тему уже кое-что сказано выше и в статье «Как и кто создал теорию относительности?» (с. 136). Упоминаю о приоритете также в статье о Ландау (см. с. 285).

¹К их числу отношу проблему сверхдиамагнетизма, почему-то не привлекающую внимания (см. [124]).

²Лондонское Королевское общество публикует довольно объемистые посмертные биографии всех своих членов и иностранных членов («Biographical Memories of Fellows of the Royal Society»). Поскольку Я. Б. Зельдович был таким иностранным членом и я тоже им являюсь, то меня и попросили написать соответствующий «биографический мемуар». Это большая и тяжелая работа, в которой я полностью опирался на труды [1], без них и «мемуар» был бы хуже и потрудиться пришлось бы значительно больше.

Я не «приоритетчик», хотя и замечаю обычно, цитируют меня или нет. Однако, как правило, совершенно не обижаюсь на отсутствие ссылок. Дело в том, что физическая литература колоссально разрослась и сослаться на все статьи невозможно. Нельзя и за всем уследить. Стараются ссылаться на обзоры, на некоторые статьи, вошедшие в «обойму», и т.д. Лишь немногие как-то намеренно не делают даже нужных ссылок, но стоит ли обращать на таких людей внимание?

Некоторая «приоритетная проблема» перед авторами и докладчиками все же возникает: кого упоминать, а кого не упоминать? В 1987 г. я делал на Международной конференции по космическим лучам вводный доклад [50] и решил приоритетный вопрос довольно радикально — никого практически не упоминал и не давал ссылок на литературу на «прозрачках». Чтобы это объяснить, сослался на то, что упоминание имен отвлекает внимание и, кроме того, может вызвать недовольство неупомянутых. В дополнение я показал «прозрачку» с двумя фразами: «Вопросы приоритета — грязное дело». «Приоритетная мания, или сверхчувствительность, — это болезнь».

Таков был сделанный в шутливой форме совет не увлекаться вопросами приоритета. Пишу здесь об этом, ибо в тексте доклада [50] всего этого нет. Кроме того, когда я показал ту же «прозрачку» в другой аудитории и по другому поводу, то некоторыми был неправильно понят (см. [114]). Но я действительно так считаю, как изложил выше, и не кривлю здесь душой. Если же мне два раза в жизни случилось ввязаться в споры приоритетного типа, то, как я утверждаю, вовсе не для защиты своего приоритета, а в силу некорректного, на мой взгляд, поведения моих оппонентов (подробнее это пояснено в статьях [27, 43, 47, 55]). Являюсь я решительным противником и практикуемой у нас, к сожалению, регистрации так называемых «открытий». Однако до сих пор (начало 1991 г.) никак не удается избавиться от этого чисто бюрократического извращения (нечего и говорить, что я никогда не подавал заявок на «открытия», да и не взял ни одного авторского свидетельства или патента, хотя против авторских свидетельств и патентов возражать не приходится; по этому поводу см. [134]).

Итак, советую не ввязываться в приоритетные споры. Своевременная публикация результатов гарантирует, как правило, охрану авторских прав в научной работе. Но это полностью справедливо лишь в условиях открытости и быстрой публикации научных статей и вообще эффективного обмена информацией, характерных сейчас для международного научного сообщества. Те потери, иногда огромные потери, которые понесла советская наука в прошлом, связаны с обскурантизмом (вспомнил генетику и кибернетику), ликвидацией публикации у нас научных журналов на английском языке (вспомним «Journal of Physics USSR» — об этом упоминалось выше) и с различными бюрократическими запретами и ограничениями, которые чинились (да и все еще чинятся!) под видом заботы о сохранении секретов и о приоритете советской науки (имею в виду трудность посылать рукописи и даже оттиски за границу и т.д. и т.п.). Ликвидация всех этих архаических, подлинно «застойных» явлений — вот единственный путь, обеспечивающий нормальное развитие советской науки в целом и защиту прав и интересов (в частности, приоритета) ее представителей. К этому нужно добавить заботу о соблюдении общепризнанных норм морали, т.е. о «моральном кондиционировании», в котором научная среда нуждается не меньше, чем все наше общество в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ссылки даются на издания на русском языке, но в ряде случаев приводятся также сведения о переводах. Что касается тех статей, ссылки на переводы которых не приводятся, нужно иметь в виду, что журналы ЖЭТФ, ДАН СССР и некоторые другие переводились и переводятся на английский язык, если не касаться перерыва примерно с 1947 г. до середины 50-х годов.

1. *Зельдович Я. Б.* Избранные труды. Химическая физика и гидродинамика. — М.: Наука, 1984; Частицы, ядра, Вселенная. — М.: Наука, 1985.
2. *Гинзбург В.Л.* Теоретическая физика и астрофизика. 3-е изд. — М.: Наука, 1987 (1-е изд. — 1975 г. — переведено на английский язык: Pergamon press, 1979; см. также перевод 3-го издания Applications of Electrodynamics in Theoretical Physics and Astrophysics. — N.Y.: Gordon and Breach Sci. Publ., 1989).
3. *Fock V.A.* // Sow. Phys. — 1934. — Bd. 6. — S. 425.
4. *Смирнов А.А.* // ЖЭТФ. — 1935. — Т. 5. — С. 687.
5. *Гинзбург В.Л.* // ДАН СССР. — 1939. — Т. 23. — С. 773.
6. *Гайтлер В.* Квантовая теория излучения. — М.: ИЛ, 1956. В своих ранних работах я пользовался, естественно, первым изданием этой книги; русский перевод ее был издан в 1940 г.
7. *Гинзбург В.Л.* // ДАН СССР. — 1939. — Т. 23. — С. 896.
8. *Гинзбург В.Л.* // ДАН СССР. — 1939. — Т. 24. — С. 130.
9. *Гинзбург В.Л.* // УФН. — 1983. — Т. 140. — С. 687.
10. *Гинзбург В.Л.* // ЖЭТФ. — 1939. — Т. 9. — С. 981.
11. *Тамм И.Е., Франк И. М.* // ДАН СССР. — 1937. — Т. 14. — С. 107.
12. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. Т. VIII. Электродинамика сплошных сред. — М.: Наука, 1982.
13. *Гинзбург В.Л.* // ЖЭТФ. — 1940. — Т. 10. — С. 601.
14. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. Т. II. Теория поля. — М.: Наука, 1988.
15. *Гинзбург В.Л.* // ЖЭТФ. — 1940. — Т. 10. — С. 608.
16. *Болотовский Б.М.* // УФН. — 1957. — Т. 62. — С. 201.
17. *Гинзбург В.Л.* // Тр. ФИАН СССР. — 1986. — Т. 176. — С. 3. В несколько сокращенном виде эта статья опубликована также в сборнике «The Lesson of Quantum Theory» (Elsevier Sci. Publ., 1986. — P. 113).
18. *Гинзбург В.Л.* // ЖЭТФ. — 1940. — Т. 10. — С. 589.
19. *Гинзбург В.Л., Франк И. М.* // ДАН СССР. — 1947. — Т. 56. — С. 583.
20. *Гинзбург В.Л., Фролов В.П.* // УФН. — 1987. — Т. 153. — С. 633; Тр. ФИАН СССР. — 1989. Т. 197. — С. 8; Phys. Lett. — 1986. — V. A116. — P. 423.
21. *Гинзбург В.Л., Франк И.М.* // ЖЭТФ. — 1946. — Т. 16. — С. 15; J. Phys. USSR. — 1945. — V. 9. — P. 353.
22. *Гинзбург В.Л., Цытович В.Н.* Переходное излучение и переходное рассеяние. — М.: Наука, 1984; англ. перевод — N.Y.; Bristol: A. Hilger, 1990.
23. *Гинзбург В.Л., Цытович В.Н.* // ЖЭТФ. — 1985. — Т. 88. — С. 84; см. также *Гинзбург В.Л.* // Радиофизика. — 1985. — Т. 28. — С. 1211.
24. *Гинзбург В.Л.* // ЖЭТФ. — 1942. — Т. 12. — С. 449; J. Physics. — 1942. — V. 6. — P. 167.
25. *Тамм И. Е., Гинзбург В.Л.* // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1943. — Т. 7. — С. 30.
26. *Виталий Лазаревич Гинзбург* // Биобиблиография ученых СССР. Серия физики, вып. 21. — М.: Наука, 1978.
27. *Ginzburg V.L.* // Ann. Rev. Astron. Astrophys. — 1990. — V. 28. — P. 1.
28. *Ландау Л.Д.* // ЖЭТФ. — 1941. — Т. 11. — С. 592; J. Phys. USSR. — 1941. — V. 5. — P. 71.
29. *Гинзбург В.Л.* // ЖЭТФ. — 1941. — Т. 11. — С. 620; J. Phys. USSR. — 1941. — V. 5. — P. 47; ДАН СССР. — 1941. — Т. 31. — С. 319.
30. *Гинзбург В.Л.* // ЖЭТФ. — 1943. — Т. 13. — С. 33; J. Phys. USSR. — 1944. — V. 8. — P. 33; Phys. Rev. — 1943. — V. 63. — P. 1.
31. *Bhobha H.J.* // Phil. Mag. — 1952. — V. 43. — P. 33.
32. *Гинзбург В.Л., Тамм И.Е.* // ЖЭТФ. — 1947. — Т. 17. — С. 227.
33. *Гинзбург В.Л., Манько В.И.* // Физика элементар. частиц и атом. ядра. — 1976. — Т. 7. — С. 3; Sov. J. Part. Nucl. — 1976. — V. 7. — P. 1.

34. *Ginzburg V.L.* // Quantum Field Theory and Quantum Statistics (in honour of E.S. Fradkin) / A. Hilger. — Bristol, 1987. — V. 2. — P. 15.
35. *Гинзбург В.Л.* Теория распространения радиоволн в ионосфере. — М.: Гостехиздат, 1949.
36. *Гинзбург В.Л.* Распространение электромагнитных волн в плазме. — М.: Наука, 1967 (это второе издание, первое вышло в 1960 г.). Имеются три английских перевода, из которых последним и лучшим является книга *Ginzburg V.L.* Propagation of electromagnetic waves in plasmas. — Oxford; Pergamon Press, 1970.
37. *Гинзбург В.Л.* // ЖЭТФ. — 1943. — Т. 13. — С. 149; J. Phys. USSR. — 1943. — V. 7. — P. 289.
38. *Гинзбург В.Л.* // ЖЭТФ. — 1951. — Т. 21. — С. 788.
39. *Гинзбург В.Л.* // ДАН СССР. — 1942. — Т. 35. — С. 302.
40. *Гинзбург В.Л., Рухадзе А.А.* Волны в магнитоактивной плазме. — М.: Наука, 1975 (1-е изд. вышло в 1970 г.: англ. перевод: *Handbuch der Physik.* — 1972. — V. 49/4. — P. 395).
41. *Гинзбург В.Л.* // Тр. ФИАН СССР. — 1962. — Т. 18. — С. 55.
42. *Гинзбург В.Л.* // ДАН СССР. — 1946. — Т. 52. — С. 491.
43. *Ginzburg V.L.* // The early years of radioastronomy / Ed. W.T. Sullivan. — Cambridge: Cambr. Univ. Press, 1984. — P. 289.
44. *Гинзбург В.Л.* // Природа. — 1986. — N 10. — С. 80; см. также настоящий сборник, с. 223.
45. *Alfven H., Herlofson N.* // Phys. Rev. — 1950. — V. 78. — P. 616; *Kippenheuer K. O.* // Phys. Rev. — 1950. — V. 79. — P. 738.
46. *Гинзбург В.Л.* // ДАН СССР. — 1951. — Т. 76. — С. 377.
47. *Ginzburg V.L.* // Early years of cosmic ray studies / Ed. Y. Secido and H. Elliot. — Dordrecht, Holland: D. Reidel Publ. Co., 1985. — P. 411.
48. *Гинзбург В.Л., Сыроватский С. И.* Происхождение космических лучей. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. Большей известностью пользуется дополненный английский перевод: *Ginzburg V.L., Syrovatskii S.I.* Origin of cosmic rays. — Oxford: Pergamon Press, 1964.
49. Астрофизика космических лучей / Под ред. В.Л. Гинзбурга. — М.: Наука, 1984. (2-е изд. — М.: Наука, 1990; опубликован английский перевод).
50. *Гинзбург В.Л.* // УФН. — 1988. — Т. 155. — С. 185.
51. *Гинзбург В.Л., Догель В.А.* // УФН. — 1989. — Т. 158. — С. 3; Space Sci. Rev. — 1989. — V. 49. — P. 311.
52. *Гинзбург В.Л.* // ЖЭТФ. — 1943. — Т. 13. — С. 243; J. Phys. USSR. — 1943. — V. 7. — P. 305.
53. *Гинзбург В.Л.* // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1945. — Т. 9. — С. 174; ЖЭТФ. — 1958. — Т. 34. — С. 246.
54. *Гинзбург В.Л., Леванюк А.П., Собянин А.А.* // УФН. — 1980. — Т. 130. — С. 615; см. также статью в книге «Light scattering near phase transitions» (р. 3) (серия «Modern problems in condensed matter physics». V. 5. — Amsterdam: North-Holland Publ. Co., 1983); русский перевод: Рассеяние света вблизи точек фазовых переходов. — М.: Наука, 1990.
55. *Ginzburg V.L.* // Phys. Rep. — 1990. — V. 194. — P. 245.
56. *Агранович В.М., Гинзбург В.Л.* Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии. — 2-е изд. — М.: Наука, 1979. (1-е изд. вышло в 1965 г., англ. пер. опубликован в 1966 г. Перевод 2-го издания «Crystal optics with spatial dispersion and excitons». — Berlin: Springer-Verlag, 1984.)
57. *Гинзбург В.Л.* // ЖЭТФ. — 1958. — Т. 34. — С. 1593.
58. *Вул Б.М., Гольдман И.М.* // ДАН СССР. — 1945. — Т. 49. — С. 154, 177.
59. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. Т. IV. Статистическая физика. Ч. I. — М.: Наука, 1976.
60. *Гинзбург В.Л.* // ЖЭТФ. — 1945. — Т. 15. — С. 739; J. Phys. USSR. — 1946. — V. 10. — P. 107.

61. Гинзбург В.Л. // Тр. ФИАН СССР. — 1987. — Т. 180. — С. 3; *Ferroelectrics*. — 1987. — V. 76. — P. 3.
62. Гинзбург В.Л. // УФН. — 1949. — Т. 38. — С. 490.
63. Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1949. — Т. 19. — С. 36.
64. *Devonshire A.* // *Phil. Mag.* — 1949. — V. 40. — P. 1040; 1951. — V. 42. — P. 1065.
65. Ширококов М.Я., Холоденко Л.П. // ЖЭТФ. — 1951. — Т. 21. — С. 1237, 1250.
66. Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1947. — Т. 17. — С. 833.
67. Булаевский Л.Н., Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1963. — Т. 45. — С. 772; Письма в ЖЭТФ. — 1970. — Т. 11. — 404.
68. Булаевский Л.Н., Гинзбург В.Л. // Физика металлов и металловедение. — 1964. — Т. 17. — С. 631.
69. Гинзбург В.Л. // ФТТ. — 1960. — Т. 2. — С. 2031 (англ. пер.: *Sov. Phys. Solid State*. — 1960. — V. 2. — P. 1824).
70. Наташинский А.З., Покровский В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. — М.: Наука, 1982.
71. Леванюк А.П. // ЖЭТФ. — 1959. — Т. 36. — С. 810.
72. *Ginzburg V.L. e.a.* // *Ferroelectrics*. — 1987. — V. 73. — P. 171.
73. Булаевский Л.Н., Гинзбург В.Л., Собянин А.А. // ЖЭТФ. — 1988. — Т. 94. — С. 355; *Physica. C*. — 1988. — M. 152. — P. 378; V. 153—155. — P. 1617.
74. *Landau L.D.* // *J. Phys. USSR*. — 1947. — V. 11. — P. 91.
75. Фейнман Р. Статистическая механика. — М.: Мир, 1978 (англ. издание было опубликовано в 1972 г.; оригинальные работы Фейнмана, интересующие нас здесь, выполнены раньше: *Feynman R.P.* // *Phys. Rev.* — 1953. — V. 91. — P. 1291, 1301; 1954. — V. 94. — P. 262).
76. Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1944. — Т. 14. — С. 134.
77. Гинзбург В.Л. // ДАН СССР. — 1949. — Т. 69. — С. 161.
78. Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1955. — Т. 29. — С. 254.
79. Гамцемлидзе Г.А. // ЖЭТФ. — 1958. — Т. 34. — С. 1434.
80. Гинзбург В.Л., Путаевский Л.П. // ЖЭТФ. — 1958. — Т. 34. — 1240.
81. Гинзбург В.Л., Ландау Л.Д. // ЖЭТФ. — 1950. — Т. 20. — С. 1054.
82. Путаевский Л. П. // ЖЭТФ. — 1958. — Т. 35. — С. 408.
83. Гинзбург В.Л., Собянин А.А. // УФН. — 1976. — Т. 120. — С. 153; *Sov. Phys. Uspekhi*. — 1976. — V. 19. — P. 773.
84. *Ginzburg V.L., Sobyenin A.A.* // *Lov. Temp. Phys.* — 1982. — V. 49. — P. 507.
85. Гинзбург В.Л., Собянин А.А. // УФН. — 1988. — Т. 154. — С. 545; *Japan J. Appl. Phys.* — 1987. — V. 26, Suppl. 26—3, Part 3. — P. 1785.
86. *Ginzburg V.L., Sobyenin A.A.* // *Superconductivity, Superdiamagnetizm, Superfluidity* / Ed. V.L. Ginzburg. — Moscow: Mir Publ., 1987. — P. 242.
87. Мамаладзе Ю.Г. // ЖЭТФ. — 1967. — Т. 52. — С. 729.
88. Гинзбург В.Л., Собянин А.А. // Письма в ЖЭТФ. — 1972. — Т. 15. — С. 343.
89. Гинзбург В.Л. // УФН. — 1969. — Т. 97. — С. 601; *J. Stat. Phys.* — 1969. — V. 1. — P. 3.
90. Гинзбург В.Л., Жарков Г.Ф., Собянин А.А. // Письма в ЖЭТФ. — 1974. — Т. 20. — С. 223.
91. Гинзбург В.Л., Собянин А.А. // ЖЭТФ. — 1983. — Т. 85. — С. 1606; *Sov. Phys. JETP*. — 1984. — V. 56. — P. 934.
92. Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1944. — Т. 14. — С. 177; *J. Phes. USSR*. — 1944. — V. 8. — P. 148.
93. Гинзбург В.Л. Сверхпроводимость. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1946.
94. Гинзбург В.Л. // УФН. — 1952. — Т. 48. — С. 26; *Fortsch. d. Phys.* — 1953. — Bd 1. — S. 101.
95. Роуз-Инс А., Родерик Е. Введение в физику сверхпроводимости. — М.: Мир, 1972.

96. Гинзбург В.Л., Жарков Г.Ф. // УФН. — 1978. — Т. 125. — С. 19; Sov. Phys — Uspekhi. — 1978. — V. 21. — P. 381.
97. Ginzburg V.L., Zharkov G.F., Sobyenin A.A. // J. Low Temp. Phys. — 1982. — V. 47. — P. 427; 1984. — V. 56. — P. 195.
98. Zharkov G.F. // [86]. — С. 126.
99. Гинзбург В.Л. // Письма в ЖЭТФ. — 1989. — Т. 49. — С. 50; подробнее см. J. Superconductivity. — 1989. — V. 2. — P. 323; УФН. — 1991. — Т. 161, N 2.
100. Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1944. — Т. 14. — С. 326.
101. Гинзбург В.Л. // 1946. — ЖЭТФ. — Т. 16. — С. 87; J. Phys. — 1945. — V. 9. — P. 305.
102. Ginzburg V.L. // J. Phys. USSR. — 1947. — V. 11. — P. 93.
103. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Теоретическая физика. Т. V. Статистическая физика. — Ч. II. — М.: Наука, 1978.
104. Гинзбург В.Л. // ДАН СССР. — 1952. — Т. 83. — С. 385; 1958. — Т. 118. — С. 464.
105. Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1952. — Т. 23. — С. 236.
106. Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1955. — Т. 29. — С. 748.
107. Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1959. — Т. 36. — С. 1930.
108. Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1958. — Т. 34. — С. 113.
109. Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1956. — Т. 31. — С. 202; Sov. Phys. JETP. — 1957. — V. 4. — P. 153.
110. Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1962. — Т. 42. — С. 299; Sov. Phys. JETP. — 1962. — V. 15. — P. 207.
111. Гинзбург В.Л. // ДАН СССР. — 1956. — Т. 110. — С. 358; ЖЭТФ. — 1956. — Т. 30. — С. 593; Т. 31. — С. 541; 1963. — Т. 44. — С. 2104; Physica. — 1958. — V. 24. — P. 42.
112. Ginzburg V. L. Nuovo Cim. — 1955. — V. 2. — P. 1234.
113. Гинзбург В.Л. // УФН. — 1968. — Т. 94. — С. 181; см. также Physics Today. — 1989. — V. 42, N 5. — P. 54.
114. Ginzburg V.L. // Progress in Low Temperature Physics. — 1989. — V. 12. — P. 1.
115. Гинзбург В.Л., Киржниц Д.А. // ЖЭТФ. — 1964. — Т. 47. — С. 2006.
116. Гинзбург В.Л., Киржниц Д.А. // ЖЭТФ. — 1964. — Т. 46. — С. 397; см. также Ginzburg V.L. // Phys. Scripta. — 1989. — V. T27. — P. 76.
117. Little W.A. // Phys. Rev. — 1964. — V. A134. — P. 1416.
118. Гинзбург В.Л. // ЖЭТФ. — 1964. — Т. 47. — С. 2318; Phys. Lett. — 1964. — V. 13. — P. 101.
119. Гинзбург В.Л. // УФН. — 1968. — Т. 95. — С. 91; 1970. — Т. 101. — С. 185; 1976. — Т. 118. — С. 315; Sov. Phys. — 1976. — V. 19. — P. 174; Письма в ЖЭТФ. — 1971. — Т. 14. — С. 572; Ann. Rev. Mat. Sci. — 1972. — V. 2.
120. Проблема высокотемпературной сверхпроводимости / Под ред. В.Л. Гинзбурга и Д.А. Киржница. — М: Наука, 1977 (англ. перевод: High-temperature superconductivity. — New York: Consult. Bureau, 1982).
121. Ginzburg V.L. // Physics Today. — 1989. — V. 42. N 3. — P. 9.
122. Proc. Stanford Conf. on HJSC, 1989.
123. Гинзбург В.Л. // Вестн. АН СССР. — 1987. — N 11. — С. 20 (см. для сравнения: Вестн. АН СССР. 1971. — N 5. — С. 7); Природа. — 1987. — Т. 7. — С. 16.
124. Ginzburg V.L. e.a. // Solid State Comm. — 1984. — V. 50. — P. 339. Гинзбург В.Л. // Письма в ЖЭТФ. — 1979. — Т. 30. — С. 345; Горбачевич А.А. // ЖЭТФ. — 1989. — Т. 95. — С. 146.
125. Гинзбург В.Л. // ДАН СССР. — 1941. — Т. 30. — С. 397; УФН. — 1972. — Т. 106. — С. 151.
126. Гинзбург В.Л. // ДАН СССР. — 1942. — Т. 36. — С. 9.
127. Гинзбург В.Л. // Акуст. журн. — 1955. — Т. 1. — С. 31.

128. Гинзбург В.Л. // ЖТФ. — 1944. — Т. 14. — С. 181.
129. Гинзбург В.Л. // Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1947. — Т. 11. — С. 165.
130. Гинзбург В.Л. // УФН. — 1952. — Т. 46. — С. 348; 1954. — Т. 52. — С. 494; 1955. — Т. 56. — С. 146.
131. Гинзбург В.Л., Файн В.М. // ЖЭТФ. — 1960. — Т. 39. — С. 1323.
132. Гинзбург В.Л. и др. // ЖЭТФ. — 1971. — Т. 60. — С. 451.
133. Бараи Ю.С., Гинзбург В.Л. // Письма в ЖЭТФ. — 1972. — Т. 15. — С. 567; УФН. — 1975. — Т. 116. — С. 5; 1984. — Т. 143. — С. 345.
134. Гинзбург В.Л. // Вестн. АН СССР. — 1990. — N 10. — С. 50.

III

ОБ ИГОРЕ ЕВГЕНЬЕВИЧЕ ТАММЕ

Те, кому дорога память об Игоре Евгеньевиче Тамме, не забыли, конечно, о своем элементарном долге: было опубликовано несколько некрологов и заметок, вышли в свет сборник работ памяти И.Е. Тамма, библиографический указатель всех его статей и, главное, издано двухтомное собрание его трудов¹. Переиздан также созданный им учебник «Основы теории электричества» (9-е и 10-е изд. — М.: Наука, 1976 и 1989). Но вот написать какие-либо воспоминания или заметки, посвященные Игорю Евгеньевичу, у меня лично не было и мысли до того момента, как раздался звонок (было это в 1974 г.) из редакции журнала «Природа» с таким предложением. И это, быть может от неожиданности, произвело впечатление. Почему же, если другие считают естественным написать воспоминания об Игоре Евгеньевиче, я сам даже не подумал этого сделать?

В качестве ответа, едва была положена трубка телефона, на ум пришли слова: «...не спрашивай никогда, по ком звонит колокол: он звонит по тебе». Больше я ничего не помнил из эпиграфа (его текст принадлежит перу Джона Донна, современника Шекспира), выбранного Хэмингуэем для романа «По ком звонит колокол». Прочитав эпиграф целиком, можно заключить, что Донн и не думал об авторах каких-либо воспоминаний и имел в виду совсем другое. Но все равно остаюсь при мнении, что характерная черта «воспоминаний современников» — это как раз звон колокола по их авторам, а не только по тем выдающимся людям, о которых они вспоминают. Если же звона не слышно, то, возможно, автор был далек от того, о ком пишет, либо же всячески старался отойти в тень, не писать о себе. Последнее вполне естественно и похвально, но, к сожалению, на практике нередко оказывается искусственным и мстит за себя: лишает воспоминания чуть ли не главного — непосредственности и подлинной правдивости.

Впрочем, не считаю себя в праве обобщать. Достаточно сказать, что, как выяснилось, для меня написать воспоминания — значит пойти на то, чтобы писать и о себе и тем самым, в частности, рискнуть оказаться нескромным или эгоцентричным. Ясно, сколь это нелегко, даже не говоря о затруднениях чисто литературного характера, возникающих у людей, не обладающих писательскими способностями.

Тем не менее я все же решил написать об Игоре Евгеньевиче, просто вспомнить несколько эпизодов, попытаться хотя бы в некоторой мере объяснить, почему его образ занимает особое, светлое и дорогое место в памяти. Разумеется, все это не более чем заметки, отдельные штрихи и замечания. При этом почти не будет затронута тема «И.Е. Тамм — физик», хотя именно она является центральной в его биографии — нельзя же сколько-нибудь полно охарактеризовать физика вне физики и без физики (разумеется, ситуация аналогична и в случае представителей других профессий). В качестве оправдания отмечу, что вклад Игоря Евгеньевича в физику и его черты как физика в значительной мере освещены в уже упомянутых публикациях.

Обращаясь, наконец, к тому, что можно назвать воспоминаниями, начну с того времени, когда видел Игоря Евгеньевича только издали. В таких условиях, как не раз пришлось

¹Проблемы теоретической физики: Сборник памяти И.Е. Тамма. — М.: Наука, 1972; Игорь Евгеньевич Тамм (1895—1971). — 2-е изд., доп. — М.: Наука, 1974. — (Материалы к библиографии ученых СССР. Сер. физ., вып. 16); Тамм И.Е. Собр. научн. трудов: В 2-х т. — М.: Наука, 1975.

убеждаться, часто запоминается не главное, а в памяти остаются какие-то второстепенные детали, даже мелочи.

* * *

В 1934—1938 гг., когда я был студентом физфака МГУ, И.Е. Тамм заведовал кафедрой теоретической физики. Естественно, что все студенты-физики, особенно старших курсов, знали Игора Евгеньевича. Нам он читал лекции, быстро говорил и временами путался (потому, вероятно, что в этих случаях не готовился к лекции). Но все равно его лекции были гораздо интереснее многих других, пусть гладких и плавных, без срывов. Объяснялось это как живостью и непосредственностью изложения, так и, конечно, его глубиной. Хорошее представление о стиле этих лекций дает курс И.Е. Тамма «Основы теории электричества», ставший настольной и любимой книгой многих физиков (во всяком случае, о себе должен это сказать с полной определенностью).

В тот же период на физфаке лекции читал и Л.И. Мандельштам. Это, правда, были не обычные курсы, а нечто значительно большее. Курсы были факультативными, но аудитория бывала набита, причем ходили и преподаватели, включая Игора Евгеньевича. Многие из лекций Л.И. Мандельштама опубликованы. Один из его курсов был посвящен разбору различных парадоксов. Студенты, активно участвовавшие в работе этих лекций-семинаров, были разбиты на группы (бригады) во главе с одним из близких к Мандельштаму людей. Куратором нашей бригады был Тамм, а разбирать нужно было какой-то парадокс, связанный с силами в электродинамике (к сожалению, самого парадокса не помню). Мы собрались в кабинете Игора Евгеньевича (точнее, это была просто одна из немногочисленных полупустых комнат, принадлежавших кафедре теоретической физики). Игорь Евгеньевич стал формулировать парадокс. Не успел он договорить до конца, как один из нас с места закричал, в чем разгадка парадокса. Повторяю, не помню, в чем был парадокс, но хорошо помню, что Игорь Евгеньевич был очень недоволен и даже высказал мнение, что мы заранее знали, в чем дело. Заверениям, что мы ничего не знали, он вроде бы не поверил. И, кстати, так бывало не раз. Игорь Евгеньевич был во многом прямо-таки прекраснодушным человеком, в ряде случаев чрезмерно доверчивым, но иногда в мелочах почему-то проявлял недоверие. Например, кто-то вместо «априори» (a priori) сказал «априери». Это ко мне прилипло, я стал так говорить в шутку. Но навсегда перестал после того, как Игорь Евгеньевич меня поправил («Виталий Лазаревич, не априери, а априори») и так и не поверил, судя по выражению его лица, уверениям, что я сознательно искажал это слово. Почему запомнились такие пустяки? Трудно сказать, вероятно, они показались неожиданными. А пишу о них только потому, что вспоминаю с теплым чувством, а не в духе поговорки «и на Солнце есть пятна».

Игорь Евгеньевич был альпинистом, но мне довелось в горах столкнуться с ним лишь, так сказать, в период минимума его активности. В 1945 г. мы вместе были на Памире, вблизи Мургаба — там, на высоте около 3800 м, находилась станция лаборатории космических лучей ФИАН. Игорь Евгеньевич перед этим был чем-то болен, принимал лекарства, в общем был не в форме. Поэтому по окрестностям он ходил с трудом и переживал это. К тому же ему было уже 50 лет, а это не самый подходящий возраст даже для небольших восхождений. Но Игорь Евгеньевич был гордым человеком, не любил сдаваться. И его, видимо, немного огорчало и то, что я без всякой тренировки, да и гор никогда раньше не выдавший, иду быстрее. Кстати, Игорь Евгеньевич действительно потом оправился от последствий болезни и еще долго ходил в горы, вплоть до 1965 г., т.е. до 70 лет.

Упоминаю этот эпизод преимущественно вот по какой причине. Существует большая асимметрия в отношениях старших к младшим и, с другой стороны, младших к старшим. Помню, году в 1935—1936-м Игорь Евгеньевич стоит у крыльца Института физики МГУ и рассказывает группе знакомых, как он катался на лыжах, упал, получил большой кровоподтек, из которого выкачали почти стакан крови. Игорь Евгеньевич, тогда казался

мне пожилым человеком, которому пора бы перестать так кататься. А было ему только лет сорок. И это типично: тот, кто старше лет на двадцать и более, кажется уже пожилым, возникает какое-то чувство дистанции. Но не наоборот. К студенту или аспиранту, который на двадцать лет моложе, часто, даже обычно, такого чувства не возникает, особенно когда речь идет о науке. Мне кажется, что для Игоря Евгеньевича была в высокой степени характерна такая асимметрия восприятия, и, во всяком случае, со значительно более молодыми людьми (но не со всеми, конечно) он чувствовал себя свободно, как с равными.

* * *

В 20-е и 30-е годы у нас в стране шли жаркие дебаты по методологическим вопросам, связанным как с теорией относительности и квантовой механикой, так и с основами классической физики. Существовали «механисты», отрицавшие всю новую физику и обвинявшие в «идеализме», например, тех, кто не верил в существование механического эфира. Не буду писать о том, что нашло отражение в печати, и упомяну лишь о дискуссии, развернувшейся на физфаке МГУ году в 1936-м. Большая физическая аудитория была полна, и главный спор шел о том, возможно ли распространение электромагнитной энергии без «механического перемещения» чего-то в пространстве. И.Е. Тамм, Г.С. Ландсберг, Б.М. Гессен и кто-то еще защищали электромагнитную теорию без механических перемещений. Их оппоненты были довольно многочисленны, причем не скупилась на самые различные обвинения, демагогию и даже непристойные намеки, притянутые, как говорится, ни к селу, ни к городу. Один из них вызвал особое возмущение и протесты со стороны Игоря Евгеньевича, никогда не позволявшего себе что-либо подобное (вообще должен заметить, что Игорь Евгеньевич совершенно не употреблял неприличных слов, не рассказывал «мужских» анекдотов и т.п., причем это было для него органично и не воспринималось как ханжество или какая-то показная воспитанность).

Роль Тамма в борьбе против вульгаризаторов науки и лжеученых очень значительна, но здесь не место на этом останавливаться подробнее. В отношении физики сошлюсь в качестве примера на его статью в журнале¹. А когда в последние десятилетия физику защищать стало уже не нужно, он с неменьшей горячностью встал на защиту многострадальной генетики и молекулярной биологии, успехами которых восхищался.

* * *

Теперь перехожу к рассказу о том, как из одного из уважаемых профессоров Игорь Евгеньевич превратился для меня в близкого и дорогого человека. Именно об этом особенно трудно написать, тем более что приходится о себе упоминать даже больше, чем об Игоре Евгеньевиче. Но это только формально так, по существу же я лишь попытаюсь проиллюстрировать, сколь бесценными бывали внимание и доброжелательство Игоря Евгеньевича.

На третьем или четвертом курсе физических факультетов происходит выбор более узкой специальности, и для многих это очень трудный, мучительный период. Не для всех конечно. Некоторые твердо знают, чего хотят, причем уверены в своих силах. Другие же совсем не знают, на что способны, смогут ли вообще успешно работать. Особенно резким является размежевание между теоретиками и экспериментаторами. Выберет студент теоретическую специальность, а работа у него «не пойдет», окажется он «у разбитого корыта». Экспериментальная же специальность кажется более надежной: не выйдет из тебя большого толка, сможешь работать хотя бы лаборантом. Я был средним хорошим студентом, причем с явным отсутствием математических наклонностей. Поэтому, хотя и хотелось быть теоретиком, не решался на это — считалось, и не без оснований, что теоретик должен быть в ладах с математикой, чтобы не сказать большего. И вот я пошел на оптическую специальность и занимался измерениями углового распределения интенсивности излучения каналовых лучей. Исследование было в экспериментальном отношении

¹Под знаменем марксизма. — 1933. — N 2.

весьма сложным. В дипломной работе особого успеха не достиг, однако предполагалось продолжать эту работу. Во всяком случае, руководитель оптической лаборатории Г.С. Ландсберг оставил меня в аспирантуре. Но так сложились обстоятельства (нас, новых аспирантов физфака, призвали в армию и лишь через некоторое время предоставили отсрочку; помню, как довольно долго ходил с документами о призыве, в котором числился «эспирантом»), что продолжать эксперименты сразу не удалось, и я начал «теоретизировать». При этом возникла некоторая «идея», касающаяся механизма излучения в процессе соударения возбужденного атома с заряженной частицей.

С этой идеей я и пришел к Игорю Евгеньевичу, если не ошибаюсь, 13 сентября 1938 г., подождав, когда он кончит лекцию. Заранее скажу, что мои рассуждения были основаны на ошибке, но тогда этот круг вопросов не был достаточно ясен. Поэтому, к счастью, Игорь Евгеньевич ошибки сразу не увидел и, напротив, отнесся к моему предложению с энтузиазмом, с живым интересом. Более того, он и меня как-то заразил этим своим энтузиазмом, дал советы посмотреть некоторые статьи, сделать расчеты, просил рассказывать о результатах. Впрочем, я здесь не нашел действительно подходящего слова. Конечно, не было никакой «просьбы» — просто стало ясно, что Игорю Евгеньевичу все это интересно, и можно, не очень стесняясь, приходить, советоваться с ним, обсуждать. В общем, была благожелательность, отсутствовали перегородки. С малознакомым студентом Игорь Евгеньевич говорил как с товарищем по работе.

И я был окрылен, буквально начал новую жизнь. Оказалось, что я напал на круг вопросов теории излучения, который остался недостаточно исследованным и где известную ясность можно было ввести не путем сложных вычислений, а уточнив постановку задачи и интегрируя лишь простые уравнения для гармонических осцилляторов. В этом можно видеть еще одно доказательство того факта, что в теоретической физике математика не доминирует, и все же телега (вычисления, формулы) должна следовать за лошадью (физические образы и идеи), а не наоборот. Пусть не поймут это замечание как отрицание исключительно большой роли математики в теоретической физике, что было бы нелепостью. Хочу лишь подчеркнуть (поскольку это иногда оспаривается), что, как правило, все-таки не математика задает тон в физике, и именно таким было мнение Игоря Евгеньевича.

Так благодаря поддержке Игоря Евгеньевича я стал физиком-теоретиком. Хочу отдать должное и Григорию Самуиловичу Ландсбергу. Я ведь был «его» аспирантом, но изменил экспериментальной оптике в первый же месяц после зачисления в аспирантуру, стал фактически аспирантом Игоря Евгеньевича. Но Григорий Самуилович предоставил мне полную свободу, ему было важно лишь, что я работаю успешно. В 1940 г. после защиты кандидатской диссертации я поступил в докторантуру ФИАНа, причем моим консультантом (так, кажется, называлась эта должность в докторантуре) уже официально стал Игорь Евгеньевич.

Однако, и именно это существенно, названия не играли никакой роли. Все — сотрудники, докторанты и аспиранты Теоретического отдела ФИАНа, созданного Игорем Евгеньевичем в 1934 г. (в этом году Академия наук СССР переехала в Москву), — работали, по существу, на равных правах. Важно было только одно — как человек работает, что он делает. С некоторыми аспирантами Игорь Евгеньевич работал непосредственно, т.е. велось совместное исследование. Но ни в аспирантуре, ни в докторантуре, окончившейся в 1942 г., мне не пришлось вести с Игорем Евгеньевичем совместной работы. Это, однако, нисколько не уменьшало интереса и внимания с его стороны — я все время обсуждал с ним научные вопросы, рассказывал ему результаты. Вместе, в смысле соавторства, нам пришлось поработать несколько позже (но еще в годы войны). Игорь Евгеньевич занялся, в частности, теорией электромагнитных свойств слоистых сердечников, состоящих из чередующихся слоев металла и диэлектрика (по идее Н.Д. Папалекси предполагалось использовать такие сердечники для антенн). Кажется, я нашел какую-то неточность в его

предварительных расчетах, а потом несколько развил его работу — в общем, мы опубликовали совместную статью. Во втором случае, наоборот, я заразил Игора Евгеньевича интересом к релятивистской теории частиц с различными спиновыми состояниями, и мы упорно занимались этой проблемой несколько лет.

Работать с Игорем Евгеньевичем было одно удовольствие — никаких проблем, связанных с амбицией, разделением труда и т.п., не возникало. Одно лишь было трудно делать совместно с ним — писать статьи. Он вообще очень не любил писать, откладывал, придумывал предлоги, чтобы оттянуть окончание (Игорь Евгеньевич сам говорил о своей «аграфии»). Разумеется, обе наши совместные статьи писал я (в смысле подготовки текста для совместного обсуждения), но и это не очень помогало. В итоге статья о спинах писалась года два и только в 1947 г. появилась в ЖЭТФ.

Выше я извинялся, что буду упоминать о себе. Но разве в приведенном примере дело во мне? Фактически я ведь говорю об Игоре Евгеньевиче, который близкую роль сыграл в жизни многих. А косвенно уже не многих, а очень многих. Опять же могу об этом судить только «со своей колокольни». Поняв на собственном опыте взаимодействия с Таммом, как важна для некоторых начинающих дружеская, благожелательная поддержка на первых порах, как здесь важно не только содержание, но существенна и форма взаимоотношений, я старался следовать тем же принципам в отношениях со студентами и аспирантами. И если это дало свои плоды, на что надеюсь, то заслуга И.Е. Тамма здесь не меньше, чем моя.

Сейчас, как и в прошлом, очень много идет споров об относительной роли наследственного, биологического, с одной стороны, и роли социального, значении воспитания и окружения, с другой стороны. Сколь колоссальна роль наследственности, ясно видно, между прочим, на примере изучения однойяйцевых (идентичных) близнецов.

Новый момент, который здесь появился, это результаты обследования таких близнецов, воспитывавшихся совершенно отдельно с самого младенчества, причем иногда в совершенно различной среде. Совпадение многих черт, вкусов и привычек у таких близнецов, впервые встретившихся в зрелые годы, просто поражает. Но, как бы ни была велика роль наследственности, никто не станет оспаривать и значения воспитания. «Научная школа» — понятие, на мой взгляд, не слишком четкое. Но то, что я видел на примере Л.И. Мандельштама, А.А. Андропова, И.Е. Тамма и Л.Д. Ландау позволяет понять, сколь велико было влияние этих выдающихся физиков не только на научное развитие «учеников», но и на их моральный облик, стиль и поведение.

* * *

Несколько слов об И.Е. Тамме — физике, хотя эта тема в целом лежит за пределами настоящей заметки.

Игорь Евгеньевич был физиком-теоретиком «широкого профиля»: он не только знал все важнейшие разделы физики, но и сам работал во многих областях. Вместе с тем, как человек увлекающийся, Игорь Евгеньевич в каждый данный период занимался, как правило, лишь чем-либо одним — отдавал все силы решению захватившей его проблемы. А сил было много — Игорь Евгеньевич обладал большой работоспособностью и трудолюбием, бывало, работал ночами, часто и в отпуске. Работа доставляла ему удовольствие, но только тогда, когда была заинтересованность, а иногда и азарт. Увлекался же он в первую очередь подлинными загадками, проблемами принципиального характера. Заниматься этими вопросами особенно трудно: можно работать целые годы и не получить никаких существенных результатов. Но это не беспокоило Игора Евгеньевича, он никогда не руководствовался такими соображениями, как возможность написать статью и вообще «выдать побольше продукции».

* * *

В научной среде очень часто приходится сталкиваться с проявлением не только честолюбия, но и тщеславия. Насколько я могу судить, тщеславие было чуждо Игорю Евгеньевичу.

вичу. Он не стремился к наградам и почестям и, например, даже получив Нобелевскую премию, был умеренно доволен, но не более. Кстати, теорию эффекта Вавилова — Черенкова, за которую Игорь Евгеньевич вместе с И.М. Франком получили Нобелевскую премию, не считал своей лучшей работой (ею, по его собственному мнению, была теория ядерных бета-сил). Что касается честолюбия, то это слово является, к сожалению, недостаточно однозначным. Честолюбивым считают не только человека, стремящегося занять высокое положение, управлять другими, но и того, кто хочет сделать хорошие работы и увидеть их признание, а тем самым, можно сказать, утвердить свою личность. В таком, последнем смысле честолюбие (назовем это «хорошим честолюбием») обычно даже необходимо и является одним из условий успеха — успеха в самой работе. Сколько талантливых людей «не реализовались» из-за лени, безразличия и, по сути дела, отсутствия «хорошего честолюбия». Думаю, что Игорь Евгеньевич обладал таким честолюбием. Обладал он также самолюбием и гордостью, но в тех дозах, когда это не мешает другим. Не знаю, как выразиться точнее. Вот Игорь Евгеньевич играет в теннис или другую игру и при каждом промахе делает недовольный жест. Он явно не любил проигрывать и в шахматы. Я уже упоминал о его большом недовольстве, когда плохо «ходило» в горы. Но в этом было что-то детское во взрослом и даже немолодом человеке. А гордость не позволяла жаловаться на болезни и боль, заставляла держаться.

Последние три года жизни Игоря Евгеньевича нельзя не назвать трагическими. В 1967 г. он заболел боковым амиотрофическим склерозом и с февраля 1968 г. из-за паралича диафрагмы был прикован к дыхательной машине. Точнее, к машинам, которые он мог менять, — садиться за стол и работать, пользуясь портативной машиной, сделанной одним умельцем. Он с улыбкой, но и с горечью говорил о себе: «Я как жук на булавке». Однако, будучи больным, первые года два много работал, играл в шахматы, был рад, когда к нему приходили. И он стал мягче, болезнь не озлобила, не раздавила. Игорь Евгеньевич обычно многое скрывал, считал, вероятно, что нельзя проявлять некоторые теплые чувства, а у больного они чаще проглядывали.

* * *

В период с 1948 по 1953 г. Игорю Евгеньевичу приходилось долго работать вдали от Москвы, часто находиться одному, без семьи. Я же в это время жил в основном в Москве, а моя жена — в Горьком. Было в тот период много работы и мало радости. Этим и объясняется, видимо, замечание, сделанное им во время одной из встреч в Москве, году так в 1950-м. Он сказал примерно следующее: «Виталий Лазаревич, думал я тут как-то и о себе, и о вас, когда прочел (вспомнил?) Омара Хайяма:

Проходят дни
Без любви, без вина.
А в книге судеб записаны они
Как полноценные дни».

Такой прозаический текст (лишь записанный в стихоподобной форме) я хорошо запомнил, но найти нечто похожее среди четверостиший Хайяма сейчас не удалось¹. Но дело,

¹Как сообщил мне Л.И. Вернский (внук И.Е. Тамма), в бумагах Игоря Евгеньевича имеется несколько переписанных от руки стихотворений «из Хайяма» (без указания источника). Одно из них приведено даже в трех вариантах, из которых один таков:

Над чашею пустой порой сидим одни, —
Без песен, без любви бредут уныло дни...
Но как же так, Аллах?! Ведь в книге жизни
Как полноценные нам зачтены они?

конечно, в другом: я рад констатировать, что в последующие годы у Игоря Евгеньевича было еще много полноценных и счастливых дней.

* * *

Но возвращусь к некоторым чертам, столь типичным для «творческой интеллигенции». Есть люди, которые прямо-таки заболевают, когда их не упомянут, не процитируют и уж подавно когда что-то у них заимствуют без «должного» упоминания. Никогда ничего подобного не замечал у Игоря Евгеньевича, он был выше каких-либо мелких приоритетных споров. Или вот другой пример — выборы в Академию наук СССР. В 1946 г. Игорь Евгеньевич имел все основания для того, чтобы его избрали академиком — везде он назывался в качестве первого кандидата, не говоря уже о том, что давно этого заслуживал. Но он не был выбран, и здесь сказались обстоятельства, не имевшие никакого отношения к науке. Немало людей, «невыбранных» по той или иной причине, пришлось мне повидать. Чувство обиды и разные другие аналогичные эмоции типичны в таких случаях. Некоторые даже заболевали, другие ссорились с «обидчиками», а то и совершенно не причастными к выборам людьми. Да кто не знает, что такое уязвленное самолюбие. А Игорь Евгеньевич не подал и вида, что он задет. Думаю, что, будучи, конечно, огорчен и уязвлен, он и не переживал сильно это подлинное оскорбление (в данном случае это было именно так). Помимо всего прочего здесь сыграло, конечно, роль и то обстоятельство, что Игорь Евгеньевич обладал чувством юмора и знал цену вещам (другое дело, что это не всегда, помогает людям, когда речь заходит о них самих). Помню рассказ Игоря Евгеньевича о том, как он поздравил одного физика, выбранного в Академию: «И знаете, он меня благодарил так серьезно, как будто это действительно очень важное событие, ярко свидетельствующее об его научных достижениях; вот ведь нет у человека чувства юмора».

В общем, самолюбие и гордость у Игоря Евгеньевича были не мелкими, а высокой пробы. Принципиальность же в сочетании с чувством долга, с тем, что называется *noblesse oblige*, заставляли Игоря Евгеньевича бороться с неучами, выступать с некоторыми протестами и т.п. Я пишу «заставляли», так как уверен, что он вовсе не любил писать «разносных» статей или выходить на трибуну и выступать по подобным поводам. Но если было нужно, если он считал, что должен, то действовал решительно.

* * *

Уже упоминалось, что в 1934 г. Игорь Евгеньевич организовал Теоретический отдел ФИАНа, теперь носящий его имя. Из небольшой группы, насчитывавшей пять-шесть человек, этот отдел стал одним из крупнейших в мире (сейчас в отделе около 60 человек, причем во много раз большее число бывших аспирантов и сотрудников работают в других местах). И вот за 50 лет (!) существования отдела в нем не было ни одного сколько-нибудь существенного конфликта, а попросту сказать, серьезной ссоры, не говоря уже о скандале. Не так много можно найти подобных примеров. И дело все, конечно, в Игоре Евгеньевиче. «Приписывание» руководителя или кого-либо еще к чужой работе, администрирование и принуждение, неуважение к младшим — обо всем этом не могло быть и речи. А вот поддержка, дружеская критика (хотя иногда резкая и страстная), внимание, предоставление свободы — этого было хоть отбавляй. Таков и весь простой «секрет» воспитания. Не мешать людям, относиться к ним хорошо, а молодежи дать свободу, подбодрить и посоветовать, если надо, — вот часто все, что нужно для дружной работы. Можно только пожалеть о том, что все эти очень простые, казалось бы, требования не всегда воплощаются в жизнь.

Эти заметки подошли к концу, и тем виднее их неполнота и несовершенство. Например, один из друзей, прочитавших рукопись, спросил: как можно писать об Игоре Евгеньевиче и не упомянуть о его обаянии? Могу с этим только согласиться, но вынужден лишь ответить вопросом на вопрос: а как написать об обаянии Игоря Евгеньевича? И как написать о многом другом, что определяет и характеризует человека? Но часто так бывает, что

даже незначительные, казалось бы, штрихи и примеры говорят о большем, позволяют читателю понять нечто важное. Вот именно на это я и хочу надеяться.

Игорь Евгеньевич Тамм был очень хорошим физиком-теоретиком, автором первоклассных работ. Он написал превосходный учебник, воспитал много физиков, боролся за подлинно прогрессивную и современную науку. Все это, конечно, верно и очень важно. Но это не все. Если бы дело было «только» в сказанном, то вполне понятно было бы большое уважение, но любят прежде всего за другое, за человеческие черты. Вместе с тем именно как сплав уважения и любви я мог бы охарактеризовать отношение к Игорю Евгеньевичу Тамму и свое, и многих, многих других.

ОДИН СОВЕТ ЛЕОНИДА ИСААКОВИЧА МАНДЕЛЬШТАМА

Каждый, кто собирается принять участие в сборнике воспоминаний, стоит перед трудными вопросами. На чем следует остановиться? О каких моментах писать нецелесообразно или неинтересно? Как не скатиться на изложение собственной биографии? Где гарантия, что не подвела память? По-видимому, только попытавшись что-либо написать, можно увидеть, как непросто найти здесь правильные ответы.

Пытаясь это сделать, не буду касаться тех лет, когда был студентом физфака МГУ (1934—1938 гг.) и затем там же два года находился в аспирантуре. Разумеется, я посещал лекции и семинары Л.И. Мандельштама, которые были для нас большим событием, но не мог бы сообщить на эту тему ничего нового. То же справедливо в отношении влияния, которое Л.И. Мандельштам оказывал на научную жизнь на физфаке и в ФИАНе, да, собственно, и во всей стране, в частности, через близких к нему людей. Представители же моего поколения непосредственно с Леонидом Исааковичем уже были слабо связаны. Это объяснялось и плохим состоянием его здоровья, и, вероятно, некоторыми чертами характера. Да и время было очень тяжелое, часть военного времени Л.И. Мандельштам находился в Боровом, а в Москве в конце жизни ему суждено было провести лишь немногим больше года.

Но как раз в этот период мне посчастливилось довольно долго разговаривать с Леонидом Исааковичем. Этой возможностью я был обязан И.Е. Тамму, который был очень близок с Леонидом Исааковичем, рассказывал ему, видимо, и о нашей совместной работе по квантовой теории релятивистского «волчка» (спина) и обо мне. Так или иначе, хотя Леонид Исаакович тогда уже почти (или даже совсем) не выходил из дома и ему, несомненно, было трудно принимать малознакомых людей, я получил приглашение зайти. И вот два раза мы сидели вдвоем и, насколько помню, часа по полтора (или, во всяком случае, по часу) говорили о физике. Точнее, больше говорил я — рассказывал почти обо всем, чем занимался в своей тогда еще совсем короткой научной жизни.

С тех пор прошло более тридцати лет. Память же у меня в общем плохая или, точнее, с довольно высоким «порогом» — запоминается лишь то, что оказалось над этим порогом, да и к тому же запоминаются картинки и содержание событий или разговоров (но не детали и слова). Над порогом остался облик Леонида Исааковича — такой, как на портрете в начале тома III собрания его трудов. Осталась и атмосфера спокойствия и доброжелательства, причем не было никакого впечатления, что Леонид Исаакович болен или устал. Он слушал внимательно, спрашивал и делал замечания. Но подлинное обсуждение имело место лишь по вопросу о действующем электрическом поле в случае плазмы.

Как известно, в диэлектриках действующее поле \mathbf{E}_d , вообще говоря, не равно среднему макроскопическому полю \mathbf{E} . Так, для ряда простых «сред», состоящих из точечных диполей, $\mathbf{E}_d = \mathbf{E} + \frac{4\pi}{3}\mathbf{P}$, где \mathbf{P} — поляризация среды. Наличие «поляризационной поправки» $\frac{4\pi}{3}\mathbf{P}$ в применении к распространению радиоволн в ионосфере приводило бы к большому эффекту. Но среда в ионосфере представляет собой весьма неплотную плазму, а в этом случае необходимость вводить поляризационную поправку либо отрицалась, либо была

под вопросом. В 1941 г. Л.И. Мандельштам опубликовал небольшую заметку, посвященную этой проблеме¹. На примере модели газа, состоящего из неподвижных, положительно заряженных шариков и точечных подвижных электронов, в этой работе было показано, как получаются оба предельных случая. Если электроны движутся медленно, то они в основном находятся внутри положительно заряженных шариков (образуя как бы атомы Томсона); при этом поляризационная поправка равна $\frac{4\pi}{3}\mathbf{P}$. Если же электроны движутся достаточно быстро, то они уже не связаны и поляризационная поправка равна нулю. Ввиду важности вопроса (в частности, практической важности для ионосферы) я пытался более строго доказать последний результат для реальной плазмы. И, как это часто имеет место при учете кулоновского взаимодействия, задача оказалась весьма ехидной — при разных подходах получался то один результат, то противоположный.

Когда я разговаривал с Леонидом Исааковичем, то находился в фазе, отвечавшей необходимости вводить поляризационную поправку и в плазме. Поэтому я высказал мнение, что заключение Леонида Исааковича несправедливо. Его реакция была совершенно спокойной, он сказал примерно следующее: «Это моя статья — пустячок, я опубликовал ее лишь потому, что нужно было срочно дать что-либо для юбилейного номера. Возможно, что для точечных зарядов при последовательном учете кулоновского поля получается другой результат». Это замечание оказалось выше порога моей памяти, вероятно, потому, что я привык к авторам, которые начинают либо яростно отстаивать любой свой результат, либо очень огорчаются, когда выясняется какая-либо неточность в их работе. То, что в этом эпизоде проявились привлекательные черты характера Леонида Исааковича, кажется несомненным. Но действительно ли он поколебался в правильности своего вывода или просто предоставил мне возможность непредвзято решать задачу дальше? Думаю, что имело место последнее. Прочитав сейчас еще раз статью Л.И. Мандельштама, я вижу, что ему в первую очередь хотелось предложить модель, пригодную для обеих предельных ситуаций — для связанных электронов и для совсем свободных электронов. В первом случае представление о положительно заряженных шариках существенно, но во втором оно не играет роли — можно считать положительные заряды и точечными. Ответ же для этого случая — отсутствие поляризационной поправки для свободных электронов (т.е. для плазмы), который Л.И. Мандельштам считал правильным, действительно оказался таковым, как я в этом в дальнейшем убедился, закончив достаточно строгие расчеты.

Остается рассказать о конце нашего разговора, кажется, не первого, а второго и последнего. Я уже прощался и стоял, но по какому-то поводу сделал замечание на философскую тему, сослался на одно философское сочинение. И тут Леонид Исаакович, не вступая в дискуссию, как-то мягко, но вполне определенно дал такой совет: «Знаете, пока вы молоды, занимайтесь физикой, конкретными задачами. А вот лет в 60—65 придет время для философии, истории физики и т.п.». Кажется, он прибавил еще, что с возрастом становится трудно и (или) менее интересно решать задачи. За это уже не поручусь, как и за конкретные слова, взятые в кавычки. Но за смысл ручаюсь, он оказался значительно выше упомянутого порога моей памяти, причем это произошло как-то интуитивно, ибо тогда всей правоты Леонида Исааковича я понять не мог.

Одно необходимо добавить. Сам Леонид Исаакович, как известно из его биографии, интересовался философией смолоду и не мог, конечно, считать занятия философией и методологией физики уделом лишь пожилого возраста. Но он знал и понимал, что «physics is the game of the young» (физика — игра молодых) и что физикой может с успехом заниматься и человек, не обладающий широким общим кругозором, высокой культурой. Занятия же философией и гуманитарными науками вряд ли могут быть плодотворными при отсутствии этих качеств. В благоприятных условиях пройти нужный путь можно, конечно,

¹ Мандельштам Л.И. О показателе преломления сред со связанными и свободными электронами // J. Phys. — 1941. — V. 4. — P. 9; Собр. трудов. — М.: Изд-во АН СССР, 1947. — Т. II. — С. 227.

и не к 60 годам, а значительно раньше. Но ни в семье, ни в школе, ни в университете таких условий у меня не было. Школы, собственно, почти вообще не было (я проучился лишь четыре года в школе-семилетке). В университете же философия нам преподавалась весьма неглубоко, односторонне и, если говорить о современности, с упором лишь на резкую критику различных «извращений». И, несомненно, Леонид Исаакович это понял и давал не только общий совет, справедливый по своей тенденции, но и специально полностью применимый ко мне. Теперь могу сказать, что он был глубоко прав — жизнь в этом убедила.

Воспоминания и сборники воспоминаний появляются сейчас в довольно большом числе. Поскольку речь обычно идет о людях действительно выдающихся, в такой форме удастся и отдать долг их памяти, и оставить, пока не поздно, свидетельства современников, и, наконец, указать достойный подражания пример более молодым читателям. Однако авторы воспоминаний почти неизбежно следуют принципу «либо хорошо, либо ничего» («aut bene, aut nihil»). И это заставляет относиться к опубликованным воспоминаниям с какой-то осторожностью, позволяет подозревать, что нарисованная картина не всегда точна. В этой связи позволю себе заметить, что достаточно хорошо и долгие годы знал и знаю людей, беседовавших с Леонидом Исааковичем не два раза, а сотни раз. И с ответственностью могу утверждать — устные рассказы о нем, причем и доверительные, вполне соответствуют написанным, разве что они еще теплее. Бесспорно, Леонид Исаакович Мандельштам был подлинным светочем.

К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ НИКОЛАЯ ДМИТРИЕВИЧА ПАПАЛЕКСИ

2 декабря 1970 г. исполнилось 90 лет со дня рождения Николая Дмитриевича Папалекси. Выдающийся радиофизик и радиотехник, пионер в области электроники, радиоинтерферометрии, радиогеодезии и радиоастрономии, совместно с Л.И. Мандельштамом — глава блестящей школы физиков, основатель и руководитель лаборатории колебаний ФИАНа. Но и этот внушительный перечень неполон. Достаточно сказать, что особенно после его окончательного переезда в Москву в 1938 г. (и избрания академиком в 1939 г.) не было, вероятно, ни одного события или мероприятия в области радиофизики и радиотехники в Академии наук, которое не было бы в той или иной мере связано с Н.Д. Папалекси. Так было вплоть до его безвременной кончины 3 февраля 1947 г.

Уже сказанного вполне достаточно для того, чтобы вспомнить здесь о юбилейной дате — 90-летию со дня рождения Н.Д. Папалекси. Но настоящая заметка имеет своей целью отдать дань уважения не только научным и научно-организационным заслугам Н.Д. Папалекси, но и его высоким человеческим качествам, а также научному стилю, который он представлял. О личных чертах трудно писать, и я ограничусь простым, но вполне ясным утверждением: Николай Дмитриевич был поистине хорошим человеком. Что же касается научного стиля, то речь идет о характерных для Н.Д. Папалекси широте интересов и любви к новому. Чтобы в этом убедиться, достаточно ознакомиться с лекцией «Современное радио и наука», которую Николай Дмитриевич прочел на шестьдесят седьмом году жизни, менее, чем за месяц до смерти¹. Тогда, когда у нас радиоастрономическими наблюдениями никто не занимался (и, насколько мне известно, почти никто не хотел заниматься), Николай Дмитриевич в своей лекции провозгласил, что «с применением радиометодов в астрономии откроется новая эра...». И, главное, не только это провозгласил, но и с огромным трудом организовал экспедицию в далекую Бразилию для наблюдения полного солнечного затмения. Результаты этой экспедиции (полученные, к великому сожалению, уже без него) вполне оправдали ожидания Н.Д. Папалекси и составили содержание первого отечественного экспериментального исследования в области радиоастрономии.

У Н.Д. Папалекси и таких его современников — сотрудников нашего института, как Л.И. Мандельштам, СИ. Вавилов и Г.С. Ландсберг, учились не только физике, но и отношению к науке и к людям, щепетильности и принципиальности. Уроки, которые они нам преподавали, ни в какой мере не устарели, и их необходимо передавать из поколения в поколение.

* * *

В 1947 г., по возвращении из организованной Н.Д. Папалекси экспедиции по наблюдению полного солнечного затмения, я написал заметку «Н.Д. Папалекси и радиоастрономия». Она была опубликована (Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1948. — Т. 12. — С. 34) вместе

¹ Папалекси Н.Д. // УФН. — 1974. — Т. 21. — С. 297; Собр. трудов. — М.; Л.; Гостехиздат, 1948. — С. 384.

с рядом докладов, сделанных на происходившем 21 апреля 1947 г. заседании памяти Н.Д. Папалекси. Приводить здесь эту заметку мне показалось нецелесообразным, в частности, в силу ее несколько специального характера. Отмечу, что 100-летию со дня рождения Н.Д. Папалекси было 24 декабря 1980 г. посвящено заседание Научной сессии Отделения общей физики и астрономии и Отделения ядерной физики АН СССР. Доклады, сделанные на этом заседании, опубликованы (УФН. — 1981. — Т. 134. — С. 3) и в своей совокупности довольно полно освещают жизнь и деятельность Н.Д. Папалекси.

О ЛЬВЕ ДАВИДОВИЧЕ ЛАНДАУ. ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫЙ ФИЗИК

Выступление на вечере памяти Л.Д. Ландау в Политехническом музее (Москва, 20 января 1978 г.).

Если не все, то очень многое познается в сравнении. Во всяком случае, когда мы говорим о ком-то: «великий человек», «замечательный человек», «гений», — то этим как бы проводим сравнение его с другими людьми, и, хотя каждый человек неповторим, ясно, что здесь имеются в виду некоторые очень большие отклонения от среднего. Но вместе с тем все слова в какой-то степени девальвированы, наблюдается инфляция эпитетов. Кроме того, в публичных выступлениях почти всегда хвалят. Это понимали еще древние: известно выражение «aut bene, aut nihil» («либо хорошо, либо ничего»), которое применяется к людям, ушедшим от нас. Наверное, поэтому, когда читаешь различные мемуары, сборники воспоминаний, создается впечатление, что великих, замечательных людей очень много. На самом же деле их не так много.

Да что говорить о воспоминаниях. Зачитаю два пункта из Устава Академии наук СССР. Пункт 16: «Действительными членами (академиками) Академии наук СССР избираются ученые, обогатившие науку трудами первостепенного научного значения». Пункт 17: «Членами-корреспондентами Академии наук СССР избираются ученые, обогатившие науку выдающимися научными трудами». Посмотрим теперь на повестку сегодняшнего вечера, как она обозначена на афише и на пригласительных билетах. Мы собрались на заседание, посвященное «выдающемуся» советскому физику Л.Д. Ландау, который, таким образом, оказался на уровне члена-корреспондента АН СССР. При этом я отнюдь не обвиняю организаторов вечера. Всем ясно, что эпитеты нужно понимать условно. Войдите в магазин, и вы увидите, что масла второго сорта не существует. Масло бывает первого сорта, высшего сорта и «экстра». Так и с учеными степенями и званиями, и если пользоваться подобной терминологией, то, дабы не ошибиться, я бы сказал, что Ландау был физиком «сверхэкстракласса». Это был совершенно уникальный физик. Одно время я очень удивлялся, да и до сих пор удивляюсь следующему обстоятельству. Вузы у нас оканчивают много молодых физиков, за десятилетия — многие тысячи физиков. Не все они, быть может, физики по призванию, но большинство сознательно выбрали профессию, и у нас масса действительно хороших физиков. Но никого даже отдаленно по таланту напоминающего Ландау не появилось. Я все ждал этого, но теперь уже даже ждать перестал.

Итак, Л.Д. Ландау был совершенно исключительной личностью. Из всех людей, которых я сам видел или знал, могу сравнить Ландау лишь с Ричардом Фейнманом, который многим известен по его книгам. Конечно, в нашем веке жили великие физики — Эйнштейн, Бор, Планк, Шрёдингер, Гейзенберг, сейчас жив Дирак¹. Ландау, несомненно, не превосходил их своими научными достижениями и сам оценивал себя правильно, ставя упомянутых и некоторых других физиков выше себя «по достижениям». Он отводил себе более скромное место. И если я выделяю Ландау из всех, то потому, что оценка его

¹ Дирак умер в 1984 г.

«класса» складывается из многих ингредиентов. Во-первых, это научные достижения. Научные достижения Ландау первоклассны — это квантовая теория жидкостей (в частности, теория сверхтекучести гелия), теория фазовых переходов и ряд других прекрасных работ. Во-вторых, это редкая универсальность знания, знание всей физики. И, в-третьих, он был Учителем с большой буквы, Учителем по призванию. Произведение трех таких «множителей» исключительно велико.

Замечу, кстати, что Ландау не был вундеркиндом в общепринятом смысле слова: не играл в три года на пианино, сидя на подложенной подушке, не решал в эти годы математические задачи. Тем не менее он окончил школу в 13 лет, в университет поступил в 14, первую работу опубликовал, когда ему было 18 лет. Несомненно, такое раннее развитие характерно для большого таланта. В. Паули, например, в 18 лет написал известную книгу по теории относительности.

Ландау любил всякие подсчеты. Как-то он мне сказал: «Я старше тебя на 13 лет, потому что моя первая работа вышла в 1926 г., а твоя первая работа вышла в 1939 г.». По этому признаку он и считал, что старше меня на 13 лет, хотя по возрасту был старше на неполных девять лет. По другим «показателям» он, конечно, был гораздо старше меня.

Необычность Ландау проявлялась и в плане биологическом, если уместно так выразиться. Помню, как меня поразило то, что он не мог поднять больше десяти килограммов. К сожалению, эта физическая хрупкость, которая в обычных условиях не имела особого значения, сыграла трагическую роль в той катастрофе, которая погубила Ландау. При столкновении автомашин яйца в кошелке, лежавшей в машине, где ехал Ландау, остались совершенно целыми, а он оказался буквально разбит.

Но, конечно, говоря об исключительности Ландау, мы имеем в виду его талант физика. Существование таких людей, как Ландау, побуждает ставить вопрос о пределах человеческих возможностей, об огромных резервах, таящихся в человеческом мозге.

Физика — многогранная наука. Способности к физике измерить трудно. Память же, например, можно измерять, причем человеческая память варьируется в гигантских пределах. Несколько лет назад была издана небольшая книга А.Р. Лурия, в которой сообщается о человеке с феноменальной памятью. Все имевшиеся тесты не были способны найти границы его памяти. И то был не инопланетянин, а человек, как и мы с вами. Это показывает, какими фантастическими резервами обладает мозг человека. Способности и возможности Ландау-физика также свидетельствовали о том, сколько еще скрыто в человеке такого, что проявляется или выявляется лишь в редких случаях. И естественно, возникает соблазн мобилизовать резервные возможности мозга. Это одна из интереснейших проблем физиологии, с которой человечеству еще придется столкнуться.

Ландау перестал работать уже 16 лет назад. Нельзя без боли вспоминать того Дау, каким он был после катастрофы и вплоть до смерти в 1968 г. Но хотя 16 лет — срок немалый, Ландау, несомненно, жив в том смысле, который вкладывается в это слово, когда говорят о людях, ушедших от нас. То же надо сказать и о его книгах или, конкретно, о курсе «Теоретическая физика» Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица. Книги этого курса — настольные в буквальном смысле слова. Ни одной книгой я, например, не пользуюсь больше и чаще, чем книгами курса. В какой кабинет физика в СССР или за границей ни зайдешь, везде есть книги курса Ландау — Лифшица. Это замечательные книги; это энциклопедия, это вместе с тем величественный памятник Л.Д. Ландау.

И здесь я хочу коснуться роли Е.М. Лифшица. Курс «Теоретическая физика» Ландау — Лифшица не был бы, конечно, создан без Ландау, но он не был бы создан и без Лифшица. И, что замечательно, Евгений Михайлович продолжал это дело¹. Книги все время выходили, переработанные, дополненные. Выходили и те книги, которые были только

¹Е.М. Лифшиц скончался в 1985 г.

задуманы при жизни Ландау. Я испытываю за это к Е.М. Лифшицу чувство огромной благодарности. Нельзя себе представить лучшего памятника Ландау, лучшего продолжения его пути в физике.

Теперь мне бы хотелось рассказать о маленьком эпизоде. На днях я столкнулся с работой Дау, написанной в 1933 г., когда ему было 25 лет. Работа посвящена теории сверхпроводимости. Тогда природа сверхпроводимости еще не была понята (это было сделано лишь через 24 года — в 1957 г.). Одна из гипотез, которую выдвинул и развил Л.Д. Ландау в упомянутой статье, состояла в предположении о существовании в сверхпроводниках спонтанных токов. Потом выяснилось, что сверхпроводимость в известных случаях объясняется совсем другими причинами. Поэтому, кстати, в собрание сочинений Ландау эта статья не была включена. На самом же деле в статье не было ошибок. И сейчас представляется, что тела со спонтанными токами, быть может, существуют¹. Статья Ландау и по прошествии стольких лет удивляет своей ясностью и четкостью. Статья жива, она помогает работать сегодня.

Память о Л.Д. Ландау не нуждается в приукрашивании: он бывал резким, иногда не хотел слушать, мог обидеть человека. Но никогда не было у него барства, никогда не было хамства. Надо сказать, что два раза он меня просто «бил мордой об стол», как иногда говорится. Первый раз это было в 1943 г. в Казани. Тогда он публично крайне раздраженно меня ругал. Был же он уже «мэтром», а я — еще неопытным юнцом, хотя и защитил докторскую диссертацию (тут также можно сказать, что сама по себе защита диссертации еще мало о чем свидетельствует). Второй раз Ландау резко ругал меня публично году, кажется, в 1960-м, после того как я уже несколько лет числился, по определению Устава АН СССР, выдающимся ученым (т.е. был членом-корреспондентом Академии наук). Но главное не в этом, а в том, что в это время мы уже были в дружеских отношениях. В обоих случаях Ландау, безусловно, нарушил общепринятые нормы поведения, я имел все основания обидеться и обиделся. Но я понимал, что это не была ругань начальства, ругань с желанием унижить человека. Просто Ландау не считался с некоторыми правилами поведения, как-то их не понимал. Были люди, которым это обстоятельство мешало и помешало общаться с Ландау. Очень, очень рад, что со мной этого не произошло. Кстати, немало важное замечание: в обоих упомянутых случаях, когда Ландау резко меня критиковал, по сути дела прав был он, а не я.

В одной из записок спрашивают, были ли у Ландау принципиальные ошибки, в частности, в оценке новых теорий и идей. Как хорошо известно, не ошибается только тот, кто не работает. Ошибался, конечно, и Ландау. Но, как я думаю, ошибался он реже многих других и, главное, как-то интересно ошибался. Об этом я подробнее написал в статье, посвященной 60-летию Ландау², которая, к сожалению, фактически оказалась некрологом. Ограничусь здесь замечанием, что Ландау как аналитик, как человек с глубоким и всесторонним знанием физики особенно хорошо видел слабости и трудности новых гипотез, теорий и т.п. В сочетании с манерой резко выражать свое мнение, не думать о форме высказываний, об осторожности и т.д. это создавало впечатление, что Ландау всегда критикует новое и вообще консервативен. К тому же сам Ландау подчеркивал, что он «не изобретатель». Но это нужно понимать, по моему убеждению, лишь в том смысле, что Ландау был особенно силен в решении трудных задач, в анализе и критике, а не в области генерирования новых смутных гипотез, в изобретении каких-то приборов, методов измерений и т.п. Критические оценки, которые давал Ландау, в некоторых случаях оказывались неверными, но в целом приносили огромную пользу. И эта критика была необходимым элементом в процессе создания школы. А Л.Д. Ландау создавал и создал школу. Формально

¹Эта и предыдущая фразы не вполне точны и, во всяком случае, нуждаются в комментариях. (*Примеч. автора к настоящему изданию*).

²УФН. — 1968. — Т. 94. — С. 181.

говоря, я не принадлежу к этой школе, поскольку Ландау не был моим руководителем в аспирантуре и я не сдавал теорминимума (кстати, Ландау не раз подчеркивал, как много я потерял, что не сдавал теорминимум, и был в этом совершенно прав). Но так уж жизнь сложилась, и мне очень повезло в том отношении, что наряду с моим глубокоуважаемым и любимым учителем Игорем Евгеньевичем Таммом я мог учиться, советоваться и в одном случае даже работать вместе с Львом Давидовичем Ландау. И кстати сказать, никакой «организационной проблемы» здесь не возникало. Как И.Е. Тамм, так и Л.Д. Ландау создали школы, а не школки и считали только естественным сотрудничество между представителями этих школ, взаимное посещение семинаров, совместные обсуждения и т.п.

Имя Ландау овеяно легендами, а в легендах действительность нередко очень сильно трансформирована и переплетена с мифами. Я надеюсь, что сегодняшней вечер поможет отделить правду от вымысла, поможет собравшимся составить правильное представление о замечательном физике Льве Давидовиче Ландау.

ДОПОЛНЕНИЕ

Во время довольно монотонной гребли — я ловил рыбу «на дорожку» на Ладожском озере — как-то потекли воспоминания о Ландау. И оказалось, что помню кое-что, не включенное в помещенную выше заметку, а также ранее написанную статью в связи с 60-летним юбилеем Л.Д. Ландау (УФН. — 1968. — Т. 94. — С. 181). Ничего особенно важного и интересного. Однако решил это записать. Но это, конечно, предлог. Уже опубликован или готовится к печати ряд сборников воспоминаний, посвященных известным советским физикам. Несомненно, должен быть когда-то издан и сборник воспоминаний о Ландау.

Между тем уже нет И.Я. Померанчука и А.С. Компанейца — «учеников первого призыва», скончался и В.Б. Берестецкий. Мне, когда пишутся эти строки (август 1980 г.), тоже почти 64 года. Это на 10 лет больше, чем было Дау ко времени катастрофы (7 января 1962 г.)¹. В общем думаю, что не следует откладывать, и решил подготовить это «Дополнение», которое совместно с заметкой можно будет включить в сборник.

1. Ловля рыбы — мое единственное «хобби», и оно казалось Дау совершенно ничемным занятием, а быть может, и того хуже. Он со смехом говорил: «Ха, ха, рыболов, на одном конце червяк, на другом конце дурак, как сказал Вольтер (?)». На это я неизменно отвечал: «Дау, я на червяка не ловлю, а ловлю на блесну». Но это не помогало, Дау при всяком удобном случае твердил свое. Такое повторение вообще было типично для Дау, как бы одна и та же пластинка вставлялась; быть может, это следует назвать стереотипом. Касалось это и науки. Должен признаться, что мы этим пользовались. Было известно, что Дау можно «завести», задав определенный вопрос; это срабатывало безотказно. Почему-то я хорошо запомнил лишь один пример — вопрос о формуле Лоренц — Лоренца². Упоминание об этой формуле вызывало гнев (показной, конечно) и поток брани либо язвительных замечаний. Их смысл (к сожалению, самих слов не помню, а выдумывать не хочу) таков:

¹Как известно, Л.Д. Ландау после аварии прожил еще более шести лет (он скончался 1 апреля 1968 г.). Но это был тяжелобольной человек, быть может, даже правильнее сказать — другой человек. Я был в числе тех, кто дежурил в больнице во время болезни Ландау, а также неоднократно навещал его в последующие годы. Однако я совершенно не буду касаться этого периода, хотя, быть может, психолог или психоаналитик и смог бы, «изучая» больного Ландау, сделать какие-то заключения о нем и в здоровом состоянии. Но я отказываюсь (да и не смог бы) заниматься таким анализом.

²Формула Лоренц — Лоренца, по сути дела совпадающая с формулой Клаузиуса — Мосотти, определяет зависимость показателя преломления или диэлектрической проницаемости от плотности жидкости (оптически изотропного вещества). К этой формуле приходят, если считать действующее на молекулу (диполь) электрическое поле E_{ef} равным $E + (4\pi/3)P$, где E — среднее макроскопическое поле и P — поляризация среды.

не существует такой формулы, это полуэмпирическое соотношение. Дау был прав, формула Лоренц — Лоренца получается лишь для простых моделей оптически изотропной среды, причем главное предположение состоит в отождествлении молекулы с точечным диполем. Разумеется, в жидкости и вообще в конденсированной среде, когда расстояние между молекулами (атомами) того же порядка, что и их размер, дипольное приближение никак нельзя считать допустимым *a priori*. Тем не менее для целого ряда жидкостей формула Лоренц — Лоренца довольно хорошо отвечает экспериментальным данным. Это, по-видимому, и привело к преувеличению значения формулы, к ее широкому использованию (последнему содействует, конечно, и большая простота формулы Лоренц — Лоренца). Вероятно, Ландау столкнулся когда-то с непониманием роли и истинного смысла этой формулы и «записал» свое неодобрение на пластинку в мозгу. А потом в согласии с отмеченной своей манерой он уже проигрывал эту пластинку. Уверен, что Дау понимал, что все знают его позицию, но он как бы давал представление, разыгрывал сценку праведного гнева.

2. Спорить с Ландау было нелегко. Иногда он не хотел слушать, иногда язвил, иной раз уклонялся от ответа, заявляя: «Подумай сам». Но вот Ландау яростно отстаивает какое-то мнение, объявляя противоположное, другое мнение бредом и т.п. А потом понимает, что неправ. Такое бывало. И тогда Ландау сразу же столь же уверенно отстаивал уже новую позицию, т.е. ту, которую обзывал ранее бредом. Ничего плохого, по сути дела, я в этом не вижу. Довольно распространенное суждение, согласно которому изменять мнение плохо, представляется просто нелепым. Плохо совсем другое — когда и под влиянием убедительных аргументов или новых фактов мнения не изменяют из упрямства или по непониманию. Очень не люблю я (а это встречается не так уж редко), когда человек оказался неправ, но начинает доказывать, что его раньше не так понимали, начинает отрицать свои прежние заявления и т.п. Ничего подобного не было у Ландау. Но, оказавшись неправ, он обычно и не говорил, что «я ошибался» или что-либо в таком роде, а переходил к новому для него мнению как к чему-то само собой разумеющемуся. Поскольку я не так уж часто оказывался прав в спорах с Ландау, меня указанное его поведение не удовлетворяло, нельзя было насладиться радостью «победы» над Учителем. Поэтому я начал брать с Дау «расписки», т.е. записывал оба мнения и мы расписывались. Сейчас запомнились только две такие расписки, к сожалению утерянные. В одном случае Ландау утверждал, что долгоживущие мезоны (более тяжелые, чем мю-лептон) существуют, а я твердил противоположное. Это, по сути дела, не был научный спор, поскольку надежных теоретических аргументов «за» или «против» одной из упомянутых точек зрения не было и нет до сих пор. Дело было лишь в том, что мы верили разным группам экспериментаторов. Прав в споре оказался я. Во втором случае Ландау утверждал, что в твердых телах (кажется, более конкретно, металлах) плазмонов не существует. Как всегда, когда речь шла о физике, мнение Ландау имело разумные основания. В данном случае он считал, что декремент затухания плазменных волн в металлах должен быть одного порядка величины с их частотой. Ясно, что говорить о квантах плазменных волн — плазмонах, если они сильно затухают уже на одной длине волны, не имеет особого смысла. Мое мнение о существовании плазмонов было основано на экспериментальных данных, и сейчас действительно известно, что затухание длинноволновых плазмонов, по крайней мере в ряде случаев, не так уж велико и понятие о них имеет смысл.

3. Если в физике, как уже неоднократно подчеркивалось, суждения Ландау обычно были трезвыми и глубокими (это, конечно, никак еще не исключает возможности ошибки), то этого нельзя в такой же мере сказать о других областях. Не хотелось бы, чтобы это прозвучало каким-то упреком, я лишь констатирую факты. Существовали и существуют люди, наделенные различными исключительными способностями (хрестоматийный пример — Леонардо да Винчи). Но, естественно, гораздо чаще яркий талант проявляется лишь в одной области. Именно к последней категории относится Ландау, обладавший большим

даром как физик. Но он не писал картин, не был скульптором или поэтом. Откровенно замечу, что даже рад этому. Если бы Дау, к примеру, рисовал плохие картины, а считал их чем-то серьезным (так бывает), об этом, вероятно, можно было бы лишь пожалеть. Вместе с тем интересы Ландау были широкими; он был весьма образованным человеком и знал языки, что нетипично для людей его поколения, детство и юность которых протекали в бурную эпоху ломки старой школы и т.д. Все это было существенно, а живого человека не разделишь на какие-то резко разграниченные элементы. Я хотел здесь (хотя и делаю это, видимо, довольно неуклюже) лишь подчеркнуть, что превосходство Ландау ярко и как-то выпукло чувствовал только в сфере физики. Если же я, скажем, не разделял некоторых его литературных вкусов (например, он высоко ставил Драйзера, которого я совершенно не ценю), то не видел в этом ничего особенного.

Здесь позволю себе одно отступление, хотя и тесно связанное с предыдущим абзацем и имеющее отношение к теме. Сплошь и рядом «известных людей» — научных работников¹, писателей и других — спрашивают в различных интервью, анкетах и т.п. об их мнении по вопросам, не имеющим никакого отношения к их профессии. Ну что же, интерес к знаменитостям или просто видным представителям той или иной профессии в общем понятен и не противопоказан. Нужно, однако, твердо знать и помнить, что за пределами своей профессии даже великий человек не вправе претендовать (во всяком случае, претендовать без дополнительных на то оснований) на какой-то особый авторитет. Вариацией на ту же тему является и вопрос о поведении в обществе. Божий дар — обладание сколь угодно большим талантом в какой-либо области — не дает права его «носителю» нарушать некоторые общепринятые нормы и, что называется, «класть ноги на стол». В теории, вероятно, все с этим согласится. Реальная же жизнь сложна. Очень талантливый молодой человек обычно рано осознает, что он выше многих других старших и уже успевших занять известное положение. В качестве метода самоутверждения, а то и протеста «молодой талант» начинает брыкаться, эпатировать окружающих. Возникают конфликты. Прошел через эту фазу и Ландау. С годами, когда пришло признание, он сильно изменился, если говорить о поведении. Но известная экстравагантность поведения осталась. Это объясняет, как мне представляется, отношение к Ландау целого ряда людей, получивших воспитание в совсем иной среде и не успевших познакомиться с Ландау поближе.

В свете сказанного, как можно думать, Ландау в целом очень повезло. Дуэлей в наши дни, к счастью, не бывает. Но сколько есть других методов если, скажем, не убрать совсем, то досадить и даже глубоко травмировать молодого человека. Ландау же очень рано был признан, получил по заслугам. Здесь я не касаюсь того факта, что у него было немало неприятностей, а на целый год и более чем неприятностей. То, что хочется здесь подчеркнуть, — это только заслугу старшего (по сравнению с Ландау) поколения советских физиков. Они, насколько могу судить, в целом проявили себя по отношению к Ландау с лучшей стороны (одним из примеров я считаю избрание Ландау в 1946 г. в возрасте 38 лет действительным членом АН СССР, минуя обычное предварительное «хождение» в членах-корреспондентах).

Вернусь, однако, к тому, как Ландау мог ошибаться за пределами физики, в том числе и в оценке самих физиков. Приведу пример его оценки физиков-экспериментаторов X и Y. В эвакуации в Казани (1941–1943 гг.) Ландау не раз безапелляционно заявлял: «X и Y — лучшие физики-экспериментаторы Советского Союза». Почему? «Я сужу по лицу». Разумеется, Ландау судил не по лицу: X и Y «гладко» говорили, у них было хорошее реноме и, кстати, они охотно признавали, что Ландау — лучший физик-теоретик Советского Союза. Прошли годы, и все поняли, что «лучшие физики-экспериментаторы» — плохие

¹Л.Д. Ландау очень не любил слово «ученый». Он смеялся: «Кот ученый — это понятно, а ученый муж — смешно». Быть может, переняв от него, а возможно, по другой причине я также крайне не люблю слово «ученый», хотя и термин «научный работник» в качестве замены не из лучших.

экспериментаторы. Собственно, окончательного мнения Ландау об X я не слышал, но как-то в разговоре со мной (году, так, в 1960-м), не помню в ответ на какой вопрос, Ландау ответил: « Y вообще не физик». Я даже опешил и задал довольно глупый вопрос типа: «А почему ты тогда с ним имеешь дело?» Но на это последовал ответ: « Y — умный человек, я с ним советуюсь по житейским вопросам». Позволю себе весьма усомниться в том, что «житейские советы» Y принесли Ландау пользу, но это уже другое и, во всяком случае, не мое дело.

Ошибался Ландау и в других людях, ну что же — все ошибаются.

К сожалению, иногда Ландау оправдывал поступки и поведение, которые, на мой взгляд, являются совершенно недопустимыми. Но никаких поступков самого Ландау, которые можно причислить к постыдным, я не знаю.

4. Ландау относился к коллегам-физикам критически и многих поругивал, не жаловал. Но такое часто встречается. Для меня было и остается весьма важным, что он не ругал людей, которых я любил и уважал. В частности, Дау хорошо относился к И.Е. Тамму, всегда был с ним по меньшей мере во вполне нормальных отношениях. Правда, как я считаю, Дау недооценивал И.Е. как физика. Вероятно, это объясняется разницей в стиле работы. Так или иначе, право каждого давать в разумных пределах свою оценку достижениям коллег: вполне объективные критерии здесь отсутствуют.

В некоторой связи со сказанным коснусь истории с выдвижением на Нобелевскую премию открытия и объяснения эффекта Вавилова — Черенкова. В начале 50-х годов (но после 1953 г.) у нас решили (кто не знаю) вступить, так сказать, в Нобелевский клуб, т.е. начать выдвигать кандидатов на Нобелевские премии (до этого на моей памяти это не делалось). В этой связи И.В. Курчатов поручил Е.К. Завойскому и мне подготовить представление на И.Е. Тамму, И.М. Франка и П.А. Черенкова (С.И. Вавилов к этому времени скончался, а Нобелевскую премию присуждают не более чем троим, причем не посмертно). Мы, разумеется, подготовили материал. Знаю, что другие готовили представление на П.Л. Капицу и Л.Д. Ландау за работы в области сверхтекучести гелия II. Прошло некоторое время, и вдруг мы узнали, что кто-то где-то решил выдвигать только Черенкова и только Капицу. Кажется, такое представление и было сделано. Точно я этого и других подробностей не знаю, но в данном контексте это совершенно не важно. Важно то, что мы решили не допустить такой несправедливости. В СССР приглашение (предложение) выдвигать на Нобелевскую премию получают обычно академики АН СССР по соответствующим специальностям¹. Поэтому было решено, что в Нобелевский комитет должны послать письмо академики-физики. В отношении Ландау этим занимались в ИФП, и, кто подписал письмо, я напому. Мы же с Е.Л. Фейнбергом написали письмо, в котором сообщали в Нобелевский комитет о роли И.Е. Тамма и И.М. Франка, приложили оттиски и утверждали, что премию нужно присуждать всем троим. Теперь нужно было собрать подписи. Помню, как я пошел к одному «ведущему» академику, который выразил полное согласие с содержанием письма, но подписать его отказался: раз «наверху» решили выдвинуть одного Черенкова, как же он может сообщить в Комитет другое мнение. Пошел я и к Ландау. Он сказал мне, что не очень-то ценит эффект Вавилова — Черенкова (я знал это и раньше, а Ландау говорил не для того, чтобы иметь предлог не подписать письмо). Но он готов подписать письмо, если вместо «нужно присудить» мы напишем «если присуждать» («if awarded»), то всем троим (Тамму, Франку и Черенкову). Так мы и поступили. Помимо Л.Д. Ландау, поведение которого в этом деле я считаю безукоризненным, письмо подписали Н.Н. Андреев и А.И. Алиханов. Вскоре Нобелевская премия по физике за 1958

¹Почему-то и академики не все получают такие предложения, получают его и не академики. Никаких деталей на этот счет я не знаю (выдвижение считается делом конфиденциальным, что и написано в письме Нобелевского комитета). Я начал получать приглашение только после избрания в 1966 г. в академики.

г. была присуждена всем троим, но, какую здесь роль сыграло упомянутое выше письмо, я не знаю.

5. В отношении Ландау довольно прочно установилось мнение, что он был «ругателем». Но ругатель ругателю рознь. Чаще всего, хотя и не всегда, резкие замечания Ландау не имели целью обидеть автора критикуемой работы. В этом отношении характерна история, свидетелем которой я сам не был, но слышал о ней по горячим следам и, вероятно, не искажу. Дау резко разнес работу какого-то уже солидного профессора. Тот очень обиделся, но, когда об этом сказали Дау, он даже удивился: я же не назвал его идиотом, я назвал идиотской только его работу. В общем, как я уже писал, для понимания характера Ландау важно отличать форму поведения от сути дела. В связи с формой я, помню, даже удивлялся, какую Дау проявлял объективность, если судил не сгоряча. Известно, но придется об этом напомнить, что Ландау имел «шкалу заслуг» в области физики. Шкала была логарифмической¹. Из физиков нашего века класс 0,5 имел только Эйнштейн, к классу 1 относились Бор, Дирак, Гейзенберг и ряд других, а самому Ландау отводился класс 2 (здесь, как и в некоторых других случаях, имеются разногласия, но я от Ландау самооценки выше 2 не слышал: ранее он относил себя даже к классу 2,5). Так вот, к классу 1 был отнесен и физик, высказавший в 20-е годы блестящую мысль, догадку, но ничем более практически не прославившийся и даже вызывавший своей дальнейшей деятельностью раздражение Ландау, и не его одного. Но ничего не поделаешь, личность и намерения в расчет не принимались, оценивалось достижение. Не знаю, произведут ли этот пример и сама шкала впечатление на читателей (тем более что я не счел корректным назвать фамилию), но я думаю, что при составлении шкалы Ландау проявлял высокую объективность. Было немало и других свидетельств в пользу этого. Вот еще один пример, хотя он тоже не всех убедит. В. Гейзенбергу был присвоен класс 1, разумеется, с полным основанием — мало кто так много сделал, причем в разных областях физики. Однако Гейзенберга в физических кругах, насколько я могу судить, весьма и весьма недолюбливали. Здесь играли роль не только политические соображения, но также характер и поведение Гейзенберга. Поскольку я его лично не знал, то повторять мнения и слухи не буду², достаточно и того, что Гейзенберг как личность явно не пользовался особыми симпатиями Ландау. Но вот в 1947—1948 гг. Гейзенберг опубликовал статьи, посвященные попытке построить микроскопическую теорию сверхпроводимости. Попытка была весьма неудачна, Ландау и я были о ней самого низкого мнения (и это мнение в дальнейшем только подтвердилось). Но, когда я начал ругать Гейзенберга (что точно говорилось, не помню), Ландау меня решительно осадил. Смысл сказанного им был таков: Гейзенберг очень крупный физик, его нужно судить по лучшим работам, а не по плохим. Вроде бы и тривиально. Кто же не знает, что «орлам случается и ниже кур спускаться». Но фактически я получил урок и помню его до сих пор. Чего-то я здесь ранее не понимал (пусть не формально, а по-настоящему).

Из таких «уроков», а не из обучения отдельным приемам вычислений или помощи при «проработке» учебников вяжется ткань, вырабатываются нормы поведения. Они, эти нормы, несколько различны или иногда сильно различаются у разных «школ».

Л.И. Мандельштам, И.Е. Тамм и Л.Д. Ландау были совсем разными людьми и формировали разные «школы»³. Для школы Ландау, по крайней мере при его жизни, были

¹Использовались, очевидно, логарифмы с основанием 10, т.е., например, классу 2 отвечали достижения, в 10 раз меньше чем для класса 1.

²Позволю себе, однако, сообщить мнение, которое в разговоре со мной высказал один известный физик, работавший и с Гейзенбергом, и с Бором. Он заявил, что соотношение неопределенности принадлежит фактически не Гейзенбергу, а Бору. Сам Гейзенберг, по словам моего собеседника, признал это в разговоре с ним, заявив что-то в таком роде: Бор выражается туманно, вот я и написал это в более понятном виде.

³См. сборники: Академик Л.И. Мандельштам (к 100-летию со дня рождения). — М.: Наука, 1979; Воспоминания о И.Е. Тамме. — М.: Наука, 1981; 2-е изд., 1986.

характерны научная бескомпромиссность и принципиальность, четкость, связь с экспериментом, широта и многое другое. Не могло быть, конечно, и речи о том, чтобы Ландау «приписался» к чужой работе. Напротив, иногда его участие в работе было существенным, а он отказывался поставить свою фамилию в качестве соавтора. Со мной самым был один такой случай. Я много советовался с Ландау, когда делал работу, посвященную действующему полю в плазме (Изв. АН СССР. Сер. физ. — 1944. — Т. 8, N 2. — С. 76). Поскольку мне казалось, что роль обсуждения с Ландау в данном случае была большой, я, написав статью, поставил на ней и фамилию Ландау. Но, когда я пришел со статьей к Ландау, он отказался от соавторства. Разумеется, я его в конце статьи соответствующим образом поблагодарил. Отказался ли он потому, что считал свою роль недостаточно большой или работу не слишком существенной, не знаю, но это сейчас и не важно.

Знаю я и другой случай отказа Ландау от соавторства, обернувшийся для меня неприятностью. Физик Z советовался с Ландау по одному вопросу оптики. Этим вопросом незадолго перед этим занимался и я, причем опубликовал статью, которую Z знал. Знал, но, видимо, не понял или «не захотел» понять. Так или иначе, Ландау, который все это понимал и без моей статьи (ее он, уверен, не читал, хотя я ему и рассказывал содержание), объяснил Z суть дела. Далее Z написал соответствующую статью, причем в качестве соавтора поставил и Ландау (я знаю об этом от самого Ландау). Но последний от соавторства отказался. Вот и вышла статья Z, которую я в отношении части ее содержания мог бы считать просто плагиатом. Но это, разумеется, не плагиат, ибо Z списывал не у меня, а воспользовался советами Ландау. Да, в жизни встречается такое, чего и нарочно не придумаешь.

Кстати, не лишен любопытства тот факт, что упоминаемая статья Z цитируется гораздо чаще, чем моя. И подобная ситуация хотя и не правило, но далеко не исключение. Сплошь и рядом некоторые статьи цитируются в качестве пионерских, классических и т.п. совершенно без должных на то оснований. Просто эти статьи каким-то образом попали в «обойму», а затем их мнимая роль закрепляется в результате процесса, лучше всего выражаемого термином «adapted by repetition» («принято в результате многократного повторения»). Получается такое иногда совершенно случайно, мало кто смотрит относительно старые работы, один автор сослался на попавшуюся статью, а потом эта ссылка пошла кочевать из статьи в статью. Но бывает и так (в каком проценте случаев, оценить не берусь), что неоправданное появление ссылки не случайно: либо автор-приоритетчик сам каким-то образом «организовал» ссылку (в лучшем случае намекнул, а в худшем просил, а то и требовал), либо же в физических кругах известно, что автор — человек влиятельный, быть может, склонный или амбициозный. Вот на него и делают ссылку на всякий случай, дабы не нажить неприятностей и т.п. В результате лишь наивные новички думают, что можно без проверки доверять всяким приоритетным утверждениям и ссылкам.

6. В научной среде вопросы приоритета играют немалую роль. Я об этом уже написал кое-что в одной из статей¹ и повторяться не буду. Не помню, чтобы у И.Е. Тамма и в созданном им отделе (сейчас Отделе теоретической физики им. И.Е. Тамма ФИАН СССР), где я работаю с 1940 г., когда-либо возникали какие-нибудь существенные споры, а тем более дразги, связанные с приоритетом. Не помню, чтобы И.Е. когда-либо даже упоминал о своем приоритете, думаю, что он считал это ниже своего достоинства. Поэтому даже не знаю, затрагивали ли его приоритетные вопросы в глубине души. Ландау в этом отношении был более чувствителен и, во всяком случае, иногда не считал нужным скрывать свое недовольство. Примеров не помню, но какое-то чувство неудовлетворенности сохранилось (это совершенно не касалось меня, и, таким образом, речь не идет о чем-то личном). Сам Ландау читал относительно мало статей (для ознакомления с литературой в большей мере служил семинар) и даже свои собственные статьи (т.е. статьи без соавторов) писал не сам.

¹См. статью «Как и кто создал теорию относительности?». Настоящий сборник, с. 136.

Этим он как-то, помню, и оправдывал отсутствие нужных ссылок в какой-то своей статье. Объяснение в общем резонное. Я лишь думаю, что нельзя, вообще говоря, требовать от других того, что не делаешь сам, а такое с Ландау бывало. Впрочем, это несколько спорный вопрос. Работы и результаты Ландау были лучше, шире известны, чем работы многих других авторов. Да и рассчитывать он мог на большее внимание.

Так или иначе, но я не знаю случаев, когда бы Ландау диктовал, как нужно на него ссылаться. Для контраста приведу один недавний пример. Некий физик W требует от своих аспирантов и вообще «учеников», чтобы они ссылались примерно так: «как впервые показано W» (а далее ссылка). Я считаю это просто неприличным. Если дается ссылка, а тем более в явном виде («как показано W»), то этого уже более чем достаточно. Из добавки «впервые», как мог бы сказать Ландау, так и торчат уши бесцеремонного приоритетчика. Если Ландау и позволял себе что-то лишнее в вопросах приоритета (в том смысле, что высказывал недовольство и т.п.), то, как я думаю, из чувства справедливости, а не в силу стремления получить еще большую известность и т.п. Когда Ландау был в курсе дела, он всегда отдавал должное другим, и в частности своим соавторам. У нас с Ландау есть только одна общая работа, она посвящена теории сверхпроводимости (ЖЭТФ. — 1950. — Т. 20. — С. 1064). Но этой работе суждено было оказаться наиболее известной работой, в которой я являюсь автором или соавтором. Поскольку имя Ландау пользуется большей известностью, чем мое, а быть может, и по другим причинам в литературе на эту работу иногда ссылаются не как на теорию Гинзбурга и Ландау (в таком порядке в согласии с алфавитом стоят наши фамилии¹ в заголовке статьи), а как на теорию Ландау — Гинзбурга или даже одного Ландау. Признаюсь, я замечаю такое, но никогда ни прямо, ни косвенно не обращал на это внимание соответствующих авторов. Думаю, что только такого поведения и можно требовать, не замечать же себе не прикажешь. Так вот, Ландау ценил нашу работу и не раз ее упоминал, и причем всегда вполне корректно. У меня к нему не было никаких претензий, что с соавторами бывает далеко не всегда. Я был этому рад и, надеюсь, мне поверят, не из мелкого тщеславия. Здесь другое, я ведь хорошо относился к Ландау, уважал его. И если бы он себя вел «не так», то это в моих глазах принизило бы его образ. Трудно это объяснить, кто понимает — тот понимает.

7. Теперь несколько слов об отношении Ландау к Эйнштейну. Начну с упоминания какого-то недоразумения. Ландау не раз рассказывал, в частности, мне или при мне, что он один раз в жизни разговаривал с Эйнштейном, насколько помню, в Берлине, году, так, в 1930-м. Ландау, по его словам, после семинара пытался «объяснить» Эйнштейну квантовую механику, но безуспешно. Однако Ю.Б. Румер утверждает, что Ландау с Эйнштейном никогда не беседовал². Как понимать это противоречие, не знаю, его выяснение по своему значению напоминает, конечно, типичные пушкиноведческие «проблемы». Но все же интересно: в чем же дело?

Теперь по существу. Ландау, как видно уже из сказанного ранее, ставил Эйнштейна выше всех физиков нашего века, и это мнение просто бесспорно. Ландау называл общую теорию относительности самой красивой из всех существующих физических теорий. Не

¹Почему-то, когда речь зашла о фамилиях, я вспомнил, что в некотором смысле моя настоящая фамилия не Гинзбург, а Ландау. Действительно, такова была фамилия моего прадеда по «прямой» мужской линии. Но, женившись на прабабушке по фамилии Гинзбург, прадед по каким-то имущественным соображениям принял фамилию жены. Кроме того, мы с Л.Д. Ландау, по-видимому, какие-то очень далекие родственники. Как-то я, шутя, все это рассказывал, но перестал рассказывать после того, как ко мне рикошетом вернулось такое: Ландау хорошо относится к Гинзбургу потому, что он его родственник.

²В 1974 г. мы обменялись с Ю.Б. Румером письмами, причем он, кстати, сообщил следующее. В декабре 1929 г. Румер и Ландау познакомились в Берлине (их познакомил П. Эренфест), и они вместе сидели на коллоквиуме (на самой верхотуре, как пишет Ю.Б. Румер), на котором присутствовал Эйнштейн. Ландау сказал Румеру: спущусь вниз и попытаюсь уговорить Эйнштейна бросить заниматься единой теорией поля. Однако разговора с Эйнштейном Ландау тогда не завязал, и Ю.Б. Румер считает, что это не могло произойти и позже.

знаю, бесспорно ли такое мнение, но я его безоговорочно разделяю. Ландау считал вместе с тем, как и многие другие, что последние 30 лет своей жизни (с 1925 г., после работ, посвященных статистике Бозе — Эйнштейна) Эйнштейн шел не по тому пути. Конкретно помню заседание Отделения физико-математических наук АН СССР (происходившее 30 ноября 1955 г. в зале, в котором обычно заседает Президиум АН СССР), посвященное 50-летию создания частной теории относительности и памяти Эйнштейна, скончавшегося 18 апреля 1955 г. Вступительное слово произнес И.Е. Тамм, затем было сделано несколько докладов, в том числе мой (об экспериментальной проверке общей теории относительности), а заключительный доклад Ландау был посвящен, кажется, общей теме — об Эйнштейне, его жизни и работе. Доклад Ландау был впечатляющим, но кроме такого общего воспоминания запомнилось только одно — Ландау говорил о «трагедии Эйнштейна» в применении к последнему периоду его жизни. Речь не идет о какой-то личной трагедии (ее и не было, если не иметь в виду «обычные» неприятности и болезни), а о научной трагедии. В чем видят эту «трагедию Эйнштейна»? Во-первых, он «не принял» квантовую механику, как считается, не понял ее. Во-вторых, он посвятил долгие усилия созданию единой теории поля, причем в этом не преуспел.

Я не согласен с подобными заключениями и не считаю, что была какая-то «научная трагедия». Проще обстоит дело с единой теорией поля. Теперь мы знаем, что это направление было плодотворным. Легче всего мне здесь сослаться на статью Янга¹. Он отмечает, что попытки Эйнштейна построить единую теорию поля² не были особенно успешными и «некоторое время некоторые люди считали, что мысль об объединении (unification) была своего рода навязчивой идеей (obsession), овладевшей Эйнштейном в старости». Далее Янг пишет: «Да, это была навязчивая идея, но навязчивая идея, отвечавшая пониманию (insight) того, какой должна быть фундаментальная структура теоретической физики. И должен добавить, что именно это понимание отвечает направлению развития физики сегодня». Поэтому «трудно сомневаться в том, что убеждение Эйнштейна в важности объединения, которое он стойко защищал от любой гласной или негласной критики, было глубоким проникновением в суть проблемы».

Коротко говоря, причислять работу Эйнштейна над единой теорией поля к числу каких-то неудач нет оснований. Отсутствие конечного результата в данном случае достаточно естественно и ни в коей мере не может изменить такого вывода.

Что касается квантовой теории, то всегда было известно, что роль Эйнштейна в ее развитии до 1925 г. была очень большой. Сейчас, особенно в связи со столетним юбилеем со дня рождения Эйнштейна (14 марта 1979 г.), появилось много новых статей, из которых ясно, что эта роль еще значительнее, чем многие думали³. Любопытно было узнать или, точнее, вспомнить, что Н. Бор долгое время резко отрицательно относился к идее Эйнштейна о квантах света (фотонах). Так что в спорах Эйнштейна с Бором далеко не всегда последний оказывался прав, как это обычно принято считать. Что же касается квантовой механики, то неверно говорить об ее отрицании или недооценке Эйнштейном. Дело в другом, в том, что Эйнштейн, считая квантовую механику неполной, думал, что за ней «еще что-то есть». Здесь не место развивать эту тему, но я, хотя и придерживаясь вполне ортодоксальных взглядов на квантовую механику, много раз убеждался, что глубокое преподавание ее основ не так уж распространено, да и в научной литературе

¹ Yang C.N. // *Physics Today*. — 1980. — V. 33, N 6. — P. 42. (Пер.: Янг Ч. // УФН. — 1980. — Т. 132. — С. 169).

² Конкретно в статье Янга речь идет о последней работе Эйнштейна, опубликованной в 1955 г. в виде приложения к пятому изданию его книги «*The Meaning of Relativity*». (Пер.: Эйнштейн А. Собр. науч. тр. — М.: Наука, 1966. — Т. 2. — С. 849).

³ См. Pais A. // *Rew. Mod. Phys.* — 1979. — V. 51. — P. 861; см. также: Pais A. *The Science and Life of Albert Einstein*. — Oxford: Oxford Univ. Press., 1982. Имеется русский перевод: Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. — М.: Наука, 1989.

поток дискуссионных статей на эту тему отнюдь не иссякает. Здесь мы сталкиваемся с гносеологией, в известном смысле выходим за пределы физики. Распространенное мнение, что все уже в основах квантовой механики, по сути дела, достаточно ясно, скорее всего, справедливо. Однако считать любые сомнения на этот счет каким-то обскурантизмом представляется совершенно неправомерным. Коротко говоря, нет оснований, как мне кажется, и в позиции Эйнштейна в отношении квантовой механики видеть нечто трагическое.

Эйнштейн всегда был одиночкой¹, работал с немногими сотрудниками. В конце жизни он действительно был как-то в стороне от магистральных дорог развития физики в тот период. Но оставался очень активен в общественной жизни, много переписывался². Его положение никак не назовешь изоляцией, а от почитания ему приходилось уклоняться, оно тяготило.

8. Остановлюсь на своих непрофессиональных отношениях с Ландау. На мысль, что это целесообразно сделать, навело следующее. Заметку, дополнением к которой является настоящий текст, я дал еще в рукописи просесть нескольким лицам. Было сделано некоторое число замечаний, кое-что я учел, кое-что не считал нужным менять. Но помню сейчас только один совет — вычеркнуть то место, где говорится о подсчете разницы в возрасте. На мой вопрос, почему нужно выбросить, последовал только лаконичный ответ: это лишнее. Я не вычеркнул этого абзаца, но с тех пор затаил мысль: а не была ли причиной совета возможность заключить из абзаца, о котором идет речь, что мы с Ландау были на «ты». Получалось, что я как-то специально хотел дать понять свою близость с Ландау.

Ландау был на «ты», пожалуй, почти со всеми своими учениками харьковского периода. Вообще переход на «ты» не был для него чем-то исключительным и в зрелом возрасте. Правда, с большинством учеников и вообще физиков, попавших в его орбиту уже в Москве, он на «ты» не переходил. Я познакомился с Ландау году в 1939-м или 1940-м, и лет 15 мы были на «вы», хотя довольно часто общались и в целом были в хороших отношениях. В 1953 г. в Москву вернулась моя жена, и у меня появился «дом». Ландау бывал у нас, виделись мы и в других местах. Тогда-то Дау как-то решительно предложил перейти на «ты», но я сопротивлялся — мне было трудно начать говорить ему «ты». Дау, однако, отмахнулся от моих возражений и стал говорить мне «ты». Постепенно и я привык, было бы неестественно в таких условиях поступать иначе. Несомненно, переход на «ты» был со стороны Дау проявлением дружеского отношения, я это оценил тогда и ценю сейчас. Но это вовсе не значит, что мы были друзьями в том понимании слова «друг», которое у нас наиболее принято и предполагает большую, тесную, интимную близость. Если бы меня спросили, то к друзьям Ландау я с уверенностью отнес бы только Е.М. Лифшица. Раза два (правда, когда Ландау был болен) я видел со стороны Е.М. проявление к нему тех очень теплых чувств, которые характеризуют истинную дружбу. Со стороны Ландау я таких проявлений не видел по отношению к кому бы то ни было. Конечно, это ничего не доказывает, такое часто проявляется лишь в чрезвычайных обстоятельствах, а многие не любят демонстрировать свои теплые чувства. Но почему-то думаю, хотя в этом и не уверен, что Ландау вообще подобных чувств обычно не питал.

Как Ландау относился ко мне как к физику? Думаю, что положительно, но трезво: видел и сильные, и слабые стороны. Это было тем более естественно, что я не стеснялся спрашивать его и о непродуманных вещах, откровенно обнажал свои недостатки (слабость в «технике» и т.п.). При оценках «класса» физика существенно и различное отношение к тем или иным научным достижениям. Например, как уже отмечалось, Ландау не ставил

¹Пайс в цитированной интересной статье пишет: «Если я должен был бы охарактеризовать Эйнштейна одним словом, я выбрал бы “обособленность” (apartness)».

²Трудно не заметить, что Эйнштейн обладал незаурядным литературным даром. Это видно, в частности, из его писем, но не в меньшей мере из публицистических и вообще «ненаучных» статей.

высоко открытие и объяснение эффекта Вавилова — Черенкова. Я же люблю, можно сказать, этот эффект, как мало что другое в физике. В этой связи я ценю — надеюсь, такое замечание не будет нескромным — свою работу (опубликованную в 1940 г.), в которой была дана квантовая теория эффекта Вавилова — Черенкова и, в частности, было показано, что условие излучения следует из законов сохранения энергии и импульса для излучающей частицы и «фотонов в среде» (с энергией $\hbar\omega$ и импульсом $\hbar\omega n/c$, где ω — частота и n — показатель преломления среды). Ландау же считал, быть может, в связи с тем, что соответствующие квантовые поправки обычно весьма малы и достаточно пользоваться классической теорией, что упомянутая моя работа особой ценности не представляет. Кстати, именно в связи с этой работой Ландау в 1939 г. (а быть может, и в 1940 г.) впервые, по-видимому, услышал мое имя и как-то идентифицировал меня. В тот период группы (отделы) И.Е. Тамма (в ФИАНе) и Л.Д. Ландау (в ИФПе) систематически устраивали «встречи» то в одном, то в другом институте. И я помню, как в тесном кабинете И.Е. Тамма на Миусах (в бывшем туалете!) Игорь Евгеньевич рассказывал о моей работе, а Ландау весьма холодно реагировал на это.

Какой класс дал бы мне Ландау по своей упомянутой логарифмической шкале? Ландау я об этом никогда не спрашивал, считал бестактным, а быть может, боялся получить какую-либо «бесклассовую» оценку. Кстати, насколько помню, с годами Ландау все меньше занимался подобной классификацией.

9. Выше помимо Ландау я немало пишу и о себе. Да иногда еще, что Гинзбург прав, а Ландау и другие неправы. Недоброжелательный читатель вполне может отсюда вывести нелестные для меня заключения.

Но на недоброжелательных читателей не следует рассчитывать, они всегда найдут пищу для критики, даже если, согласно известному анекдоту, отредактировать сосну до ее превращения в телеграфный столб. Что же касается доброжелательного читателя, то если он имеет жизненный опыт, то, как я верю, все поймет правильно. Но неопытной молодежи (а для нее же в основном предназначен сборник), быть может, нелишне кое-что пояснить.

В науке, как и в искусстве и литературе, не может быть, не должно быть и фактически нет разделения только на две категории — на выдающихся или великих людей (будем так условно говорить) и на некий безликий плебс. Напротив, имеются все градации, существует целый спектр достижений, способностей, уровней знаний и т.д. и т.п. Великий физик получает такой титул за то, что его лучшие результаты находятся на соответствующем уровне, недостижимом для нижестоящих. Но он, конечно, может делать и слабые и даже ошибочные работы. Обычно великий или поистине выдающийся физик реже ошибается, чаще оказывается правым, чем физики классом пониже. Вместе с тем само существование таких физиков классом пониже неизбежно и необходимо, причем, и это главное, сами они отнюдь не пешки. Если их вообще можно назвать физиками, то они должны иметь свое мнение по многим вопросам и вполне способны оказываться правыми в спорах с «вышестоящими» в таблице о рангах. Коротко говоря, то, что я был иногда прав в спорах с Ландау, ни в малейшей мере не умаляет его достоинств и свидетельствует в лучшем случае о том, что я физик, а не представитель какой-либо иной специальности. Все это столь ясно, что, быть может, и пояснять было излишне.

Менее прост ответ на вопрос: а зачем же все-таки приводить именно примеры, когда прав автор, и вообще почему он не скрылся с читательских глаз¹? Здесь я, во-первых, согласен, что лучше бы автору скрыться. Но, во-вторых, это трудно, а иногда и невозможно

¹Несколько частный вопрос в этом же плане — употребление личных местоимений («я», «мне» и т.д.). В научной литературе у нас принято совершенно не употреблять такие местоимения (в английской литературе это не так); я так к этому привык, что просто не могу в научной статье пользоваться такими местоимениями. Но как же быть в статье или книге научно-популярного или публицистического жанра? Иногда употребление там всяких «мы» и «нам» покажется просто смешным, напоминает известное

сделать в воспоминаниях. Если писать не с чужих слов, а приводить факты, то что же вспоминающий помнит? Чаще всего он помнит эпизоды и случаи, когда он говорил с тем, кого вспоминает, и, вообще, в чем сам участвовал. У меня к тому же плохая (или, точнее, какая-то селективная) память с высоким порогом. Я хорошо помню свои ошибки, помню достижения, иногда запоминаю какие-то никчемные, ненужные мне факты и имена, не помню стихов, но на десятилетия могу запомнить существование какой-то ссылки на литературный источник.

Так и получилась в настоящей статье картина неоднородная, неравноценная, субъективная. Если убояться «криков беотийцев», то нужно значительную часть написанного просто выбросить. Но я предпочитаю предоставить благожелательным читателям самим отобрать интересное и пренебречь тем, что кажется им не заслуживающим внимания. Тут важно и то, что разным людям совсем не одни и те же моменты кажутся нужными или ненужными, любопытными или неинтересными. Поэтому неизвестно, на кого же ориентироваться. Правильнее всего поэтому для автора не приноравливаться к читателям, а идти своим путем. В таком убеждении особенно укрепил меня такой пример. Одну из своих статей я закончил довольно цветистой, «красивой» фразой. Признаюсь, что склонен к такому стилю, а не к тому, чтобы рукопись как бы обрывалась. И вот эту статью в рукописи смотрели два человека, оба — известные физики. Один из них об упомянутой последней фразе статьи сказал, что ее нужно выбросить, она лишняя и т.п. Другой же назвал эту же фразу лучшей во всей статье. Так кого же слушаться? Очевидно, в таких вопросах нужно прислушиваться в первую очередь к себе самому.

10. Прошло уже почти 19 лет (к моменту, когда пишется эта статья) с тех пор, как мы лишены возможности обсуждать с Ландау физические вопросы. В физике активно работают сейчас многие, кто и в глаза не видел Ландау. Поколение же, к которому я принадлежу, стало старшим поколением, по возрасту мы уже перегнали Учителя. Но я по-прежнему неизменно вспоминаю Дау и ощущаю его отсутствие как большую и, главное, если можно так выразиться, актуальную потерю. Этого не объяснишь только дружескими чувствами к Дау и его трагическим концом. Важным, быть может, самым важным фактором я здесь считаю естественные чувства человека, который любит свою профессию, играющую в его жизни очень большую роль. И такой человек не может не тосковать, не чувствовать пустоту в связи с утратой, отсутствием того, кто долгие годы был столь ярким светилом на физическом небосклоне, кто жил на Олимпе.

«мы, Николай II». В случае воспоминаний дело и того хуже. Все эти «я», «мне» и «меня» в настоящем дополнении раздражают и меня самого, но просто неизвестно, как от них избавиться.

ПАМЯТИ АЛЕКСАНДРА АЛЕКСАНДРОВИЧА АНДРОНОВА

В основу настоящей заметки положен текст выступления на заседании, посвященном памяти А.А. Андропова (16 ноября 1972 г.). См. также библиографическую справку в конце книги.

В 1971—1972 гг. «Литературная газета» проводила анкету под девизом «Наука и общество». Предпоследним вопросом (№11) этой анкеты был такой: «Способствует ли само по себе занятие наукой воспитанию высоких нравственных качеств»? Мой ответ на этот вопрос был следующим: «К сожалению, на основе имеющихся у меня сведений нет никаких оснований утверждать, что занятие наукой способствует воспитанию высоких нравственных качеств. Вместе с тем такой вывод меня самого удивляет. Видимо, многие другие факторы значительно сильнее и раньше влияют на формирование личности, чем облагораживающее действие занятий наукой».

Должен заметить, что этот ответ был помещен в газете в первой же подборке, и, таким образом, я не мог предварительно ознакомиться с другими ответами. А когда ознакомился, то как-то еще больше заинтересовался этим вопросом № 11. Среди ответов был, например, и такой: «Не могу вспомнить ни одного действительно выдающегося ученого, который бы отличался низким уровнем моральных качеств». Был и такой ответ: «Но крупный негодяй тоже может быть ученым, он может обладать волей, работоспособностью, интересом к познанию». В общем единого мнения нет. Если вообще можно будет прийти к единому мнению, то, вероятно, лишь на основе уточнения вопроса, его расчленения на несколько других, более конкретных.

Разумеется, здесь не место развивать эту тему¹. Коснулся же я ее по вполне понятной причине: когда думаешь о связи науки и нравственности, то неизбежно перебираешь в памяти имена людей, которых знал лично или о которых читал, сопоставляешь их качества и особенности, стараешься воссоздать их нравственный облик. И вот всегда, когда я думаю о людях, когда ищу пример замечательной человеческой личности, то вспоминаю Александра Александровича Андропова.

Первый «снимок» в моей памяти: 1944 г., похороны Л.И. Мандельштама, А.А. Андронов — большой, в коричневом кожаном пальто и с заплаканными глазами. Не вполне уверен даже, были ли мы тогда знакомы, но уж во всяком случае я и не подозревал, что вскоре мы будем часто встречаться (А.А. Андронов с 1931 г. жил в Горьком, где я до конца войны никогда не бывал). Но вот в 1945 г. в Горьковском университете по инициативе А.А. Андропова и его близких коллег — физиков и математиков — был создан радиофизический факультет. Основную роль не только в организации нового факультета, но и в преподавании играли, разумеется, горьковчане. Было, однако, привлечено «по совместительству» и несколько москвичей, в том числе и я (в качестве организатора и заведующего кафедрой распространения радиоволн). Хотелось бы поменьше писать здесь

¹Мне довелось кратко остановиться на этом вопросе в другом месте (см.: Гинзбург В.Л. О теории относительности. — М.: Наука, 1979. — С. 141) и в настоящей книге (с. 153).

о себе, но для понимания ситуации целесообразно сообщить, что с 1945 по 1953 г. моя жена жила в Горьком. Поэтому я, единственный из приглашенных на радиофизический факультет москвичей, оказался тесно связанным с Горьким на многие годы, а до 1953 г. стремился приезжать туда из Москвы как можно чаще. Естественно, что в Горьком было немало деловых поводов для встреч с Александром Александровичем, который очень активно и не щадя сил принимал участие во всем касавшемся нового факультета, преподавания в ГГУ, развития физики в Горьком.

Но главное было не в этом. Придется воспользоваться избитым сравнением, но не приходит на ум другое: Александр Александрович притягивал меня к себе подобно магниту. То, что он был выдающейся личностью, необычным человеком и собеседником, становилось ясным как-то сразу. С ним было интересно, хотелось его видеть и поговорить о многом. Кстати, о том, чем Александр Александрович занимался, так сказать, профессионально (теория колебаний, автоматическое регулирование), мы почти не разговаривали. Я этих вопросов практически не знал, был от них далек и касаться их в разговоре со мной А.А. было, очевидно, совершенно неинтересно. Он любил узнавать что-то новое, любил получать «информацию» о самых различных вещах. Вот я и рассказывал, что мог. Подолгу мы, беседуя, ходили по горьковскому откосу. Этот откос — замечательное место, и не помню случая, чтобы, приезжая в Горький, я не ходил туда «на поклон». Александр Александрович, если память не изменяет, как-то очень любил откос (боюсь выдумывать, но, быть может, именно он и привил мне любовь к откосу). Говорили отнюдь не только о науке, но я с сожалением вспоминаю, что далеко не всегда был равноправным собеседником, ибо многого тогда не понимал (даже из того, что следовало бы понимать). Сказывалась и разница в возрасте — Александр Александрович был на 15 лет старше меня. В научных вопросах такая разница обычно особой роли не играла, но, когда дело касается человеческих отношений, политики и т.п., различие в возрасте может иметь радикальное значение. Помню А.А. как-то воскликнул: «Вот хорошо бы поговорить о политике с Игорем!» (имелся в виду Игорь Евгеньевич Тамм).

Годами живет во мне чувство: как хотелось бы о многом поговорить с Александром Александровичем в 1953 г., в 1956 г. ... да и сегодня — он ведь мог бы еще быть среди нас. Понимаешь, конечно, сколь бессмысленны рассуждения о несправедливости, безвременности смерти. Если они коробят (а это вполне возможно), прошу у читателей извинения. Но ведь и понятно, как трудно примириться с тем, что Александр Александрович Андронов скончался, когда ему исполнился только 51 год.

В памяти всплывают различные эпизоды, но описать их очень трудно, да и не всегда это может показаться уместным. Ярко запомнилось, например, одно заседание то ли какой-то комиссии, то ли ученого совета с довольно обычной в таких случаях мелкой дипломатией, недоговоренностями. И вдруг А.А. резко нарушил все «нормальное» течение обсуждения, как-то обнажил сущность дела, сказал, как решить вопрос, честно, без уверток. Характерно, что я совершенно забыл, о чем шла речь, осталось в памяти только сильное впечатление: так бывает, когда стало смеркаться и вдруг кто-то догадался зажечь яркий свет.

Известно, сколько времени и сил — физических и душевных — отдавал А.А. Андронов своей депутатской деятельности, помощи людям. От того, чтобы как-то отметить свое 50-летие, Александр Александрович категорически отказался и даже куда-то уехал на эти дни. Помню, как он сказал мне или при мне примерно следующее: «Я не собираюсь присутствовать на репетиции своих похорон». Увы, его похороны состоялись очень скоро, и этот ненастный день в начале ноября 1952 г. нельзя забыть, но и не хочется вспоминать.

Живого Александра Александровича Андропова я видел в последний раз у него дома, в конце сентября 1952 г., за несколько дней до того, как он слег в больницу. Александр Александрович был уже очень болен, видимо, терял зрение, понимал, что он обречен. Но

как он держался! Я ушел от него, так и не поняв тогда, что мы прощались, а Александр Александрович, по всей вероятности, это хорошо понимал.

Да, занятия наукой «сами по себе» не имеют, как я думаю, отношения к нравственности и морали. Зависть, карьеризм, недоброжелательство, тщеславие, а то и прямая подлость представлены в научной среде, вероятно, не меньше, чем в какой-либо другой. Но в этой же среде и особенно среди ее наиболее выдающихся представителей было немало людей, обладавших одновременно очень высокими человеческими качествами — благородством, добротой, принципиальностью, доброжелательностью, скромностью. Я особенно интересовался биографией величайшего из великих физиков нашего века Альберта Эйнштейна и могу утверждать, что он обладал всеми перечисленными качествами, он может служить примером не только великого физика, но и человека. То же можно с уверенностью сказать о другом великом физике — Нильсе Боре. Из тех великих физиков, о ком из литературы я тоже знаю только как о людях с высокой нравственностью, упомяну о Максвелле и Планке.

Особого упоминания здесь заслуживает также Павел Сигизмундович Эренфест. Ему посвящена хорошая книга В.Я. Френкеля¹. Ограничусь сейчас замечанием, что Эренфеста часто вспоминал А.А. Андронов, и думаю, что Эренфест оказал на Андронova явное и глубокое влияние. Эренфест был известным физиком, замечательным педагогом, воспитателем, человеком. То же можно сказать о непосредственном учителе Андронova — о Леониде Исааковиче Мандельштаме. Хочу вспомнить вместе с Эренфестом, Мандельштамом и Андроновым также Игоря Евгеньевича Тамма, скончавшегося в 1971 г.². Все эти крупные физики знали, ценили и любили друг друга. Все они сочетали в себе выдающиеся научные и человеческие качества. И то и другое даже в отдельности встречается не так уже часто. А при сочетании всех этих качеств, при их «интерференции», как раз и возникает исключительная, замечательная личность. Таким человеком был, несомненно, и Александр Александрович Андронов.

Позволю себе сделать еще одно, последнее замечание. Почему, зачем проводятся заседания памяти А.А. Андронova и издается соответствующий сборник? Разумеется, тем из нас, кто знал, ценил и любил Александра Александровича, представляется естественным отдать дань его светлой памяти. Но, с другой стороны, знавшие Андронova и так никогда его не забудут, и, очевидно, основная задача заседаний и сборника воспитательная. Мы должны на примере А. А. Андронova познакомить представителей молодого поколения с тем, какие бывают люди, на какие «стандарты» нужно ориентироваться. Всякий, кто знал Александра Александровича, кто видел его отношение к науке, к людям, к преподаванию, к общественным проблемам, сам изменялся и должен был многое понять, почувствовать, улучшиться (конечно, я не говорю о людях духовно слепых и глухих, им, к сожалению, никакой пример не поможет). Сам Александр Александрович точно также многое понял и воспринял на примере П.С. Эренфеста, Л.И. Мандельштама и, вероятно, некоторых других. Эта нить не должна прерываться. Более того, хотелось бы, чтобы она становилась все прочнее. Только так, равняясь на своих лучших и наиболее достойных представителей и тем самым совершенствуясь, люди действительно смогут увидеть светлое будущее.

¹ Френкель В. Я. Пауль Эренфест. — М.: Атомиздат, 1977.

² См. сборники воспоминаний: Академик Л.И. Мандельштам: к 100-летию со дня рождения. — М.: Наука, 1979; Воспоминания о И.Е. Тамме. — Наука, 1981, 1986.

ОБ АЛЕКСАНДРЕ ЛЬВОВИЧЕ МИНЦЕ

Несколько дополненный текст выступления на вечере памяти А.Л. Минца в Доме ученых (Москва, 23 марта 1976 г.).

Для большинства из нас главным в жизни (или, во всяком случае, в общественной жизни) является работа. Это несомненно относилось к Александру Львовичу Минцу. К числу таких людей принадлежу и я сам, и только этим могу объяснить свою странную первую реакцию на любезное предложение выступить здесь сегодня. Именно, ни о чем еще не подумав, я ответил: как же я могу выступать, ведь я вместе с Александром Львовичем «не работал». Но, подумав, сразу же одумался. Память об Александре Львовиче мне, безусловно, дорога: последние 8 лет его жизни мы довольно часто виделись, много разговаривали, и позволю себе сказать, находились в дружеских отношениях. Поэтому я вправе выступить. Другое дело, смогу ли я сказать что-либо содержательное, тем более что у меня плохая память (кроме профессиональной). В частности, я не помню даже, когда мы с Александром Львовичем познакомились.

Начну нечто вроде воспоминаний с эпизода, имевшего место, вероятно, году в 1956-м или 1957-м: У нас в ФИАНе было созвано специальное и расширенное заседание Ученого совета для присуждения без защиты ученых степеней одному изобретателю. Этот человек был, кажется, только недавно реабилитирован, имел заслуги, но не имел научных степеней и званий, а потому и не мог получать соответствующую зарплату. Все превозносили заочного диссертанта, если можно так выразиться. Лишь выступление одного рецензента прозвучало диссонансом в этом хвалебном хоре. Этим рецензентом был А.Л. Минц. Он отдал должное диссертанту, сказал, что возможность присуждения кандидатской степени не вызывает сомнений, но в отношении докторской степени такой ясности нет. Аргументации сторон я не помню. Запомнился лишь тон выступления одного сановного академика, специально прибывшего на это заседание и довольно высокомерно возражавшего «члену-корреспонденту Минцу». При тайном голосовании за присуждение кандидатской степени Совет высказался единогласно, в отношении же докторской степени лишь один или, может быть, двое из членов Совета прислушались к предупреждению Александра Львовича, и, таким образом, степень была присуждена. А прав-то оказался именно А.Л.: получение высокой степени, возможно, окрылило изобретателя и, так или иначе, он начал строить вечные двигатели второго рода. И той же Академии наук пришлось заниматься опровержением этих «изобретений».

Думаю, что приведенный пример довольно типичен для Александра Львовича. Он был, во-первых, принципиальным человеком и высказывал свое мнение, даже находясь в явном меньшинстве, во-вторых, он с каким-то особым уважением или даже почтением относился к науке, переносил это отношение и на такие внешние атрибуты, как звания, степени и т.п. Это проявлялось при защитах, при присуждении премий, на выборах в Академию. Признаюсь, что, как я считал и говорил это Александру Львовичу, в таких вопросах он иногда даже терял свойственное ему чувство меры и чувство юмора. Возможно, позиция А.Л. объяснялась тем обстоятельством, что в годы его молодости степени и

звания (в частности, звание академика) были, если не редкостью, то все же мало распространены. Поэтому, конечно, и качество в среднем было значительно выше. При массовом же присуждении степеней и при избрании сотен людей критерии практически неизбежно изменяются, особенно учитывая прямую связь званий и степеней с зарплатой и некоторыми благами.

В 1963 г. произошла реорганизация Академии наук СССР, и мы с А.Л. оказались в одном Отделении (теперь это — Отделение общей физики и астрономии), а также были выбраны в Бюро Отделения. Мы оба аккуратно посещали заседания Бюро и всего Отделения (если не говорить о заседаниях, посвященных выборам, то подобная аккуратность является, к сожалению, скорее исключением, чем правилом) и, таким образом, регулярно встречались. Но это было все же формальное знакомство, настоящее же началось в конце 1966 г. И опять я не помню, как это произошло, но хорошо запомнил тот «взрыв», который имел место, когда выяснилось, что Минцы (особенно Евгения Ильинична) до войны хорошо знали отца моей жены. И, как это часто бывает в таких случаях, сразу нашлись общие знакомые и т.д. После этого уже каждую неделю, когда мы оба оказывались на даче (в Ново-Дарьино), часами вместе гуляли и разговаривали. А.Л. любил гулять и любил рассказывать, а я с большим интересом его слушал.

Такова была «база для дискуссии» на первом этапе. Потом, конечно, такое регулярное времяпрепровождение переросло в нечто большее. Всего за 8 лет мы «нагуляли» в Ново-Дарьино и за один месяц в Кисловодске часов 500. Во время этих прогулок, да и дома (преимущественно на даче А.Л.) «наговорили» мы тоже сотни часов и касались почти всего, о чем люди вообще говорят. Но в центре внимания, особенно сегодня, нужно поставить рассказы Александра Львовича. Это были именно рассказы, устные рассказы, хотя немногие из них А.Л. даже и написал. Темы рассказов концентрировались на гимназических и студенческих годах, на службе в Первой конной армии, на неприятностях и осложнениях (будет это так называть), в изобилии встречавшихся на жизненном пути Александра Львовича. Много он рассказывал и о заграничных поездках и о различных эпизодах, связанных со строительством мощных радиостанций и ускорителей, а также о встречах с «интересными людьми». Те, кто хорошо помнит эти рассказы, правильно сделают, если их запишут. Сожалею, что не подхожу для этой цели в силу особенностей памяти, но позволю себе заметить, что эти особенности вовсе не сводятся к поговорке «в одно ухо влетело — из другого вылетело». Очень многое я помню, слышу голос Александра Львовича и вижу его в том или ином месте дороги во время рассказа. Не помню же дат, деталей, подробностей, без которых его рассказы уже точно не воспроизведешь.

Подчеркну, что рассказы А.Л. и вообще его разговоры и замечания никогда не были болтовней, словоизлиянием. Он четко контролировал свой рассказ, категорически не говорил, чего не хотел. В качестве примера сошлюсь на то, что А.Л. никогда не касался секретной информации. Не сомневаюсь в его полной уверенности в том, что я не являюсь «агентом одной иностранной разведки». Не было у него оснований и для подозрений в том, что, услышав нечто конфиденциальное, я побегу рассказывать об этом знакомым. Но все равно он строго придерживался, говоря официальным языком, правил секретности. Разумеется, когда речь шла о современных проблемах, о работе возглавляемого А.Л. института, это само собой разумелось. Но сказанное относилось и к сколь угодно давним временам. Приведу пример. Году, вероятно, в 1939-м или 1940-м Александра Львовича, тогда заключенного, доставили к наркому Берия. И последний «лично» дал А.Л. какое-то техническое задание, причем окружающее начальство, желая выслужиться, требовало, да еще в грубой форме, чтобы задание было выполнено в крайне короткий срок, кажется, в три месяца. Но Александр Львович начал возражать и настаивал на удвоенном сроке, И он победил. В этом рассказе главное — это противопоставление совершенно подневольного и бесправного человека всесильному временщику, причем побеждает бесправный. Разумеется, я понял это, но, поскольку с тех пор прошло более 30 лет, да и Берия давно канул в

Лету, я не проявил бдительности и спросил о существовании задания. А.Л. явно был недоволен вопросом и довольно сухо ответил: это было специальное задание. Отмечу кстати, что и о самых тяжелых событиях в своей жизни А.Л. рассказывал с юмором, объективно, без злобы.

Поскольку в дальнейшем мне еще придется коснуться грустных вещей, кратко перескажу два из рассказов А. Л., являющихся довольно смешными. Впрочем, в отношении первого из рассказов о смехе можно говорить лишь весьма условно. Это было в 20-е годы. Александра Львовича обвинили в смертных грехах и сделали «соответствующие оргвыводы». А дело было в том, что некие небольшие радиопередатчики вели себя странным образом: то их принимали хорошо на довольно далеком расстоянии, то совсем не принимали. Была создана комиссия и выяснилось, что все же виноват не А.Л. Минц, а железная дорога: когда трасса передачи была параллельна железнодорожному полотну, радиоволны (это были, очевидно, достаточно длинные волны) распространялись значительно лучше, чем при распространении в перпендикулярном направлении.

Второй рассказ касается одной из заграничных поездок. Вообще А.Л. в период между 1928 и 1936 гг. многократно бывал за границей и многое вынес из этих командировок. Между прочим, он часто подчеркивал, причем и в публичных выступлениях, что полностью разделяет мнение С. К. Орджоникидзе, считавшего необходимым посылать за границу в достаточно длительные командировки, а не на пару дней, в течение которых (если речь не идет о коротком совещании) ничего, кроме цен в магазинах, не узнаешь и не успеешь даже акклиматизироваться. Эпизод, о котором я хочу упомянуть, произошел в Марселе, где А.Л. оказался вместе с одним «ответственным работником», как тогда говорили. Марсель оправдал свою дурную славу (судя по литературе), и некая девица начала зазывать А.Л. и его спутника. А когда они хотели ретироваться (видимо, не на ту улицу попали), она сорвала или выхватила шляпу у спутника А.Л. и убежала в ближайший дом. А эта шляпа была почему-то очень дорога товарищу А.Л., и он стал просить А.Л. выручить его шляпу и войти для этого в дом, поскольку А.Л. как человеку беспартийному это можно сделать. Вняв просьбе и обещанию расплатиться, А.Л. вошел в вертеп и, как-то отшутившись и вручив какую-то купюру, спас злополучную шляпу.

Говоря об Александре Львовиче, не могу не вспомнить о характерной для него простой (но не столь уж часто встречающейся) человеческой доброте и доброжелательности. Сколько рекомендаций, отзывов и просьб помочь людям написал А.Л. своим очень мелким почерком. Скольким иногда даже совсем малознакомым людям он доставал лекарства или помогал чем-то другим. Хорошо запомнился мне такой эпизод, имевший место в 1969 или 1970 г. В это время Игорь Евгеньевич Тамм был уже тяжело болен — прикован к дыхательной машине. Я регулярно навещал Игоря Евгеньевича, а А.Л., хотя близко с ним знаком не был, очень симпатизировал Игорю Евгеньевичу и всегда меня спрашивал о нем, об его здоровье. А потом попросил вместе поехать навестить Игоря Евгеньевича, хотя был тогда Александр Львович еще очень загруженным человеком и забот у него хватало. Мы приехали, А.Л. сел у постели Игоря Евгеньевича, и он просто излучал симпатию, желание поддержать и развлечь. Александр Львович и Игорь Евгеньевич были однолетками, и, конечно, тем для беседы хватало с избытком. Но особенно интересен и по-своему важен был рассказ А.Л. о том, что в годы гражданской войны он спас Е.Ф. Тамма — отца Игоря Евгеньевича — от очень крупных неприятностей. Е.Ф. Тамм в течение многих лет был городским инженером в г. Елизаветграде (ныне Кировограде) и, в частности, отвечал за работу городской электростанции. Вел он дело, по словам А.Л., на очень большой высоте и умудрялся снабжать город током, сжигая даже самое неподходящее топливо. Но вот иссякло и последнее — свет погас, а в качестве «козла отпущения» кое-кто решил выбрать Е.Ф. Тамма. Но в это время части Первой конной армии находились в Елизаветграде, и командир радиодивизиона А.Л. Минц был назначен председателем комиссии или какой-то группы, каковой надлежало выяснить причину отсутствия электроэнергии. А.Л.

выяснил, что электростанция находится в полнейшем порядке, но действительно совсем нет топлива. А.Л. и с топливом помог, и «реабилитировал» Е.Ф. Тамма. К сожалению, я не помню твердо, были ли к этому времени знакомы А.Л. Минц и И.Е. Тамм (отсутствовавший тогда в Елизаветграде). Но я почти уверен, что они были знакомы или, во всяком случае, видели друг друга, поскольку с 1914 по 1917 г. одновременно состояли студентами физико-математического факультета Московского университета.

Должен теперь перейти к последнему, причем весьма тяжелому периоду в жизни Александра Львовича. Были у него в жизни и ранее, можно даже сказать, трагические периоды, о которых я фактически упоминал и о чем присутствующие знают. Но было это до войны или в начале войны, когда А.Л. был еще сравнительно молод, полон сил и надеялся на более светлое будущее. И, к счастью, эти надежды оправдались. А вот в течение последних пяти лет его жизни ему не только было плохо, но и не было надежды. Началось с того, что А.Л. ушел из созданного им Института не так, как хотел. Потом пошли болезни и у него, и у Евгении Ильиничны. В феврале 1973 г. Евгения Ильинична скончалась. Через несколько дней после похорон А.Л. с сыном и невесткой приехали на дачу. Это был, возможно, первый относительно спокойный для них день. Мы встретились, погуляли и все вместе зашли к нам, что было в общем необычно. Мы выпили что-то спиртное, что было еще более необычно. Было в этом нечто от поминок. Ведь в том, собственно, и смысл поминок: ушедшего уже не вернешь, а оставшимся нужно жить дальше и необходимо встряхнуться, перешагнуть какую-то незримую черту. Хорошо, тепло мы посидели. Был только А.Л. явно недоволен тем, что сын через день или два должен улететь в Чехословакию. Но решительно он не возражал: заграничная командировка, взят билет и т.п. Как известно, в конце этого полета самолет разбился и Алексей Александрович Минц погиб. Какой это был удар для Александра Львовича, ясно без слов. Скажу только, что понимание этого, сочувствие были всеобщими.

Я позволил себе напомнить об этих грустных событиях потому, что такова правда, и потому, что именно на фоне тяжелых испытаний особенно выпукло проявились такие черты А.Л., как мужество и стойкость, мудрость и воля. Он не дал себя раздавить, продолжал работать, иногда из последних сил. И даже на работе, в Совете по ускорителям, проводил больше времени, чем проводят на работе многие более молодые и более здоровые люди. К сожалению, приходилось ему там делать и много черновой работы, так как зачислить в штат выбранного им помощника никак не удавалось.

В связи с предстоящим 80-летием А.Л. начал готовить к печати собрание своих трудов, тратил на это массу сил. В декабре 1974 г. я спросил А.Л., как он собирается встретить свой юбилей. Он ответил, что 8 января 1975 г. пойдет, как всегда, на работу, а там, если кто придет, будет «угощать их коньячком». И, разумеется, мы с женой тоже собирались пойти поздравить А.Л., и я уже начал ломать голову над тем, как бы его повеселить. Как вы знаете, не пришлось нам отметить юбилей Александра Львовича — за десять дней до своего 80-летия он скончался.

В те дни как для себя самого, так и на случай, если можно будет выступить, я написал проект речи у гроба А.Л. Но мне не предложили выступить, а сам я постеснялся попросить слова — ведь я вместе с А.Л. «не работал». Сейчас же я хочу закончить свое выступление тем, что прочту без всяких изменений конец написанного тогда текста:

«Память об Александре Львовиче не нуждается в том, чтобы ее приукрашивали. У него были и обыкновенные человеческие слабости, какие есть у каждого, но важно, конечно, то, что у него были очень редкие и очень ценные достоинства.

Очень многие, как присутствующие здесь, так и отсутствующие по тем или иным причинам, до конца своих дней будут вспоминать Александра Львовича Минца кто с уважением, кто с благодарностью, кто с любовью, а многие и со всеми этими чувствами одновременно.

Наряду со статьями, радиостанциями и ускорителями самое главное и существенное, что человек оставляет после себя, это добрая память, те чувства, о которых говорилось.

И все это Александр Львович Минц оставил нам щедрой рукой».

ПАМЯТИ СЕРГЕЯ ИВАНОВИЧА ВАВИЛОВА

Из доклада «Эффект Вавилова — Черенкова и переходное излучение» на VI Вавиловских чтениях (о физике, затронутой в докладе, см. Гинзбург В.Л. О теории относительности: Сб. статей. — М. Наука, 1979. — С. 588; Природа. — 1975 — N 8. — С. 56; Гинзбург В.Л., Цытович В.Н. // УФН. — 1978. — Т. 126 — С. 553, а также Гинзбург В.Л., Цытович В.Н. Переходное излучение и переходное рассеяние. — М.: Наука, 1984). Дань памяти С.И. Вавилова я, в какой-то мере, отдал также в предисловии и дополнении к новому изданию книги С.И. Вавилова «Исак Ньютон» (М.: Наука, 1989).

Прежде чем перейти к докладу по существу, хочу поблагодарить организаторов заседания за приглашение выступить здесь сегодня. Разумеется, это честь для всякого, но я имею в виду и более конкретное обстоятельство. Дело в том, что я работаю в ФИАНе с 1940 г. и, таким образом, в течение 10 лет находился в Институте, директором которого был С.И. Вавилов. Мы не имели тесных научных контактов, и я помню лишь один разговор с Сергеем Ивановичем на физическую тему, о котором скажу позже в докладе. Не было особой близости и в личном плане, хотя разговаривать на житейские темы нам приходилось, и одну такую беседу я никогда не забуду. Но, во всяком случае, вполне естественно, что мне никогда не предлагали выступить на заседаниях памяти С. И. Вавилова или принять участие в каких-либо сборниках воспоминаний. Да и у меня не было должных оснований что-либо подобное предлагать. Сейчас, однако, я хочу воспользоваться случаем и сказать, что память о Сергее Ивановиче и для меня это добрая и светлая память. Чтобы не повторять уже многократно сказанное другими, попытаюсь отразить кое-что с некоторой, быть может, несколько неожиданной стороны.

Когда человек хорошо относится к членам своей семьи — родителям, жене, детям — это вполне обычно и не дает оснований считать такого человека мудрым, добрым и т.п. То же можно сказать, когда речь идет о хорошем отношении к друзьям и близким сотрудникам. К счастью, имеется не так уж много людей, которые вообще никою не любят. Но вот человек относится со вниманием и заботой и к тем, кто ему лично совсем не симпатичен или во всяком случае не вызывает особой симпатии. Это уже явление не столь частое. И вот я считаю, что Сергей Иванович принадлежал к числу подобных мудрых и добрых людей. Не буду, конечно, называть имен, но хорошо помню, например, некоего молодого человека, как говорят, «подававшего надежды». Был он довольно плохо воспитан (правда, скорее, это не вина его, а беда, однако дела это не меняет), раздражал своей нервозностью (ее принимали за нахальство) и, наконец, иногда говорил явные глупости. Известно, ум и способности — разные категории. Так вот, я помню выражение лица Сергея Ивановича в ряде случаев: он все видел, несомненно, бывал недоволен, но не реагировал словом или делом и, главное, когда нужно, помогал этому человеку, защищал его. С возрастом больше ценишь такое поведение, уважаешь мудрость и доброту Сергея Ивановича.

Остановлюсь теперь на уже упомянутом разговоре с С. И. Вавиловым на физическую тему. Это было, вероятно, в начале 1941 г. Нынешняя Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука» называлась тогда, кажется, Гостехиздатом и по-

мещалась в Орликовом переулке. Там-то мы случайно встретились с Сергеем Ивановичем. Он знал, что я занимаюсь теорией эффекта Вавилова — Черенкова, и сделал замечание или задал вопрос такого содержания: поскольку происходит излучение, частица теряет какую-то энергию и, следовательно, ускоряется; значит, казалось бы, ускорение должно играть некоторую роль и в процессе черенковского излучения. Не могу сказать, что Сергей Иванович настаивал на роли ускорения, но какие-то сомнения или беспокойство у него были. Насколько помню, я дал правильный ответ, состоящий в том, что ускорение не играет никакой роли. Но мое понимание тогда было формальным — «все получается» в предположении о постоянстве скорости. Однако вопрос Сергея Ивановича остался в памяти, осталась неудовлетворенность ответом. Поэтому я глубже обдумал этот вопрос. С тех пор и в статьях, и в докладах, если это уместно, я останавливаюсь на поставленном Сергеем Ивановичем вопросе.

Разумеется, из расчета ясно, что для определенного круга задач скорость источника можно считать постоянной. Но такая возможность понятна и без вычислений.

Во-первых, и при учете потерь на излучение можно считать скорость постоянной, предполагая, что потери компенсируются внешними источниками. В рамках классической физики, а излучение Вавилова — Черенкова имеет, как известно, место уже (и даже главным образом) в классике, подобную компенсацию осуществить, в принципе, особенно просто. Во-вторых, в обычных средах излучение Вавилова — Черенкова ограничивается ультрафиолетовыми и более длинными волнами. Поэтому для достаточно тяжелых и быстрых частиц роль потерь на излучение ничтожна. Ионизационные же потери можно практически устранить в случае движения заряда в достаточно узком пустом канале или щели. Несколько более формально можно сказать, что излучение Вавилова — Черенкова сохраняется и в пределе бесконечно тяжелого источника, ускорение которого за счет излучения, а в принципе и в результате других потерь исчезающе мало. Все сказанное относится, разумеется, и к переходному излучению с учетом как излучения, так и перенормировки массы излучающего заряда.

О ГРИГОРИИ САМУИЛОВИЧЕ ЛАНДСБЕРГЕ

В последние лет десять—пятнадцать стало почти что правилом появление сборников воспоминаний об ушедших от нас известных людях. При этом в научной среде термин «известный» или «выдающийся» трактуется (тоже почти как правило) бюрократическим образом: раз академик или на худой конец член-корреспондент, значит, «выдающийся» и достойный книги воспоминаний. Хотя на самом же деле титулованность и коррелирует с определенными достоинствами, но эта корреляция не так уж велика. Немало людей не было избрано академиками, хотя по своим научным достижениям и уровню они были не ниже или даже выше многих избранных. Вместе с тем воспоминания о «нетитулованном» человеке издать гораздо труднее, чем в случае академика. Ведь по требованиям Устава АН СССР (пункт 16) «Действительными членами (академиками) Академии наук СССР избираются ученые, обогатившие науку трудами первостепенного научного значения». Научная общественность хорошо знает, что это требование имеет довольно-таки символический характер, а иногда нарушалось даже самым возмутительным образом. Но это другой вопрос. Здесь я хотел лишь отметить, во-первых, что опубликованные у нас в издательстве «Наука» воспоминания появляются в результате селекции. Ну что же, обо всех «известных людях» воспоминаний не издашь: приходится делать какой-то отбор; может быть, он и заключается в освещении биографий членов Академии. Так, Лондонское Королевское общество и Национальная академия наук США публикуют довольно подробные биографии своих умерших членов и иностранных членов. У нас такого порядка нет, и поэтому биографии иногда заменяются сборниками воспоминаний — в общем это даже интереснее. К сожалению (и это мое «во-вторых»), сборники воспоминаний страдают обычно односторонностью — это естественное следствие применения древнего правила: «об ушедших говорить либо хорошо, либо ничего». Другой недостаток ряда сборников воспоминаний — бессодержательность некоторых помещенных в них статей. В чем здесь дело, я понял на примере сборника воспоминаний об одном физике, действительно известном. Не понимая еще, в чем дело, я спросил составителя сборника: почему же Вы поместили статьи, в которых нет ничего, кроме пустословия. Он ответил: «А знаете, как трудно было эти статьи выбить». Все стало ясно, тем более что речь шла, хотя и не всегда, о высокопоставленных авторах. Отсюда я сделал выводы, которым следую и советую следовать другим. Во-первых, составители сборников воспоминаний ничего не должны «выбивать». Редколлегия предлагает потенциальным авторам написать воспоминания, а потом может напомнить о приближающихся сроках сдачи рукописи. И это все: кто захочет, тот напишет; нажим здесь недопустим¹. Во-вторых, для себя лично я твердо решил писать воспоминания, лишь когда хочешь, считаешь долгом, а не потому, что тебя просят. Составители же сборников (хотя иногда это и близкие родственники «объекта» воспоминаний) не должны обижаться на отказ: он обычно вполне доброкачественный — не помнишь

¹Так мы и поступили при составлении книг «Воспоминания о И.Е. Тамме» (М.; Наука, 1981, 1986) и «Воспоминания о Л.Д. Ландау» (М.: Наука, 1988). Как член редколлегий этих сборников я как раз и заботился о соблюдении указанных требований.

ничего интересного или не хочешь умалчивать о чем-то неуместном в «воспоминаниях» того типа, о которых здесь идет речь.

Всем вышеизложенным я разразился совершенно неожиданно для себя самого, когда решил написать заметку для сборника, посвященного 100-летию со дня рождения Г.С. Ландсберга. Просто воспользовался случаем, чтобы сообщить свое давно созревшее мнение об обрушившемся на нас потоке «воспоминаний». Быть может, это мнение некоторым будет небезынтересно. Что же касается Г.С. Ландсберга, то в тот период, когда он скончался (в 1957 г.), сборники воспоминаний еще не «вошли в моду» и такой сборник издан не был. И поэтому 100-летний юбилей является подходящим поводом для издания сборника. Но главное, конечно, то, что Г.С. Ландсберг был человеком, памяти которого действительно уместно посвятить сборник воспоминаний. Во всяком случае, таково мое мнение и я рад, что еще могу принять участие в этом деле. А вот получится ли что-либо достойное внимания, далеко не уверен — прошло ведь много лет.

Быть может, вместе с тем даже лучше писать о Г.С. Ландсберге в 1989 г., а не много лет назад. Так, в 40-е и особенно в 30-е годы, я очень многого не понимал в отношении ситуации в стране, а потому и не мог в полной мере оценить поведение Григория Самойловича (все говорили именно Самойловича, а не Самуиловича; за глаза же часто употреблялось сокращение Григе).

Году в 1936-м, но не позже¹ на физфаке МГУ происходила дискуссия, посвященная природе электромагнитного поля. Большая физическая аудитория физфака МГУ (это было еще старое здание на Моховой) была переполнена, в основном студентами. В их числе был и я, так что пишу не с чужих слов. Конкретно спор шел в основном о возможности распространения электромагнитных волн без «механического перемещения» чего-то в пространстве, т.е. о существовании механического эфира. В более же общем плане речь была о философских вопросах физики. Довольно воинственная и крикливая группа физиков и философов — «механистов», как их называли, — обвиняла во всех грехах (в первую очередь в идеализме) противостоящих им профессоров физфака И.Е. Тамма, Г.С. Ландсберга, Б.М. Гессена и некоторых других отстаивавших современные представления и, в частности, отрицавших обязательное существование эфира, подобного какой-то среде. Помню резкость полемики, злобность некоторых «механистов», не скупившихся на политические намеки и ерничество. Помню и выступление Г.С. — первое запомнившееся мне его выступление и для него типичное. Он говорил спокойно, вежливо (быть может, даже подчеркнуто вежливо) и как-то очень твердо. Именно твердость была, по моему мнению, одной из определяющих черт Григория Самойловича. На рожон он не лез, но не уступал, не терял лица. Это относилось (из того, что я помню) и к заседаниям оргкомитета по подготовке Всесоюзного совещания физиков в 1949 г. Я присутствовал на этих заседаниях в качестве предполагаемой жертвы (меня обвиняли в низкопоклонстве перед Западом, космополитизме и т.п.). Обстановка была тяжелой: совещание, по сути дела, должно было «лысенковать» физику; его намечалось провести в духе произошедшего за год до этого совещания по генетике. Г.С. не всегда посещал заседания, не ввязывался, насколько помню, в острую полемику, но не говорил ничего, во что бы не верил, и, разумеется, не подыгрывал многочисленным «борцам» с идеализмом, космополитизмом и т.д. К счастью, совещание, уже назначенное на 21 марта 1949 г., в последний момент было отменено. Как я слышал, это одна из заслуг И.В. Курчатова, объяснившего «кому надо» (кажется, Берии), что без теории относительности и квантовой механики атомную бомбу не сделаешь (а в это время как раз готовилось испытание первой советской атомной бомбы, осуществленное 29 августа 1949 г.)². Какие это были времена (и 1936 г., и 1949 г.), мы сейчас хорошо знаем

¹ На дискуссии, которую я имею в виду, в то время присутствовал еще Б.М. Гессен, арестованный в августе 1936 г. и вскоре расстрелянный.

² Стенографический отчет заседаний оргкомитета этого несостоявшегося совещания сохранился. К

и понимаем. И.Е. Тамм, как он сам мне говорил, опасался ареста до такой степени, что даже подготовил мешок с вещами. Думаю, что и Г. С. был под угрозой. Не буду здесь вдаваться в подробности, но твердо знаю, например, что обо мне в 1940 г. один из «видных» деятелей физфака МГУ говорил как о прихвостне (агенте?) «контрреволюционных профессоров Ландсберга и Тамма». Был арестован Б.М. Гессен, близкий по физфаку коллега Г.С. Был арестован и оптик Виктор Львович Гинзбург (1908—1967), ученик Г.С. Мне пришлось указать имя и отчество моего однофамильца (кстати сказать, двоюродного брата известного поэта и барда А. Галича), поскольку наши инициалы тоже совпадают. В этой связи хочу заметить вот что. Когда я начал в 1939 г. публиковать статьи, В.Л. Гинзбург N 1 уже был в тюрьме (или в лагере, или в ссылке — его арестовывали несколько раз). А когда он вернулся, то обнаружил ряд статей В.Л. Гинзбурга N 2 (т.е. моих). Думаю, что ему это было неприятно, я как бы занял его место, вытеснил его. Я-то до его выхода на волю знаком с ним не был, да в те времена не знал международных, пусть и неписанных правил, а правила эти заключаются в том, что я должен был публиковать статьи, скажем, как Вл.Л. Гинзбург (или в США фигурировал бы как В.Л. Гинзбург II). До сих пор мне неприятно это дело, и не понимаю, почему Григорий Самойлович не надоумил меня поступить так, как следовало, очевидно, просто не подумал об этом¹.

Но я отвлекся. Что же касается твердости и смелости Григория Самойловича, то, подчеркивая их, я не ошибаюсь, и особенно яркий пример проявления этих черт приведен в статье И.Л. Фабелинского, помещенной в сборнике, посвященном 100-летию со дня рождения Г.С. Ландсберга.

Для Г.С. были характерны также доброжелательность и терпимость (здесь, правда, не берусь обобщать и основываюсь преимущественно на его отношении ко мне самому). Я поступил на физфак МГУ в 1933 г. и никаких предварительных связей или знакомств не имел. Но молодые люди, хотя часто и бывают слепы при оценке сложных социальных явлений, хорошо понимают, какой преподаватель более квалифицирован, правдив и т.д. Так или иначе, я совершенно однозначно выделил Л.И. Мандельштама, его школу и группировавшихся вокруг него людей (И.Е. Тамма, Г.С. Ландсберга, С.Э. Хайкина и других). Поэтому, испугавшись выбрать теоретическую специальность, я «распределился» (кажется, это было в 1936 г.) на оптическую специальность, которой руководил Г.С. Ландсберг. Моим непосредственным руководителем стал СМ. Леви, родившийся в Литве и долго работавший в Германии в лаборатории известного оптика Р. Ладенбурга. Затем в силу своего еврейского происхождения Леви, спасаясь от фашистов, переехал в СССР. Это был образованный и симпатичный человек. В 1937 г. или в начале 1938 г. Леви был уволен из университета, но, к счастью, не был арестован и смог уехать в США. К сожалению, здесь не место подробнее писать о Леви². После его ухода моим руководителем стал сам Г.С., но «по науке» мы с ним общались мало. Было ясно, что моя дипломная работа, посвященная излучению каналовых лучей, не может быть до защиты диплома продвинута

сожалению, речь идет о тысячах страниц; их в ближайшее время вряд ли удастся издать. Однако А.С. Сонин, обнаруживший эти материалы в архиве, довольно подробно осветил их содержание в книге «Физический идеализм» (М.: Наука) и статьях, опубликованных в «Природе» (1990. — N 3. — С. 97; N 4. — С. 91; N 5. — С. 93).

¹Быть может, дело здесь сложнее (как на это обратил внимание один из моих друзей, прочитавших рукопись настоящей заметки). Действительно, если бы я в какой-то форме помешал возможной идентификации с Виктором Львовичем, то в тогдaшнее страшное время это могло бы восприниматься и как стремление «отмежеваться» от репрессированного. Кто знает, возможно, именно поэтому Г.С. и не дал мне совета поступить так, как нужно это делать в нормальных условиях.

²Мне хочется все же рассказать почти анекдотическую историю. В 60-е годы я три раза был в США и пытался разыскать Леви. Мне пытались помочь, Э. Дюкас (бывший секретарь Эйнштейна) и Ч. Таунс, но безуспешно. И вот, когда я в Москве рассказал об этом С.М. Райскому, он сразу же сообщил мне адрес Леви. Мы обменялись с Леви письмами, но я с ним так и не встретился, поскольку после 1969 г. я до 1987 г. не имел возможности поехать в США.

достаточно далеко: задача была слишком сложной, а использовавшаяся аппаратура ей не адекватна. Но считалось, что я способный студент, и кафедра (т.е. Г.С.) решила оставить меня в аспирантуре. На этом пути встретились трудности — вначале меня распределили в другое место, потом призвали в армию, но потом аспирантам физфака дали отсрочку (перед войной это было в последний раз). Однако фактически я аспирантом Г.С. так и не стал, ибо сразу же «изменил» оптике, а тем самым и кафедре — занялся теоретической физикой. Моим руководителем числился Г.С., а на деле стал И.Е. Тамм. Но Григорий Самойлович меня не упрекал, предоставил полную свободу. Ему было важно, что я успешно работаю, а использованное «не так» аспирантское место, видимо, его не беспокоило. Доброжелательно относился ко мне Г.С. и в дальнейшем, и это не тривиально. Дело в том, что я не только «в гимназиях не обучался», но окончил только школу-семилетку, был в целом малокультурен и плохо воспитан. Уверен, что я иногда раздражал Г.С., но он терпел. Более того, корректный и воспитанный, Г.С. действовал на меня как-то завораживающе («как удав на кролика») в том смысле, что в отношениях с ним я вел себя глупее и бестактнее чаще, чем в других случаях. Хорошо запомнил один эпизод. Шестидесятилетие Г.С. (в 1950 г.) было отмечено, хотя я и не помню, как именно. Вскоре (в 1951 г.) исполнялось 50 лет А. А. Андронову, но он заявил, что «не собирается присутствовать на репетиции своих похорон» и в день рождения уедет. И вот, как-то я зашел вместе с Е.Л. Фейнбергом к Г.С. и ляпнул сказанное Андроновым. Это было явно бестактно, звучало каким-то упреком в адрес Г.С., отмечавшего свой юбилей. Кстати, против этого я ничего не имел, никакой особой помпы не было, имеют же люди право поздравлять своего руководителя или коллегу. Г.С., разумеется, заметил, сколь я неудачно высказался, но не только не подал виду, но и в дальнейшем не изменил отношения ко мне в результате этой и других бестактностей.

Доброжелательность и терпимость Г.С. никак не следует понимать как всепрощение или беспринципность. К тем, чье поведение Г.С. считал недостойным, а тем более подлым, он отнюдь не проявлял терпимости, хотя и вел себя корректно и, насколько знаю, не устраивал демонстраций. Но цену, например, громившим мнимых «врагов народа» Г.С. знал хорошо, и, думаю, они это чувствовали (другое дело, что среди «громил» были люди, просто не понимавшие фактического положения дел и поэтому слепо поверившие пропагандистским утверждениям).

Хочу остановиться на одном эпизоде, почему-то хорошо запомнившемся, хотя, быть может, трактую его совершенно неверно. В 1953 г. я был избран членом-корреспондентом АН СССР на «больших» выборах, первых после 1946 г. Вновь избранного принято поздравлять. Разумеется, это формальность: поздравляют и те, кто был против, а если имели возможность, то и голосовали против. В этом, несомненно, есть доля лицемерия, но я лично такое поведение, вообще говоря, не осуждаю. Ведь не поздравить знакомого человека — значит явно продемонстрировать свое отрицательное отношение к нему. При избрании негодяя или невежды поступать так можно и даже нужно, но если считаешь, что были лучшие кандидатуры и т.п., то это еще не повод для демонстрации. Так вот, Г.С. меня не поздравил с избранием, и более того, когда я первый раз увидел его после выборов (произошло это на лестничной клетке в ФИАНе — вот запомнил же!), он буквально изменил свой «курс», чтобы не столкнуться со мной лицом к лицу. В чем же дело? Точно, конечно, не знаю. Нет сомнений в том, что Г.С. не считал меня ни негодяем, ни невеждой. Кстати, он, по всей вероятности, даже участвовал на Ученом совете ФИАНа при выдвижении моей кандидатуры для выборов в члены-корреспонденты и в 1946 г., и в 1953 г. и по крайней мере не возражал. Думаю, что дело было в следующем. На выборах 1953 г. Г.С., тогда уже академик (он был избран в 1946 г.), принимал участие в голосовании. И, видимо, голосовал против моего избрания. Ничего обидного в этом нет, ведь имелось много кандидатов, и Г.С., вероятно, видел более достойных. Но выбрали меня, и Григорию Самойловичу в силу внутренней честности было как-то неловко меня поздравлять: он не

хотел лицемерить даже в такой степени. Так я расцениваю случившееся и, разумеется, не подал виду, что заметил, как Г.С. шарахнулся от меня.

Выше я совершенно не касался научной, научно-технической и педагогической деятельности Григория Самойловича, хотя именно это составляло содержание его общественной жизни. Но в этом отношении я не могу сообщить ничего, кроме общеизвестного (открыл совместно с Л.И. Мандельштамом комбинационное рассеяние света, сделал ряд других ценных работ в области рассеяния света, написал учебник «Оптика» и т.д.). К тому же в других статьях, входящих в посвященный Г.С. сборник, об этом будет сказано немало.

Много лет меня интересует вопрос о связи, соотношении и, так сказать, корреляции между профессиональными и личностными качествами. Человек сложен и, несомненно, гений и злодейство вполне совместимы — таков урок истории и, в частности, истории науки. Конечно, «злодейство» в буквальном смысле в научном мире встречается очень редко. Я даже не знаю каких-либо ярких примеров. А вот другие очень мало привлекательные черты (не буду их и перечислять) имелись даже у самых великих людей. Из подробных биографий, написанных через длительное время после смерти этих людей и основанных не только на приглашенных «воспоминаниях современников», но и на изучении различных материалов, сказанное ясно видно. В качестве примера сошлюсь на современную фундаментальную биографию Ньютона¹.

Несколько лет назад составитель сборника воспоминаний об одном академике предложил мне принять участие в этом сборнике. Я ответил, что если он поместит мою статью под названием «Сукин сын», то я напишу. Ответ, конечно, бестактный: следовало бы просто отказаться. Сборник уже вышел. Я его читать не стал, ибо в лучшем случае там написана полуправда, а вероятно, имеется и немало вранья (мы от этого так устали!). Пишу об этом для того, чтобы подчеркнуть: настоящая моя заметка, пусть она и неинтересна, но неправды в ней нет. Григорий Самойлович Ландсберг действительно был достойным человеком.

¹*R.S. Westfall. Never at rest. A biography of Isaac Newton. — Cambridge: Camb. Univ. Press, 1982. См. также Арнольд В. И. Гюйгенс и Барроу, Ньютон и Гук. — М.: Наука, 1989.*

ПАМЯТИ ЕВГЕНИЯ КОНСТАНТИНОВИЧА ЗАВОЙСКОГО

С возрастом все реже поверхностное, да к тому же многолетнее знакомство перерастает в тесные отношения, когда люди вполне откровенно обсуждают даже весьма деликатные вопросы. Но именно так произошло у нас с Евгением Константиновичем Завойским. Познакомились мы в 1941 или 1942 г., а «по-настоящему» начали разговаривать только через 30 лет, в самые последние годы его жизни.

После инфаркта Евгений Константинович много жил на даче в академическом поселке Ново-Дарьино (Я там тоже стараюсь бывать по субботам и воскресеньям). Вначале я один или с М.А. Марковым наносил Евгению Константиновичу «визиты вежливости», узнавал, как он себя чувствует. А потом, «прощупав» друг друга, мы с Евгением Константиновичем перешли от медицины и академической болтовни к серьезным разговорам о том, что нас волновало. Ходили и ходили по дорожкам поселка, пока Евгений Константинович не уставал и считал, что нужно отдохнуть.

Должен констатировать, что до этого у меня было превратное представление об Евгении Константиновиче. Пусть виной этому была моя собственная непроницательность, но сыграли свою роль сдержанность Евгения Константиновича и неправильная, если выразиться мягко, информация, которая доходила до меня раньше. Это кажется поучительным: долгие годы вроде бы знаешь человека, а фактически ничего не знаешь о нем. Но несколько слов по порядку.

В июле 1941 г. Физический институт Академии наук СССР (ФИАН), где я тогда был докторантом, переехал в числе ряда других академических институтов в Казань и разместился там в здании университета. В том же крыле, этажом ниже находилась лаборатория, в которой работал Евгений Константинович. Но тогда наше настоящее знакомство еще не состоялось. Из того времени у меня осталось воспоминание об одном эпизоде. В Казани в углу чем-то перегородженной комнаты немногочисленные фиановские теоретики продолжали проводить семинар. И вот как-то на одном из заседаний семинара Евгений Константинович сделал доклад о своих работах. Я тогда был очень далек от физики твердого тела и запомнил не столько содержание доклада, сколько его форму: мне показалось, что Евгений Константинович читал доклад по листочку. У нас на семинарах был такой вольный, «трепаческий» стиль, а тут корректный человек вошел, встал за стол и начал читать заранее подготовленный текст. Когда мы лучше познакомились с Евгением Константиновичем, я ему, конечно, об этом рассказал, но он категорически это отрицал: «Я никогда не читал по бумажке!». Не сомневаюсь, что он действительно не читал, а создавшееся у меня впечатление объясняется, по-видимому, тем, что поскольку семинаром руководил И.Е. Тамм — большой авторитет в физике, то Евгений Константинович хорошо подготовился и говорил, как бы читая. Вообще, как я думаю, для Евгения Константиновича было проблемой делать доклады. Он очень тщательно готовился, волновался. Я это

хорошо понимаю: хотя я — легко говорящий человек, но всегда тоже много готовлюсь и волнуюсь.

После Казани мы много лет не встречались. В 1953 г. нас обоих выбрали в члены-корреспонденты Академии наук СССР. Это были «большие» выборы, поскольку предыдущие проводились за семь лет до этого. Мы стали видеться на общих собраниях Академии наук, на научных сессиях Отделения общей физики и астрономии Академии, несколько раз вместе бывали на выездных сессиях в Бресте, Ашхабаде и в других городах.

Помимо всего прочего я убедился, что Евгений Константинович действительно был прекрасным физиком. Он живо интересовался наукой и до самых последних своих дней просматривал всю доступную литературу по физике. Хочу вспомнить один эпизод, который показывает, как верно он реагировал на прочитанное. В 1976 г., на другой день после празднования 200-летия независимости США, один из наиболее известных американских физических журналов опубликовал сенсационное сообщение об открытии трансурановых элементов с порядковыми номерами 116, 126 и т.д. Этому многие вроде бы поверили, а Евгений Константинович — нет, не поверил. Он сказал, что здесь есть вот такие и такие трудности. Экспериментаторы иногда бывают слишком придирчивы и не верят многому, но он оказался совершенно прав — скоро выяснилось, что сообщение это было ошибочным.

Несомненно, открытый Евгением Константиновичем электронный парамагнитный резонанс — это первоклассная вещь. Очень жалко, что «уплыл» ядерный магнитный резонанс. Ясно, что если бы Евгений Константинович работал в лучших условиях, то он сделал бы гораздо больше.

Евгений Константинович был исключительно деликатный и подтянутый человек. Жизнь он прожил невероятно тяжелую, и, хотя написано об этом скупом¹, легко вообразить недосказанное. Такая жизнь приучила его быть «застегнутым на все пуговицы», и он, вероятно, не часто делился своими сокровенными мыслями. Его сдержанность, может быть, порождалась также большой скромностью и в какой-то степени защищала от бесцеремонных вторжений в его внутренний мир. Но она и затрудняла знакомство с ним, а иногда могла создать даже превратное впечатление о нем самом, как это было, например, со мной в самом начале нашего поверхностного знакомства. Но когда мы все-таки подружились и я узнал его лучше, то почувствовал к нему большую симпатию.

В конце 1971 г. Евгений Константинович по ряду причин, как его ни отговаривали, ушел на пенсию (случай крайне редкий среди академиков, особенно его возраста). Но и в дальнейшем он напряженно работал, несмотря на плохое состояние здоровья, особенно после тяжелого инфаркта, случившегося в августе 1972 г. Я уже писал выше, что сблизился с ним после этого, и здесь хочу лишь добавить немного. За несколько месяцев до смерти, происшедшей 9 октября 1976 г. (вскоре после того, как ему 28 сентября исполнилось 69 лет), Евгений Константинович согласился стать главным редактором «Успехов физических наук». При этом речь шла не о том, чтобы числиться, ничего не делая, как это у нас нередко бывает. Напротив, Евгений Константинович активно занимался делами журнала, он его полюбил и добросовестно работал буквально до последних дней жизни. Я это знаю и от заведующей редакцией УФН Л.И. Копейкиной, и как член редколлегии УФН (по последней причине у нас были поводы обсуждать редакционные дела). Хочу отметить, что последняя работа Евгения Константиновича, законченная совсем незадолго до смерти, была посвящена методам поиска высокотемпературных сверхпроводников. Этой проблемой занимался и я, в силу чего мы ее обсуждали. Последняя статья оказалась опубликованной², увы, только когда Евгения Константиновича уже не стало — непосредственно следом за его некрологом.

¹См.: В.К. Завойский. Е.К. Завойский. — Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1980.

²Завойский Е.К. К поиску высокотемпературной сверхпроводимости // УФН. — 1977. — Т. 121. — С. 737.

О МАТВЕЕ САМСОНОВИЧЕ РАБИНОВИЧЕ

Хороший физик и хороший организатор науки... Думаю, что эти качества чаще всего даже антикоррелируют, т.е. в каком-то смысле мешают друг другу. И, во всяком случае, хороших физиков и организаторов одновременно очень мало, и уже поэтому их нужно особенно ценить (таково было, в частности, мнение Л.И. Мандельштама). К этой категории принадлежал, если говорить о лучше всего известном нам примере, И.В. Курчатов. К числу людей подобного типа я, безусловно, отношу и М.С. Рабиновича.

Чтобы избежать голословности, приведу пример, связанный с журналом «Физика плазмы». Предложение организовать этот журнал было многими (и мной в том числе) встречено отрицательно. Разве недостаточно ЖЭТФ, ЖТФ и ряда других журналов, публикующих статьи о плазме? Зачем же еще один журнал? Но М.С. Рабинович сумел опровергнуть все возражения, создав очень хороший и нужный журнал. Я хорошо знаком с журнальным делом и поэтому знаю, что добиться для нового журнала «места под Солнцем», привлечь авторов, обеспечить высокое качество и разнообразие тематики можно только ценой больших усилий, настойчивой работы, продуманной редакционной политики. А ведь редактирование «Физики плазмы» было лишь сравнительно небольшой частью того, чем занимался М.С. Рабинович.

Я пишу «М.С. Рабинович», но всегда в уме «произношу» имя Муся, ибо Матвеем Самсоновичем он был для меня самого только тогда, когда обстоятельства требовали этого (не скажешь же на Ученом совете, что «согласен с мнением Муси»).

При плохой памяти у меня запечатлелись в основном лишь отдельные картинки. До войны, в МГУ, помню веселого Мусю на каком-то комсомольском собрании. В конце войны Муся, работавший где-то на заводе, пришел в ФИАН и советовался со мной о своем будущем (я же был тогда «старшим товарищем», пусть и старшим всего на три года, но в молодости это имело значение). Я уговаривал Мусю подать документы в аспирантуру ФИАН, что он и сделал. А потом еще дольше уговаривал одного из «столпов» ФИАН принять Мусю в аспирантуру. Муся, как известно, вполне «оправдал доверие», что, впрочем, не помешало тому же «столпу», в тяжелые времена просить Мусю даже не звонить ему по телефону. Помню Мусину терпимость в условиях, когда, например, я сам был бы совершенно нетерпимым. Помню, как советовал ему писать статьи, в частности написать статью для УФН. А он отвечал, что ему приятнее, чтобы это делали другие, что он любит не столько видеть напечатанной свою статью или работу, сколько плоды деятельности возглавляемого им коллектива.

Наконец, помню (прямо стоит это все перед глазами), как уже тяжело больной Муся принимал неких иностранцев, как ему помогали идти по двору ФИАН. И последнее. Незадолго до его смерти (я, впрочем, и не подозревал, что это произойдет так скоро, хотя и знал страшный характер сразившей его болезни), я навестил Мусю у него дома. Он лежал и временами задыхался, но оставался бодр, не впадал в панику, сохранил полную ясность мысли. Мы долго вспоминали прошлое, и Муся сказал, что «наговорил» свои воспоминания на магнитофонную ленту (надеюсь, она не пропала). А потом я случайно

упомянул, что мне прописали витамины с микроэлементами, а их даже в академической аптеке нет, а выше я не вхож. Но оказалось, что — вот игра случая — такие витамины привезли Мусе из-за границы, и он попросил жену, чтобы она немедленно достала один тюбик из холодильника, и, как я ни отказывался, заставил меня взять этот тюбик...

ВПЕЧАТЛЕНИЯ СО СТОРОНЫ (О МСТИСЛАВЕ ВСЕВОЛОДОВИЧЕ КЕЛДЫШЕ)

С Мстиславом Всеволодовичем Келдышем я был знаком, можно сказать, лишь поверхностно. Поэтому, естественно, нет у меня оснований писать какие-то воспоминания, да никогда и не собирался этого делать. Так я и ответил, когда меня спросили, не приму ли участия в сборнике памяти М.В. Келдыша. Но, как выяснилось, редакция сборника хотела бы иметь также и небольшие заметки или фрагменты, освещающие отношение к Мстиславу Всеволодовичу людей, в общем далеких от него. В последнем качестве и попытаюсь это сделать.

Услышал я о Мстиславе Всеволодовиче задолго до того, как его увидел. Дело в том, что я был с 1938 г. тесно связан с И.Е. Таммом, а затем начиная с 1945 г. часто беседовал с А.А. Андроновым. Был знаком также (хотя и не близко) с Людмилой Всеволодовной Келдыш, П.С. Новиковым, М.А. Леонтовичем, Н.Н. Парийским. Все они хорошо знали Мстислава Всеволодовича, и поэтому в разговоре нет-нет да и упоминалось его имя. Ничего не помню конкретного, но твердо осталось впечатление (вероятно, от запомнившейся фразы): «Славка — талант». Совсем с другой стороны и в других выражениях, но по существу то же самое я слышал и от моих однокашников » друзей, работавших в ЦАГИ: «Самый яркий и талантливый у нас Келдыш...», «Келдыш у нас на голову выше всех...».

В конце 1953 г. состоялись «большие» выборы в Академию наук СССР — «большие» в том смысле, что они происходили впервые после 1946 г., и выбрано было много академиков и членов-корреспондентов. В числе последних был и я, в связи с чем получил приглашение на обычный после выборов прием. Там впервые, если не ошибаюсь я и увидел, М.В. Келдыша. Этот прием в отличие от аналогичных, на которых случалось побывать впоследствии, носил характер банкета, т.е. мы сидели за столиками и имелся стол президиума. Из-за этого стола и поднялся молодой, но уже седой человек, которого председательствующий (кажется, это был А.Н. Несмеянов) представил в качестве академика-секретаря Отделения физико-математических наук(ОФМН) М.В. Келдыша. Мстислав Всеволодович предложил тост за успехи ОФМН или что-то в этом роде. Он явно собирался руководить значительно расширившимся Отделением. Но фактически, насколько я знаю, ему не пришлось много заниматься делами Отделения, поскольку он не был освобожден от других обязанностей (в этой связи М.В. Келдыш даже официально был академиком-секретарем ОФМН только с 1953 по 1955 г.).

В 1955 г. пришлось нам с М.В. Келдышем быть членами одной экспертной комиссии, и тогда я в первые увидел его «в деле». Но более полное представление об его эффективности и, можно сказать, хватке сложилось в результате участия в заседаниях «рабочей группы» при Совете по космическим исследованиям. Как официально называлась эта группа, я не знаю, не уверен даже в том, что название существовало вообще (а быть может, это был сам Совет?). Во всяком случае, мы называли эту группу или ее заседания, проводившиеся под председательством М.В. Келдыша, предбанником. На «предбаннике» обсуждалось все

связанное с исследованиями на искусственных спутниках Земли (ИСЗ). Речь шла о том, что можно и нужно наблюдать и измерять, как это делать, какую ставить аппаратуру и т.п. Для ясности уместно будет, видимо, сообщить, что еще в 1956 г. меня, как и, вероятно, многих других, попросили внести предложения о возможных физических исследованиях на ИСЗ. В ответ я подготовил ряд таких предложений, касавшихся в первую очередь изучения космических лучей и проверки общей теории относительности (две статьи на эти темы — одна из них с соавторами — были опубликованы в сентябрьском выпуске «Успехов физических наук» за 1957 г., т.е. буквально накануне запуска первого ИСЗ, состоявшегося 4 октября 1957 г.). В связи с этой деятельностью я и оказался участником «предбанника», если можно так выразиться. Заседания происходили в Институте прикладной математики (на Миусской площади) в кабинете М.В. Келдыша. Место это, кстати сказать, было мне хорошо знакомо, ибо раньше в этом здании помещался Физический институт им. П.Н. Лебедева, в котором я работаю с 1940 г., а бывал и ранее. Кабинет нашего директора С.И. Вавилова одно время (в частности, до войны) был примерно там же, где находился до последнего времени и кабинет М.В.Келдыша (однако это не буквально тот же самый кабинет, так как произошла какая-то перестройка).

Я отнюдь не собираюсь подробнее останавливаться здесь на работе «предбанника». Он упомянут здесь потому, что на этих заседаниях я в основном и видел Мстислава Всеволодовича. Сильное впечатление на меня производили (и, пожалуй, даже поразили) два обстоятельства. Во-первых, это быстрота понимания и компетентность руководства в условиях, когда дело отнюдь не касалось математики или механики, что было специальностью М.В. Келдыша в собственном смысле понятия «специальность» (думаю, что, когда речь идет о научном работнике, специалистом в какой-то области можно считать автора работ в этой области). На «предбаннике» же вопросы баллистики, ракетной техники и т.п. совсем не обсуждались (разве что затрагивались косвенно), а речь шла о физике, геофизике, распространении радиоволн и т.д. Во-вторых, меня поразила выдержка М.В. Келдыша, умение владеть собой. Особенно запомнился такой случай. Один из присутствующих то ли забылся, то ли еще по какой-то причине начал почти что кричать, что он чего-то «не позволит» и «не допустит». Я ждал взрыва, но его не последовало: лицо Мстислава Всеволодовича осталось бесстрастным, голос не повысился. Он просто сказал примерно следующее: «Мы будем делать так-то и так-то, а если вам не нравится, пожалуйста, дверь открыта» — и рукой указал на дверь в кабинете. И заседание продолжалось как ни в чем не бывало (кстати сказать, «укрошение» оказалось вполне эффективным: грозивший «не позволить» остался на месте и не произнес больше ни слова).

После того как в 1961 г. Мстислав Всеволодович стал Президентом АН СССР, я довольно часто его видел и слышал не только на упомянутых заседаниях, но и в Академии. Те впечатления, которые я пытался охарактеризовать выше, только закрепились. К ним добавилось понимание, сколь фантастически работоспособен и предан делу был М.В. Келдыш. К сожалению, многолетняя напряженная работа (как я слышал, даже без отпусков) рано подорвала здоровье М.В. Келдыша, и он очень изменился. Запомнилось, как году В 1973-м или около того я вместе с двумя коллегами был у М.В. в его кабинете в Президиуме; мы говорили о реорганизации ФИАНа. Лицо М.В. было неподвижным; это была чуть ли не маска. Он был углублен в себя, слушал — и как бы не слышал, отвечал кратко, произвел впечатление тяжело больного человека. Так, видимо, и было на самом деле, и именно по этой причине, насколько знаю, М.В. Келдыш настоял в 1975 г. на освобождении от должности Президента. Сколько же за 14 лет пребывания на этом тяжелом посту он затратил труда! Здесь было бы совершенно неуместно (да я и не смог бы этого сделать) давать оценку деятельности М.В. Келдыша на посту Президента и вообще в Академии наук СССР. В свете проходящего в настоящее время (в 1985 г.) обсуждения роли Академии наук СССР в деле ускорения научно-технического прогресса мне хочется, однако, полностью солидаризироваться с замечаниями на этот счет, высказанными М.В. Келды-

шем еще в 1976 г. в «Вестнике АН СССР» (N 9, с. 41; см. также мою статью там же, 1986, N 4, с. 39).

Так каковы же мои впечатления? Мстислав Всеволодович Келдыш обладал ярким талантом, большой выдержкой и огромной работоспособностью, был предан делу. С этим, вероятно, все согласятся. Отнюдь не из стремления к оригинальности позволю себе заметить также, что мне, со стороны, Мстислав Всеволодович казался не очень-то счастливым человеком и, даже более того, в какой-то мере трагической фигурой. Быть может, такое впечатление обусловлено тем, что, хотя я и видел иногда Мстислава Всеволодовича смеющимся и веселым, гораздо чаще он бывал мрачным и, как мне казалось, грустным. Кроме того, можно думать, что ему очень часто приходилось заниматься не тем, чем хотелось, а тем, что было нужно, чего требовали его обязанности или сложившиеся обстоятельства. Конечно, человеку делает честь, если он жертвует любимым делом, своими интересами (например, в математике) ради выполнения долга, каким он его понимает. Но ведь самому-то этому человеку все равно тяжело. Вполне возможно, что я ошибаюсь. Однако таково мое впечатление, а впечатления в отличие от теорем и утверждений не требуют доказательств.

ОБ АЛЬБЕРТЕ ЭЙНШТЕЙНЕ

Среди всех тех физиков, которым посвящена эта часть (ч. III) настоящей книги, я не был лично знаком лишь с Альбертом Эйнштейном. Таким образом, о каких-либо воспоминаниях не может быть и речи. Тем не менее я решился поместить здесь небольшую заметку, которая была опубликована в «Литературной газете» от 14 марта 1979 г. — в 100-летнюю годовщину со дня рождения Эйнштейна.

Эта заметка явилась ответом на три вопроса, которые были поставлены редакцией перед рядом физиков:

1. Что вам кажется наиболее ценным в характере научной деятельности Эйнштейна?

2. Какая черта в его человеческом и гражданском облике вам более всего импонирует? В каком эпизоде его жизни она проявилась наиболее ярко?

3. Как известно, дарование всякого ученого раскрывается наиболее полно, если он рождается как раз в ту эпоху, для которой он «предназначен». Повезло ли в этом отношении Эйнштейну?

Вместо ответа на каждый из этих вопросов в отдельности я написал следующее.

Ответить на довольно простые, казалось бы, вопросы редакции оказалось весьма нелегко. Возникающее здесь затруднение, видимо, того же типа, что имело бы место при попытке в кратких ответах всего на три аналогичных вопроса охарактеризовать жизнь и деятельность Льва Толстого.

Альберт Эйнштейн был личностью совершенно исключительной, великим среди великих. Для меня лично, более того, он вообще занимает, безусловно, первое место в истории науки и даже всей человеческой культуры. Здесь, конечно, существенно то, что как физик я могу оценить главные заслуги Эйнштейна — его вклад в физику и, собственно, во все естествознание. Довольно естественным было бы поэтому, если для биолога аналогичное место занимал бы кто-то другой, например Чарльз Дарвин.

Создание общей теории относительности, решающая роль в построении специальной теории относительности, замечательные работы в области квантовой теории и статистической физики — все это сделал Эйнштейн, и без этого современная физика немислима. Когда речь идет о людях такого масштаба, время рождения представляется не столь важным. В любую эпоху перед физикой стояли и сегодня стоят великие и жгучие проблемы. Для талантов может оказаться весьма существенным, если они созревают и «оказываются на месте» в подходящий момент, но гений сам прокладывает совсем новые пути, хотя и опирается на своих предшественников.

Необычайная известность Эйнштейна в широких кругах помимо его решающих научных заслуг обусловлена также неизменно прогрессивной общественной позицией и ярким публицистическим талантом. У тех же, кто достаточно хорошо знаком с биографией и эпистолярным наследием Эйнштейна, вызывают глубокое уважение и восхищение его человеческие черты. В 1905 г., когда одна за другой из-под пера Эйнштейна вышли знаменитые работы по специальной теории относительности, теории квантов и теории броуновского движения, он зарабатывал себе на жизнь, работая техническим экспертом в патентном бюро в Берне, причем долгие семь лет трудился там, насколько мне известно, по восемь часов все шесть дней в неделю. Известен ли другой подобный пример в истории науки?

Из публицистических статей и особенно из писем Эйнштейна со всей ясностью видно, насколько хорошо он понимал реальную жизнь (и, в частности, политическую действительность), как интересовался и знал историю науки и каким был простым, отзывчивым и добрым человеком. Все сказанное отнюдь не означает, что Эйнштейну не случалось, как и всем людям, ошибаться. Да, он бывал не прав и в науке, и при оценке жизненных явлений. Но мало кто в его положении оставался столь самокритичным. Например, уже на склоне дней, как никто знаменитый, он писал своему другу: «Вы думаете, что я с чувством полного удовлетворения смотрю на дело всей своей жизни. Вблизи же все выглядит иначе. Нет ни одного понятия, относительно которого я был бы уверен, что оно остается незыблемым. Я даже не уверен, что нахожусь на правильном пути вообще».

Однако мы знаем сегодня — это доказала жизнь, доказало развитие науки, что большую часть своей замечательной жизни Альберт Эйнштейн находился на правильном пути.

Существует огромная литература, посвященная Эйнштейну и в особенности его трудам. Особенно много книг, сборников и статей вышло в связи со 100-летием со дня рождения Эйнштейна. Некоторая (вероятно, значительная) часть соответствующей литературы, появившейся на русском и других языках, указана в конце «Эйнштейновского сборника 1978, 1979» (М.: Наука, 1983). Среди юбилейных публикаций появилась также и моя книга «О теории относительности: сборник статей» (М.: Наука, 1979). Одна из статей этого сборника («Как и кто создал теорию относительности?») помещена и в настоящей книге. Кроме того, об Эйнштейне и его работах упоминается и в некоторых других материалах, включенных в книгу.

ПАМЯТИ НИЛЬСА БОРА

Выступление на вечере, посвященном памяти Нильса Бора, в Политехническом музее (12 декабря 1962 г.).

В течение нескольких десятилетий Копенгаген был Меккой для физиков всего мира. Очень многие из них в разное время работали вместе с Нильсом Бором или рядом с ним. Несомненно, что они могут рассказать и еще расскажут немало интересного о научных взглядах Бора, об его оценках самых различных открытий и событий и, наконец, о нем как о человеке. К сожалению, я не принадлежу к числу людей, сколько-нибудь долго общавшихся с Бором, и сегодня это очевидным образом ограничивает мои возможности. Тем не менее позволю себе начать с личных впечатлений.

Весной 1961 г. Бор, как известно, был в Москве. Не говоря уже о возможности присутствовать на некоторых его публичных выступлениях, нам в Физическом институте Академии наук СССР посчастливилось довольно долго и в спокойной обстановке беседовать с Бором. И вот даже это, по существу, мимолетное общение оставило очень сильное впечатление. Речь идет при этом не об обаянии имени, а об обаянии личности. Ведь самые большие научные достижения вовсе не связаны автоматически с целым рядом черт, которые мы суммарно выражаем, говоря о замечательной человеческой личности. А Нильс Бор на 76-м году жизни предстал перед нами именно как такой замечательный человек, одновременно и очень принципиальный и добрый, и какой-то неповторимо деликатный и мудрый. Можно было бы попытаться как-то подкрепить и оправдать такие эпитеты, но это очень трудно сделать, и я боюсь только смазать картину. Поэтому ограничусь тем, что вспомню пословицу: «Лицо человека — зеркало его души», которая так хорошо применима к Нильсу Бору. В самом деле, фотографии, сделанные в мае 1961 г. Л.В. Суховым, очень впечатляющи даже без всяких комментариев¹.

Теперь я хотел бы сделать несколько замечаний, связанных с работами Бора.

Всем известно, что эти работы концентрируются вокруг трех проблем — строения атома, нерелятивистской квантовой механики и теории атомного ядра. Но если не познакомиться более детально с историей развития всех этих направлений, может остаться в тени одна характерная черта. Речь идет о том большом внутреннем единстве и неразрывных связях, которые существовали между различными работами Бора на протяжении целых десятилетий. Легче всего в этом убедиться, если обратиться к последней из известных нам статей Бора — его лекции памяти Резерфорда, текст которой был завершен и опубликован в 1961 г.². Эта статья, несомненно, привлечет к себе внимание: она принадлежит к числу интереснейших свидетельств, оставленных нам одним из основателей современной физики.

Бор познакомился с Резерфордом в конце 1911 г. и через несколько месяцев после этого начал работать в Манчестере в составе возглавлявшейся Резерфордом группы. Эта группа была занята изучением атомного ядра и следствий, вытекающих из самого факта его существования. Первый вопрос, которым Бор занялся в Манчестере, был вопрос об

¹См. УФН. — 1963. — Т. 80. — С. 207.

²*Bohr N.* // *Proc. Phys. Soc.* — 1961. — V. 78. — P. 1083. (Перевод: УФН. — 1963. — Т. 80. — С. 215); *Нильс Бор. Избранные труды.* — М.: Наука, 1970—1971.

атомном номере. Именно Бором или, во всяком случае, при его непосредственном участии была высказана и развита идея о том, что «вся совокупность физических и химических свойств каждого элемента может определяться одним целым числом (теперь всем известно, что это число является атомным номером), выражающим заряд в виде целого кратного элементарного электрического заряда». Далее, Бор высказал мысль, что все изотопы данного элемента обладают одним и тем же атомным номером, т.е. заряд их ядер одинаков. Отсюда непосредственно вытекало, что «при радиоактивном распаде элемента совершенно независимо от каких-либо изменений его атомной массы происходит его смещение в таблице Менделеева на два номера влево или на один номер вправо в соответствии с уменьшением или увеличением заряда ядра, сопровождающим испускание α - или β -лучей соответственно¹. Бор отмечает, что, когда несколькими месяцами позже этот закон радиоактивного смещения был провозглашен Содди в Глазго и Фаянсом в Карлсруэ, оба эти автора не обратили внимания на его тесную связь с фундаментальными чертами модели атома Резерфорда. Более того, Фаянс рассматривал изменения химических свойств при радиоактивном распаде, явно связанные с электронной оболочкой атомов, как возражение против модели, в которой α - и β -лучи вылетают из ядра.

Итак, до последнего времени оставалось неизвестным или, во всяком случае, недостаточно известным², что именно Нильс Бор со всей определенностью ввел понятие об атомном номере, осознал, что такое изотопы, а также высказал и полностью осмыслил закон радиоактивного смещения.

Примерно в это же время (весной 1912 г.) Бор пришел к убеждению, что движение электронов в атоме Резерфорда можно понять лишь при учете квантования. Но тогда Бор, видимо, не сосредоточил свое внимание на этой проблеме и, например, занимался также развитием теории ионизационных потерь. Перейдя осенью 1912 г., уже в Копенгагене, к конкретным попыткам применить квантовые понятия к планетарной модели атома, Бор не сразу добился успеха. Как пишет Бор, только ранней весной 1913 г. его осенила мысль, что подход к проблеме стабильности атома нужно искать на пути объяснения простых законов, которым подчиняются спектры элементов. Хорошо известно, что именно на этом пути Бор и добился замечательных успехов — построил модель, которую называют моделью атома Бора или Резерфорда — Бора.

Быть может, здесь не будет лишним также подчеркнуть, что Бор на первом же этапе не только объяснил спектр водорода, получив формулу $R = 2\pi^2 me^4/h^3$ для постоянной Ридберга, но и объяснил спектр ионизованного гелия. Точнее, — и это имело большое значение — Бор связал с ионизованным гелием загадочный спектр, наблюдавшийся и в лаборатории, и в спектре звезд. Природа этого спектра была совершенно неясна: он был похож на водородный, но явно от него отличался; достаточно сказать, что в формуле Ридберга для описания спектра ионизованного гелия квантовое число n (энергия терма $E_n = -hR/n^2$) нужно считать не только целым, но и полуцелым. Все становится ясным, если обобщить формулы Бора для водородного спектра на случай ядра с зарядом eZ . Тогда $E_n = -hZ^2R/n^2$ и гелию с $Z = 2$ как бы отвечает водородный спектр с квантовым числом $n^* = n/Z = n/2$. Но на этом история с объяснением спектра гелия не кончилась, а события приняли оборот, который сам Бор называет драматическим. С одной стороны, специально поставленные опыты подтвердили гипотезу Бора: при разряде в чистом гелии был получен тот же таинственный спектр, который наблюдался в спектрах звезд или при разряде в смесях, содержащих водород. Однако, с другой стороны, оказалось, что частоты в спектре ионизованного гелия хотя и близки, но все же заметно отличаются от вычисленных по формуле Бора с $Z = 2$.

¹ Bohr N. // Proc. Phys. Soc. — 1961. — V. 78. — P. 1083.

² Например, в классической книге Ф.В. Астона «Масс-спектры и изотопы» (М.: ИЛ, 1948) открытие закона радиоактивного смещения связывается с именами Содди, Фаянса, Рассела и Флека, но о роли Бора ничего не говорится.

Это противоречие устранил сам Бор, показав, что все наблюдения сходятся с теорией, если учесть движение ядра, т.е. заменить в полученной им формуле для R массу электрона на приведенную массу $m^* = mM/(m + M)$, где M — масса ядра.

Всякий, кто был свидетелем или, тем более, сам пережил нечто подобное, легко представит себе, какое сильное впечатление должно было произвести на Бора и весь физический мир такое блестящее подтверждение теории. Это было особенно важно в связи с тем, что речь шла не о завершенной теории, а лишь о первых успешных шагах на пути понимания законов квантовой физики. Здесь нет возможности останавливаться на других этапах этого замечательного пути. Но уже сказанное иллюстрирует тот момент, который хотелось подчеркнуть: вряд ли можно как-то резко отделить работы Бора, посвященные ядру, от его же исследований электронной оболочки. Речь идет скорее об очень целеустремленном штурме планетарного атома Резерфорда — Бора. Этот штурм был начат с ядра (атомный номер, закон радиоактивного смещения) и затем надолго перешел на электроны оболочки. Чтобы до конца разобраться в строении оболочки и атомных спектрах, потребовалось построить последовательную динамику микромира — нерелятивистскую квантовую механику. После того как построение и понимание квантовой механики было в основном завершено, атомное ядро опять вышло на авансцену. Это можно сказать и о физике вообще, и об исследованиях самого Бора. Как мне кажется, именно давняя связь Бора с ядерной физикой объясняет тот факт, что в 30-е и 40-е годы он сконцентрировал свое внимание на физике ядра, как таковой, а не на проблемах физики элементарных частиц и релятивистской квантовой теории, которые в этот же период привлекали, пожалуй, еще большее внимание теоретиков.

Теперь перейду к другому вопросу — взглядам Бора на квантовую механику или, если угодно, на интерпретацию квантовой механики. Трудно найти проблему, которая в физике нашего века дискутировалась бы шире и с большей страстностью, чем эта. В 40-е годы казалось, что буря уже улеглась, и по крайней мере представители нового поколения физиков единодушно принимают интерпретацию, которую иногда называют «копенгагенской», а лучше именовать вероятностной или «обычной». Но вот в 1952 г. Д. Бом снова попытался возродить сомнения и в правильности, и в единственности вероятностной интерпретации. Более того, Бом предложил «новую интерпретацию» квантовой механики, хотя фактически в значительной мере лишь возродил и развил попытки, предпринятые в том же направлении де Бройлем еще в 1927 г. За этим последовал целый поток статей, Проникнутых стремлением как-то реконструировать нерелятивистскую квантовую механику или уж по крайней мере ее реинтерпретировать. Сейчас эта «реинтерпретационная волна» спала, но вряд ли исключена возможность новых рецидивов такого рода¹.

Независимо от этого, конечно, значительно более важен тот факт, что интерпретация квантовой механики — понимание ее общезначимого и гносеологического содержания — принадлежит к числу самых значительных научных проблем нашей эпохи и навсегда сохранит не только исторический, но и более общий интерес. Поэтому можно надеяться, что не покажется излишним рассказать здесь о той части разговора с Бором, в котором я участвовал и которая касалась интерпретации квантовой механики и эволюции воззрений самого Бора в этом отношении.

Бор сказал, что не существует никакой «копенгагенской интерпретации» квантовой механики, а сама квантовая механика есть интерпретация наблюдений. Ни о какой дру-

¹После работ Н. Бора, посвященных пониманию (интерпретации) квантовой механики, прошли многие десятилетия. Тем не менее в последние годы попыткам реинтерпретировать квантовую механику и проверке различных предложенных в этой связи опытов уделяется немалое внимание. Более того, обсуждаются границы применимости квантовой теории в известной ее форме и возможности обобщения теории. Правда, новые подходы обычно не имеют ничего общего с упомянутой в тексте «новой интерпретацией» Д. Бома. Вместе с тем в настоящее время я, вероятно, осветил бы вопрос о содержании квантовой механики несколько иначе, чем в 1962 г. (*Примеч. автора к настоящему изданию*).

гой интерпретации квантовой механики кроме вероятностной с этой точки зрения не может быть и речи. По словам Бора, критика вероятностной интерпретации в 50-е годы не содержала никаких новых аргументов по сравнению с обсуждавшимися много лет назад. Квантовая механика, как и в свое время теория относительности, положила начало новому этапу в развитии физики, и возвращение назад невозможно. Я задал также вопрос о том, изменились ли за последние годы взгляды Бора по вопросу об интерпретации квантовой механики или о ее характере. На это Бор ответил с какой-то подчеркнутой определенностью и четкостью, что его позиция совершенно не изменилась.

Конечно, сделанные во время беседы замечания не могут служить базой для того, чтобы делать какие-либо выводы. Но то, что сказал нам Бор, ясно следует и из лекции, прочитанной им в то же время в ФИАНе, и из его статей. Последние собраны в вышедшем на русском языке сборнике¹. В предисловии к сборнику Бор говорит о том, что с течением времени его аргументация «постепенно становится яснее, особенно в отношении более четкой терминологии». Это несомненно так и особенно очевидно из статьи «Квантовая физика и философия», опубликованной в 1958 г.². Здесь позиция Бора сформулирована с предельной ясностью и с той заботой о точности терминологии, которая необходима во избежание каких-либо неясностей или недоразумений, особенно частых, когда речь идет о самых тонких вопросах физики и философии.

Однако если говорить о существе дела, самом понимании квантовой механики и о введенном Бором понятии дополнительности, то я не могу усмотреть какого-либо изменения позиции Бора по сравнению с той, какую он занимал в 30-х и 40-х годах. Кстати, любопытно отметить, что отношение Бора к биологическим вопросам, видимо, наоборот, претерпело значительную эволюцию. Например, в статьях «Свет и жизнь» (1932 г.) и «Биология и атомная физика» (1937 г.) Бор склонен считать «существование самой жизни в отношении как ее определения, так и наблюдения основным постулатом биологии, не поддающимся дальнейшему анализу, подобно тому как существование кванта действия вместе с конечной делимостью материи образует элементарную основу атомной физики». В 1960 г. в статье «Квантовая физика и биология» Бор уже не только не делает подобных замечаний, но и подчеркивает, что «у нас нет причины ожидать какого-либо внутреннего ограничения для применимости элементарных физических и химических понятий к анализу биологических явлений. Тем не менее своеобразные свойства живых организмов, выработанные в результате всей истории органической эволюции, обнаруживают скрытые возможности чрезвычайно сложных материальных систем, не имеющих себе подобных в сравнительно простых проблемах, с которыми мы встречаемся в физике и химии. На этом-то фоне и нашли себе плодотворное применение в биологии понятия, относящиеся к поведению организма как целого и как бы противостоящие способу описания свойств неодушевленной материи». Если привести более подробные выдержки из этих статей³, то тезис об изменении позиции Бора в биологии стал бы еще более ясен. Должен добавить, что о том же самом летом 1962 г. я слышал от Л. Розенфельда — близкого сотрудника Бора.

Надеюсь, что мы подробнее узнаем об этом в будущем, сейчас же я только хотел подчеркнуть, что Бор до последних лет жизни мог изменять свои мнения под влиянием новых фактов. В биологии такие факты появились (я имею в виду блестящие успехи молекулярной биологии), в физике же, если говорить об области, относящейся к нерелятивистской квантовой теории, таких новых фактов принципиального значения не появилось. Поэтому вполне естественно, что Бору и не пришлось изменять своих взглядов на квантовую механику. Ведь эта механика, как он подчеркивал, есть интерпретация фактов. (Кстати,

¹ Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. — М.: ИЛ, 1961.

² Помимо цит. сборника эта статья помещена также в УФН. — 1959. — Т. 67. — С. 37.

³ См. также одну из последних статей Н. Бора — «О единстве физических знаний» (УФН. — 1962. — Т. 76. — С. 21).

в разговоре с нами Бор пожалел людей, которые не учатся на примере своих ошибок при анализе фактов.)

Хотя мне лично этот вопрос кажется кристально ясным, однако в литературе встречаются аргументы, которые заставляют во избежание недоразумений сделать здесь еще одно замечание.

Именно в некоторых статьях, посвященных «новой интерпретации» квантовой механики, подчеркивается, что ни одна физическая теория не является вполне полной и законченной; это относится и к квантовой механике, а значит, эту последнюю нужно улучшать. Но как же это сделать? Очевидно, единственное, чего «недостает» квантовой механике, это возможности дать ответы на вопросы такого типа: куда именно попадет данный электрон в дифракционном опыте или когда распадется данное радиоактивное ядро? Сторонники «новой интерпретации» считают вероятностный ответ, который дает на эти вопросы квантовая механика, неполным или даже неудовлетворительным. В соответствии с этим основная цель попыток дать «новую интерпретацию» сводится, по сути дела, к возвращению к идеалам механического (лапласовского) детерминизма и, конкретно, проникнута стремлением либо предсказать, «куда попадет электрон», либо как-то объяснить, почему такое предсказание, в принципе возможное с этой точки зрения, нельзя сделать на известном нам уровне физики.

Здесь не место более подробно останавливаться и критиковать «новую интерпретацию». В этом сейчас уже, по-видимому, и нет особой нужды. Я хотел только остановиться на тезисе о том, что квантовая механика якобы из общих соображений должна быть незамкнутой (неполной), а поэтому нужно как-то ее развивать в направлении получения ответа на вопрос, «куда попадет данный электрон», и ему подобные. Вот этот-то тезис представляется совершенно не выдерживающим критики и порочным в самой своей основе. Речь ведь идет о нерелятивистской квантовой механике, о явлениях, находящихся в области ее применимости, а не о каких-то новых небольших эффектах или переходе в релятивистскую область. В таком ограниченном смысле всякая правильная физическая теория может и в известном отношении всегда должна быть (и фактически является) замкнутой, законченной. Классическая механика Ньютона является именно такой теорией в применении к медленным движениям, например в применении к вычислению движения планет. Ньютоновская механика достаточно хорошо проверена на опыте, и никто не сомневается в ее правильности (в неквантовой области) с той точностью, которая может быть указана на основе более общей теории — теории относительности (релятивистские поправки к классической механике определяются параметром v^2/c^2 , который в пределах Солнечной системы не превосходит значения $2 \cdot 10^{-6}$).

Точно так же приближенный характер нерелятивистской квантовой механики (это обстоятельство давно и хорошо известно) не имеет никакого отношения к вопросу о полноте этой теории в области ее применимости, к вопросу о возможности ликвидировать вероятностный характер квантовой механики. Таким образом, общеизвестная ограниченность области применимости нерелятивистской квантовой механики ни в какой мере не может служить аргументом в пользу необходимости дать ей какую-то «новую интерпретацию». Остается, быть может, только еще раз напомнить, что вероятностная (обычная) интерпретация квантовой механики является глубоким следствием неклассической природы микрообъектов. Квантовая частица не является маленьким шариком, движущимся по некоторой траектории. Поэтому и не приходится удивляться тому, что нельзя указать, «куда попадает данный электрон» в дифракционном опыте. Мы все уверены в том, что здесь и в будущем не откроется никаких новых возможностей. Нечего и говорить о том, что возможность сделать предсказание, «куда попадет электрон», т.е. возврат к классическому детерминизму, отнюдь не вытекает ни из принципа причинности, ни из каких-либо других общих физических или философских положений. Огромной исторической заслугой

Борг, как хорошо известно, и является решающее участие в разъяснении этих глубоких моментов.

В связи с тем что вопрос о причинности в квантовой механике в нашей литературе в какой-то мере продолжает дискутироваться, хочется подчеркнуть следующее. Нет никаких оснований утверждать, что квантовая механика противоречит принципу причинности. Основная величина, характеризующая состояние микрообъекта в квантовой механике — функция Ψ , — подчиняется уравнению Шредингера, носящему динамический характер. Нельзя сказать, что квантовая механика находится в формальном противоречии даже с механическим детерминизмом. В самом деле, в механике по известным начальным импульсу и координате можно найти эти величины в любой последующий момент времени. Детерминизм был бы нарушен, если бы при известных начальных импульсе и координате получались в разных опытах разные их значения в какой-то последующий момент времени. Если же вначале известен только импульс, а в конце определяется координата, то получение разных результатов, очевидно, классическому детерминизму не противоречит. Но в квантовой механике как раз и невозможно в силу квантовой природы объектов существование состояний с одновременно заданными импульсом и координатой. Поэтому, например, в опыте с дифракцией электронов, когда вначале (до дифракционной решетки) задан только импульс, координата — место попадания электрона на экран (фотопластинку) — не является однозначно определенной. Отсюда ясно, что вероятностная интерпретация (появление статистики) должна рассматриваться именно как следствие не классической природы объекта.

Таким образом, требование изгнать в конечном счете вероятность из квантовой механики и, например, в дифракционном опыте указать, «куда попадет каждый электрон», не только не вытекает из принципа причинности, но, по существу, связано с попытками считать микрочастицы в конце концов классическими частицами, обладающими определенными импульсом и координатой.

Когда речь идет о Нильсе Боре, можно сказать, что уравнения отступают на второй план, а физические обсуждения и споры переносятся в область более общих идей или оценок. Поэтому и мне хочется закончить свое выступление замечанием общего и, вероятно, спорного характера.

Мне кажется, что неразрывно связанный с именем Нильса Бора этап в развитии физики (атом, ядро, нерелятивистская квантовая механика) не только является блестящим, но и в известном смысле может считаться абсолютной вершиной этого развития на обозримом участке времени. Поскольку встречаются люди, которые всякое указание на существование каких-то ограничений или пределов (будь то предельная скорость распространения сигналов или пределы корпускулярного описания) склонны считать ошибочным или сомнительным, должен сразу же заметить, что в данном случае не имеется в виду устанавливать какие-то пределы: я отнюдь не считаю ограниченным развитие физики в целом. Речь идет о другом — об изменении характера этого развития. В самом деле, развитие физики, по крайней мере с конца XIX в. и до середины нашего столетия, можно уподобить быстро движущемуся кораблю с очень острым «носом». На этом «носу» стояли такие люди, как Планк, Лоренц, Эйнштейн, Резерфорд и Бор. Физический корабль разрезал волны неведомого океана. Основную область его носовой части, если можно так выразиться, составляло исследование строения вещества. Подтверждение атомной гипотезы, атомизм электрического заряда, строение атома, ядро — вот что было в центре внимания. Нерелятивистская квантовая механика относится сюда же, ибо это есть теория явлений в ядрах, атомах и их совокупностях. Все эти вопросы имеют определяющее значение для развития большинства физических направлений. Поэтому движение физики в целом в значительной мере определялось тем, что делается на переднем крае, и одновременно (именно по последней причине) «нос» физического корабля был таким острым. Другими словами, работу в этой области подгонял и стимулировал не только, высокопарно выражаясь, интерес к тайнам природы, но и огромное общечеловеческое значение всех изучаемых проблем. Ведь всем или во всяком случае очень многим уже в первой четверти нашего века было ясно, что

успешное исследование атомов и ядер открывает широчайшие перспективы для развития многих направлений физики, техники, химии, биологии.

Но это великое дело сделано; сейчас принципиальная сторона вопроса, когда речь идет о строении атомов, а в значительной мере и ядер, уже известна. Фронт физики на главном направлении ушел вперед. Он находится в области физики элементарных частиц, среди мезонов и гиперонов, нейтрино и эфемерных «частиц-резонансов». Совершенно бесспорно, что по своему научному интересу, не говоря уже о сложности и глубине, еще не решенные экспериментальные и теоретические задачи физики элементарных частиц ничуть не уступают задачам, стоявшим перед Бором и его современниками. Не может и не должно быть и речи о том, чтобы недооценивать важность и ценность соответствующих исследований.

Нельзя сомневаться и в том, что в области физики элементарных частиц, как и в ряде других научных направлений, в будущем будут сделаны интереснейшие открытия. Но вместе с тем я уверен, что общечеловеческое значение этой области уже совершенно другое по сравнению с имевшим место в отношении физики атома и ядра. Это связано просто с тем, что новые частицы образуются только при очень высоких энергиях и живут ничтожные доли секунды. Так, время жизни «частиц-резонансов» составляет только 10^{-21} или 10^{-22} с. Нейтрино же хотя и стабильны, но почти неуловимы — они свободно проходят через весь земной шар, взаимодействуя при этом с веществом лишь в ничтожном проценте случаев. Важность изучения того или иного объекта, той или иной частицы с точки зрения запросов теории не может, конечно, быть измерена ни временем жизни, ни проникающей способностью. Но столь же очевидно, что даже частицы, живущие 10^{-6} с (мюоны), не говоря уже о существующих еще гораздо меньшее время, не могут играть в жизни человеческого общества такой же роли, как атомы, электроны и ядра, из которых состоит все вещество. Иными словами, нос физического корабля прошел теплые моря и вступил в районы, для жизни плохо приспособленные. Конечно, это в огромной мере дополняется или, если угодно, компенсируется гигантским увеличением тоннажа и длины корабля. Было бы странно не видеть этого факта и представить себе развитие науки происходящим по законам подобия, без изменения форм.

То, что я говорил, особенно ясно видно тем, кто хотя бы следит за физической литературой. Лицо физических журналов, отражающее состояние физики, за последние годы на наших глазах существенно меняется. Появилось очень много специальных журналов по отдельным разделам физики (оптике, физике твердого тела, ядерной физике, акустике и т.д.). И несмотря на это, удельный вес работ в области физики элементарных частиц резко упал даже в сохранившихся общеполитических журналах. Могу сослаться на последние полученные в библиотеке номера «Журнала экспериментальной и теоретической физики» и «Physical Review». В обоих журналах оказалось по 70 с небольшим статей, но из них соответственно лишь пять и три статьи посвящены экспериментам в области физики элементарных частиц. Теоретических статей по тем же и родственным вопросам несколько больше, но я сам физик-теоретик и поэтому предпочитаю вести подсчет по числу экспериментальных работ.

Коротко говоря, если уж уподоблять физику кораблю, сейчас это судно напоминает очень широкую баржу. Она имеет нос, но в известном смысле символический, подобно дымовым трубам, которые по традиции ставят на теплоходах. Разумеется, здесь, с целью усилить свою аргументацию, я зашел слишком далеко: известная выделенность «носа», в настоящее время — физики элементарных частиц, несомненна. Поэтому вполне естественно, что многие, и, как правило, наиболее способные молодые физики (особенно физики-теоретики), сейчас стремятся начинать свою работу именно в области физики элементарных частиц. Выше, очевидно, речь шла не об этом, а только об изменении роли переднего края физики на современном этапе и в обозримом будущем (говорить о более отдаленном периоде, в отношении которого у нас нет никаких данных, я вовсе не собираюсь). Это впечатление только подкрепляется, если обратиться к биологии. То, что происходит сейчас в

этой области, видимо, очень напоминает 20-е годы в области атомной физики. Мы являемся свидетелями бурного развития, какого-то вступления в героический период. Но разве это не связано теснейшим образом с фантастическими возможностями общечеловеческого значения, которые сулит нам биология? Радикальное удлинение жизни, создание совершенно новых видов растений и животных, создание жизни в пробирке — вот что маячит на горизонте. Поэтому я могу только присоединиться к тому прогнозу, который теперь нередко делается: в оставшиеся десятилетия нашего века крупнейших достижений можно ожидать именно в области биологии, которой в этом смысле физика уступит свое место. Мне кажется, что на такую перспективу мы, физики, должны смотреть не с сожалением, а с пониманием.

Вступив на путь каких-то прогнозов и характеристики современного и следующего этапов в развитии физики и биологии, я, конечно, оказался в области, по самой своей сути спорной и открытой для дискуссии.

Но возвращаясь в заключение к оценке того вклада в физику, которым человечество обязано Нильсу Бору, мы имеем дело с вещами совершенно бесспорными. Полвека назад великий физик зажег маяк, который долгие годы освещал дорогу физикам всего мира. И этот маяк не погас с кончиной Бора — он скорее превратился в памятник, на котором горит вечный огонь. Этот огонь будет источником света и тепла не только для нашего, но и для будущих поколений.

О РИЧАРДЕ ФЕЙНМАНЕ — ЗАМЕЧАТЕЛЬНОМ ФИЗИКЕ И УДИВИТЕЛЬНОМ ЧЕЛОВЕКЕ

Заметка, написанная по просьбе редакции журнала «Природа», в качестве своего рода предисловия к сокращенному переводу рассказа Р. Фейнмана «Мистер Фейнман едет в Вашингтон» (Природа. — 1988. — N 7. — С. 90).

«Ричард Фейнман лег в больницу две недели назад в связи с почечной недостаточностью, обусловленной раком. В прошлый четверг он принял ясно осознанное (clear headed) решение прекратить диализ и умереть. Он скончался этим утром». Такую телеграмму от профессора Калифорнийского технологического института (Калтеха) Кипа Торна получил его друг профессор МГУ В.Б. Брагинский. Так мы узнали о кончине (15 февраля 1988 г.) замечательного физика и учителя физиков Ричарда Фейнмана.

Как ясно из пришедшего затем письма, Фейнман с присущей ему трезвостью мысли давно сознавал, что умирает, и «ушел из жизни с большим достоинством» («left life with great dignity»).

Я начал эту заметку с подобной информации потому, что она как-то контрастирует со статьей «Мистер Фейнман едет в Вашингтон». Разве скажешь, читая этот, быть может, последний продиктованный Фейнманом рассказ, что в нем действует человек, уже несколько лет больной раком и потерявший при первой операции одну почку. Но Фейнман и при проведении непривычного для него расследования (в данном случае — причины гибели «Шаттла») верен себе — энергичен, трезв, оригинален и глубок. Да что говорить? Когда пытаешься охарактеризовать таких людей, как Фейнман, эпитетов не хватает. Это был человек исключительный. За всю свою уже довольно долгую жизнь людей такого калибра, которых знал лично, могу пересчитать по пальцам.

Настоящая заметка не некролог. Чтобы написать некролог (пусть и краткий), нужно иметь много сведений, а я ими не располагаю. Времени же, чтобы получить эти сведения из США, нет, ибо стремление журнала «Природа» без большого промедления почтить память Фейнмана вполне оправданно. Думаю, что использование для этой цели рассказа «Мистер Фейнман едет в Вашингтон» разумно. Правда, это не текст самого Фейнмана, и, какова здесь роль редактора (Ральфа Лейтона — друга Фейнмана), я не знаю. Но также обстоит дело и с другими известными мне статьями и книгами Фейнмана. В частности, недавно вышедшая его автобиография «Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман!» (см. ссылку) также представляет собой обработанные Р. Лейтоном рассказы Фейнмана. Помещенные у нас отрывки из этой книги¹ и Нобелевская лекция², а также многочисленные переведенные книги Фейнмана достаточно характеризуют его как физика и педагога. Кстати

¹ «Surely You're Joking, Mr. Feynman!» Adventures of a Curious Character. — N.Y.; London: W.W. Norton and Co, 1985. Отрывки из этой книги опубликованы в русском переводе в «Успехах физических наук» (1986. — Т. 148. — С. 509) и в «Науке и жизни» (1986. — N 10, 12; 1987. — N 2, 8).

² Фейнман Р. Развитие пространственно-временной трактовки квантовой электродинамики // УФН. — 1967. — Т. 91. — С. 29.

сказать, особенно ценными и правильными (и очень актуальными для нас) пред-стабляют-ся мне замечания Фейнмана, касающиеся сочетания преподавания и научной работы (см. главку «Почтенный профессор», помещенную в УФН). Что же касается Фейнмана как многогранной и удивительной личности, то позволю себе усомниться в том, что его книга дает об этом адекватное представление. Возможно, что я ошибаюсь, но стремление эпатировать, какой-то сознательный или бессознательный учет вкусов широкой американской публики, на которую рассчитана эта книга, и, быть может, редакторская правка Лейтона (по сути дела, это более чем правка — Лейтон ведь писал текст «со слов Фейнмана») — все это могло сильно повлиять на изложение.

Так или иначе, некоторые главки книги, посвященные не науке или преподаванию, а, можно сказать, частной или личной жизни Фейнмана, вызывают у меня некоторое удивление. [...] запретных тем, но мне непонятно, зачем писать в такой книге и в таком стиле об отношениях с женщинами. Впрочем, подобные сомнения являются, вполне возможно, лишь плодом иной среды обитания, других вкусов. Во всяком случае, честно говоря, я рад, что книга у нас целиком еще не переведена.

Я позволил себе такое замечание, ибо исключительно высокого мнения о Фейнмане, и он мне был очень симпатичен и как человек. От того-то и боишься, что читатели «не так» поймут отдельные места его автобиографии, составят на ее основе неправильное представление. Несомненно, вскоре появится немало воспоминаний друзей Фейнмана, которые высветят то, о чем сам Фейнман не хотел писать, чем бравировал и т.д. Вот тогда и стоило бы издать полный перевод книги вместе с некоторыми дополнительными статьями. Повторяю, быть может, мое такое мнение ошибочно, но не вижу оснований его скрывать, поскольку оно продиктовано не ханжеством, а лишь самыми теплыми чувствами и уважением к памяти Ричарда Фейнмана.

Несколько сведений из его биографии. Он родился 11 мая 1918 г. в маленьком городке близ Нью-Йорка. Его родители (или только отец, а быть может, и даже дед) — выходцы из России. Пишу так неопределенно, ибо в книге ничего, кажется, об этом нет, но я сам спрашивал Фейнмана, а ответ запомнил лишь, можно сказать, ориентировочно. Фейнман четыре года (вплоть до 1939 г.) учился в Массачусетском технологическом институте, потом работал в Принстонском университете и Лос-Аламосской научной лаборатории (он участвовал в исследованиях по «Манхэттенскому проекту»), с 1946 г. был профессором теоретической физики в Корнеллском университете и, наконец, с 1951 г. и до конца жизни — профессор в Калтехе.

Самой известной является работа Фейнмана, посвященная квантовой электродинамике, но ему принадлежит и ряд других очень значительных исследований. Из них я сам лучше знаю и ценю работы, касающиеся теории сверхтекучести¹. Останавливаться здесь на существо научных достижений Фейнмана нет, очевидно, никакой возможности. Между тем столь же очевидно, что главное, интересующее нас в жизни Фейнмана это именно его физика — подлинное его призвание и любовь. Надеюсь, на эту тему будет много написано, но уже сейчас мы можем судить о Фейнмане — физике и учителе, о физике Фейнмана — по его многочисленным книгам и статьям. Ограничусь здесь помимо ссылок 1—3 упоминанием последней известной мне работы Фейнмана, написанной в 1984 г. и посвященной квантово-механической теории вычислительных машин².

Как уже сказано, я не пишу некролог, и у меня самого даже не возникало мысли как-то публично откликнуться на смерть Фейнмана (правда, мы почтили его память вставанием на семинаре). Но, когда сотрудница редакции «Природы» предложила мне написать нечто вроде предисловия к рассказу «Мистер Фейнман едет в Вашингтон», я понял, что

¹ На русском языке эти результаты освещены в последней главе книги Р. Фейнмана «Статистическая физика». (М.: Мир, 1978).

² Фейнман Р.Ф. Квантовомеханические ЭВМ // УФН. — 1986. — Т. 149. — С. 671.

вправе писать и даже должен написать. Дело в том, что Р. Фейнман никогда не был в СССР, да и за рубежом (особенно последние годы или даже десятилетия) нечасто появлялся на конференциях. В итоге у нас его мало кто знает лично. Я же встречался с ним. Это — во-первых. А во-вторых, выражаясь языком, не принятым в научной среде, Ричард Фейнман один из моих немногочисленных героев.

В 1962 г. в Польше состоялась организованная Л. Инфельдом и его коллегами Международная конференция по теории гравитации¹. На ней я и познакомился с Фейнманом. Он сделал — в своей артистической манере — доклад о квантовой теории гравитации, а также участвовал в каком-то импровизированном спектакле в конце конференции. Но, как я сейчас ясно помню, Фейнман поехал в Польшу в первую очередь из интереса к этой стране, к ее недавнему прошлому. После конференции состоялась заранее предусмотренная экскурсия, целое путешествие. Побывали мы и в Ченстохове, где я с удивлением наблюдал, как некоторые участники конференции по гравитации преклонили колена, когда золотой щит медленно закрывал знаменитую ченстоховскую икону Божьей матери. Потом состоялось посещение Освенцима и Треблинки, и здесь я понял, что Фейнман готовился к этому посещению. Он знал подробности, рассказывал о печах, о «порядках» в лагере смерти. Из разговоров с Фейнманом ясно было, как много он знает об истории, политике, о жизни людей. Интерес его был живой, активный. Насколько широк был диапазон этих интересов, видно из того, что еще недавно Фейнман хотел посетить Туву (Тувинскую АССР), почему-то он заинтересовался этой далекой окраиной нашей страны. Но несколько лет назад организовать посещение американским физикам Тувы было немногим легче, чем полететь на Луну, и, к сожалению, Фейнман так и не побывал в Туве и вообще в СССР.

Второй короткий период, когда я общался с Фейнманом, относится ко времени моего пребывания в Калтехе в 1967 г. Был я у Фейнмана дома, вместе с ним и другими ездил в «Диснейленд». Остановлюсь здесь несколько подробнее лишь на двух эпизодах.

В Калтехе имеется дом для гостей «Atheneum», при нем ресторан (у нас бы его назвали столовой). И вот в этом ресторане должен был состояться ленч, на который пригласили Фейнмана и меня. Но приходить на такой ленч полагается (или полагалось тогда, ведь это было 21 год назад) в галстуке. А Фейнман ходил без галстука. Такая возможность предусмотрена: в гардеробной (cloakroom) «Atheneum» имеются галстуки, которые можно использовать. Возможно, Фейнман вообще не хотел идти на этот ленч, но, чтобы не обидеть меня, все же пошел, нацепив какой-то галстук из гардеробной. Потом, однако, он резким движением снял галстук и сидел за столом без него. А тут к нам подошел то ли служащий дома для гостей, то ли какой-то «дежурный член правления». И Фейнман буквально подскочил со словами: «Вы хотите меня вывести?». Как я понял, он именно хотел, чтобы его «вывели» за отсутствием галстука. Но подошедший знал Фейнмана и, конечно, ни словом не упрекнул его за «неподобающий вид». Фейнман был явно разочарован.

Теперь об эпизоде, уже не столь, пожалуй, мелком. Один из докладов, которые я делал в Калтехе, был посвящен происхождению космических лучей. Аудитория была широкая, было много народа. По этой причине мне пришлось рассказывать и о хорошо уже известном специалистам. Главное же — в астрофизике космических лучей (происхождение космических лучей — в собственном смысле слова — относится к этой области) существуют «вечные вопросы», годами остающиеся недостаточно ясными. К их числу принадлежит проблема радиогало². К тому времени уже лет десять шли споры: существует радиогало у Галактики или нет? Поэтому я повторил известные аргументы в пользу существования гало. И здесь Фейнман как-то нетерпеливо и, быть может, даже с раздражением сказал:

¹Труды этой конференции опубликованы: *Proceedings on Theory of Gravitation (Conference in Warszawa and Jablona)* / Ed. L. Infeld. — Warszawa: PWN, 1964.

²Подробнее см., например: *Гинзбург В.Л.* Астрофизические аспекты исследования космических лучей // УФН. — 1988. — Т. 155. — С. 185.

«Все это мы знаем, скажите что-нибудь новое!». Не помню, что я ответил. Наверное, пояснил ситуацию. И действительно, прогресс в области изучения радиогало был достигнут лишь десять лет спустя (в 1977 г.) — после обнаружения радиогало у видных «с ребра» галактик NGC 4631 и NGC 891. Почему я рассказываю об этом эпизоде? Он поясняет, как мне кажется, по какой причине некоторые побаивались и недолюбливали Фейнмана (такое у меня сложилось впечатление). Фейнман не считался со многими условностями и даже правилами вежливости. Вот в описанном случае — иностранец, на своем плохом английском языке выступает перед широкой аудиторией, ему и так трудно, а его перебивают требованием «скажите что-нибудь новое!». Я-то совсем не обиделся, ибо привык к такой манере из общения с Л.Д. Ландау и, главное, не страдаю болезненным самолюбием (таково, во всяком случае, мое мнение). А другой бы мог обидеться и затаить недоброжелательство к Фейнману. Кстати, он ведь был, по существу, совершенно прав: почувствовал, что в вопросе о гало царит какой-то застой. А мне его реакция тоже помогла: после этого вплоть до 1977 г. я старался не говорить о гало, поскольку не мог сообщить ничего нового.

Итак, Фейнман любил «задирать»ся. Проявлялось это и в презрительно-ироническом употреблении титула «профессор». Меня он все именовал и именовал «профессором», видимо, часто сталкивался со многими надутыми «профессорами», очень ценившими это звание. Но увидев, что здесь я совершенно неуязвим, оставил «профессора» в покое. Хорошо еще, что он, кажется, не называл меня «академиком»¹.

Выше я уже упомянул об Л.Д. Ландау. Его у нас знали многие, а его популярность, пожалуй, только растет со временем. Скоро выйдет в свет книга воспоминаний о Л.Д. Ландау², и многие его черты станут известны и представителям молодого поколения. Так вот, никого я не могу поставить с Фейнманом ближе и сопоставить с Фейнманом лучше, чем Л.Д. Ландау. Это тот же тип таланта и, пожалуй, тот же тип человека. Конечно, различия тоже очень велики: сказались и совершенно различные воспитание и среда. Но при всем при том я только поражаюсь их близости прямо генетической. Относится это и к физике, и к манере держаться, и кое к чему другому. Но настоящая заметка и так уже (неожиданно для меня самого) превратилась в целую статью. Поэтому тему «Ландау и Фейнман» отложу на будущее. Одно лишь, пожалуй, стоит отметить уже сейчас. Ландау не был знаком с Фейнманом лично, но это, конечно, не мешало ему очень высоко оценивать Фейнмана как физика. Более того, в разговоре со мной (и, кажется, не один раз) он называл Фейнмана физиком первого класса. А это значит, что он ставил Фейнмана в один ряд с Бором, Дираком, Шредингером, Гейзенбергом и немногими другими физиками нашего века. По классификации Ландау лишь Эйнштейн в нашем столетии обладал еще более высоким («половинным») классом. Себя же самого Ландау ставил ниже (по разным сведениям, он считал, что принадлежал ко второму или к полуторному классу). Несколько подробнее читатели об этой классификации смогут узнать из упомянутой книги воспоминаний о Ландау. Об его оценке Ландау я Фейнману рассказал, и он несколько смутился

¹Хочу сделать здесь небольшое отступление.

В иностранной литературе и, скажем, в повестках дня конференций довольно часто в применении к советским академикам фигурирует титул «academician». Мне это представляется совершенно неуместным и просто плодом недоразумения. Ведь члены иностранных академий именуются профессорами или докторами, а слово «академик» просто не применяется. Таким образом, и советских академиков нужно за рубежом именовать «на заграничный лад», т.е. профессорами. Я совершенно ясно понял это уже очень давно, когда увидел в списке участников какого-то конгресса (кажется, Сольвеевского) такое перечисление: Prof. N. Bohr, Prof. P.A.M. Dirac, Academician X ... После этого я никогда не употребляю за границей слова «academician» (впрочем, не употреблял и ранее) и, заведя на заграничный манер визитную карточку, написал, конечно, «Professor V.L. Ginzburg». Кстати сказать, «профессора» и «доктора» тоже все больше исчезают из литературы, например благодарят просто «X, Y, Z», а не «профессора или доктора X, Y, Z». Именно к этому, по сути дела, всегда как бы и призывал Фейнман, демонстративно и с явной издевкой называя тех или иных людей профессорами.

²См. «Воспоминания о Л.Д. Ландау». (М.: Наука, 1988).

и, кажется, отрицал, что он «выше по классу». Кстати сказать, к концу своей научной жизни Ландау все меньше занимался классификацией и, видимо, даже сам относился к ней иронически. Я отнюдь не склонен быть «большим роялистом, чем сам король», и не придаю таким классификациям особого значения. Думаю, что Фейнман и Ландау люди одного масштаба — оба сделали в физике и для преподавания физики так много, что и перечислить, а тем более объяснить нелегко. Такие люди, такие таланты (речь идет не только о, так сказать, силе таланта, но и об его типе и формах) крайне редки, это буквально гигантские флуктуации. Среди представителей более молодого поколения физиков я что-то назвать подобных людей не могу. В чем здесь дело — в моем собственном непонимании, связано это с флуктуациями (ведь, чем они больше, тем реже встречаются) или обусловлено другим стилем и характером работы в физике в настоящее время, — сказать не берусь.

Замечательный физик Ричард Фейнман ушел от нас. Но память о таких людях остается в веках.

ПРИМЕЧАНИЕ К НАСТОЯЩЕМУ ИЗДАНИЮ

Меня много раз приглашали в Калтех, но только в конце 1988 г., через 21 год (!) после предыдущего визита, эта поездка состоялась — таково одно из многочисленных проявлений глубоких изменений, произошедших в нашей стране. В Калтехе я узнал, что о необходимости надевать галстук при посещении «Atheneum» давно забыли и что (и это, конечно, более интересно) незадолго до смерти Фейнман получил из СССР приглашение посетить Туву. Но было уже поздно (если не ошибаюсь, Лейтон подобным приглашением воспользовался). Памяти Фейнмана посвящена уже довольно обширная литература (см., в частности, ряд статей в журнале «Physics Today» за 1989 г. — V. 42, N 2). Кроме того, посмертно вышла новая книга: *Richard P. Feynman* «What Do You Care What Other People Think» (N.Y.; London: W.W. Norton and Co., 1988). Вторая часть этой книги представляет собой полный вариант упомянутого рассказа «Мистер Фейнман едет в Вашингтон». Думаю, что вполне уместно и целесообразно издать у нас в одном томе перевод этой книги совместно с переводом упомянутой предыдущей книги «Surely You're Joking, Mr. Feynman!». Те сомнения, которые были у меня на этот счет и отражены в тексте, быть может, и ранее не были достаточно основательными, а сейчас и совсем отпали.

КУРС (ПАМЯТИ Л.Д. ЛАНДАУ И Е.М. ЛИФШИЦА)

Что такое «теоретическая физика?» Ответ кажется достаточно ясным из самого названия. Но это не вполне справедливо, и некоторые пояснения представляются здесь необходимыми.

В словаре русского языка С.И. Ожегова дается такое определение физики: «Одна из основных областей естествознания, наука о свойствах и строении материи, о формах ее движения и изменения, об общих закономерностях явлений природы». В общем сказано довольно точно, и, во всяком случае сейчас, мы можем удовлетвориться этим определением.

Физика строилась и продолжает развиваться в результате специально проводимых экспериментов или наблюдений движения небесных тел и некоторых природных явлений на Земле, а также путем анализа полученных таким образом данных. На простейшем уровне анализ наблюдений и экспериментального материала может носить качественный характер или сводится к установлению причинных связей и математической (в частности, статистической) обработке рядов наблюдений. Но затем необходимы более глубокое исследование природы наблюдаемого явления или эффекта, понимание его места в физике в целом, количественное рассмотрение. На этом этапе неизбежно использование математических методов, ибо математика — это один из языков физики, необходимый язык всякой количественной науки. Так и получается, что в физике и в особенно тесно примыкающей к ней астрономии (ограничимся здесь только этими областями естествознания) весь путь «рука об руку» проходят эксперимент (или наблюдения) и теория, теория и эксперимент.

Теоретическая физика — это область физики, которая посвящена пониманию и обобщению экспериментальных данных, выявлению единства ряда внешне различных явлений, математической формулировке физических представлений и законов, анализу вытекающих из этих законов следствий.

Не претендую на то, что такое определение является лучшим из возможных. Но я ведь и не предлагаю обогатить им словарь русского языка. Суть же дела, как можно надеяться, ясна. Ее, этой сути, пришлось коснуться потому, что теоретическую физику иногда пытаются свести к использованию в физике математических методов. В лучшем случае здесь имеет место отождествление теоретической физики с так называемой математических методов. В лучшем случае здесь имеет место отождествление [...] зумое, применялось преимущественно, когда речь шла о решении дифференциальных уравнений, встречающихся в физике. Сейчас и этот круг вопросов чаще относят к теоретической физике, но, главное, теоретическая физика значительно шире. Классическая (ньютоновская) механика, теория электромагнитного поля (уравнения Максвелла и т.д.), специальная и общая теория относительности, квантовая механика — все это главы теоретической физики. Когда сравнительно недавно мои коллеги-физики и я столкнулись с утверждением, что «квантовая механика — это на 80% математика», мы просто рассмеялись. Достаточно сказать, что практически весь математический аппарат, используемый в квантовой механике, был известен до ее создания. А вот сама квантовая механика, как и теория

относительности, — величайшие достижения физики, и, собственно, всего естествознания в нашем столетии. Сводить эти теории, их содержание и применения к соответствующему математическому аппарату просто абсурдно.

Теоретическая физика, как ясно из сказанного, — ровесница самой физике. Другое дело, что название «теоретическая физика» в прошлом не применялось, да и физику нередко называли или в какой-то мере отождествляли с «натуральной философией». Насколько я знаю, не использовались до нашего века и названия «физик-теоретик» и «физик-экспериментатор». В зависимости от природных склонностей и способностей, жизненной судьбы и конкретного состояния физики и астрономии одни физики и астрономы концентрировали свое внимание на экспериментах или наблюдениях, а другие — на теории, т.е. на обработке результатов измерений, их количественной интерпретации.

Так, Коперник сам мало наблюдал, и на современном языке его следовало бы отнести к теоретикам. То же можно сказать о Кеплере. А вот Тихо Браге — типичный наблюдатель. Галилей — в основном экспериментатор и наблюдатель. Ньютон — в первую очередь теоретик, но он и много экспериментировал. Фарадей был «чистым» экспериментатором, а Максвелл — теоретиком, хотя и не чуждым эксперименту. Но, главное, все эти великие люди были мыслителями, астрономами и физиками, а относительная роль эксперимента (наблюдений) и теории в их деятельности в значительной мере определялась ситуацией, стоявшими задачами. Коперник мог опираться на уже имевшиеся результаты наблюдений; его основная цель состояла в анализе этих результатов на основе гелиоцентрической системы. Галилей не мог не экспериментировать и не наблюдать, ибо не было до него соответствующих экспериментов и наблюдений. Ньютон, хотя именно он заложил основы небесной механики (теории движения небесных тел — планет, Луны и т.д.), мог не заниматься астрономическими наблюдениями и их обработкой — это до него сделали другие (так, например, Ньютон вывел из уравнений механики законы Кеплера, обобщившие наблюдения движения планет). Максвелл опирался на результаты экспериментов Фарадея. В общем с развитием науки, расширением ее фронта, увеличением числа физиков и астрономов происходило разделение труда. Так и появились (практически только в текущем столетии) профессии физик-теоретик и физик-экспериментатор. Создателей теории относительности и квантовой механики (Планка, Эйнштейна, Бора, де Бройля, Шредингера, Гейзенберга, Дирака и ряд других) — уже всех можно назвать физиками-теоретиками (исключением являлся Ферми, который был и теоретиком, и экспериментатором). Но нужно ли говорить, что они ничего не смогли бы сделать, если бы не опирались на экспериментальные данные, полученные их предшественниками физиками или их современниками физиками-экспериментаторами.

Чтобы завершить первую часть настоящей статьи, остается сделать еще несколько замечаний.

Во-первых, при том понимании теоретической физики, которое изложено выше и которое я считаю, по своей сути, совершенно правильным, теоретическая физика играет роль стержня, станового хребта физики. Особенно это ясно в наши дни, когда физика колоссально разрослась и разветвилась. То, что объединяет физику твердого тела, кристаллофизику, оптику, акустику, физику космических лучей, ядерную физику и все другие многочисленные направления и области современной физики, это именно теоретическая физика — классическая механика, теория относительности, квантовая механика и другие ее разделы.

Во-вторых, такое главенствующее в известном смысле место теоретической физики во всей физике ни в какой мере не означает, что физики-теоретики аналогичным образом занимают какое-то главенствующее положение среди физиков. Дело просто в том, что теоретическая физика — неотъемлемая часть физики, принадлежащая всем физикам. Более того, тот, кто не знает и не умеет использовать теоретическую физику (в каких

пределах — это другой вопрос), вообще не может считаться физиком. Это все равно, что нельзя себе представить врача, не знающего анатомию, или юриста, не знакомого с уголовным кодексом.

В-третьих, существенные открытия происходят иногда на базе теорий, ее предсказаний. Однако даже чаще открытия оказываются совершенно неожиданным результатом проводимых экспериментов или наблюдений. Тем очевиднее необоснованность противопоставления в физике эксперимента и теории.

Поскольку теоретической физикой в той или иной мере занимаются, таким образом, все физики, иногда не так-то легко определить, кто же из них является физиком-теоретиком. Нередко такое «звание» присваивается лишь по негативному признаку: если физик проводит различные вычисления, решает те или иные задачи и не занимается экспериментом, его называют теоретиком. В настоящее время к числу физиков-теоретиков относят часто и математиков по образованию и способу мышления, концентрирующих свое внимание на различных вопросах теоретической физики. Вообще между многими специальностями и специализациями в математике, физике, астрономии, геофизике, биофизике и т.д. отсутствуют четкие перегородки как по существу, так и в отношении наименования специальностей. Здесь есть вопросы, которые было бы небезынтересно обсудить, но этому нет места в настоящей статье. Быть может, уместно лишь заметить, что специальность «физик-теоретик» особенно широка по сравнению с большинством других — таких, как оптик, акустик, радиофизик, «ядерщик» (специалист в области физики ядра) и т.д. и т.п. Это и понятно, поскольку теоретическая физика пронизывает всю физику. А один из результатов таков: физики-теоретики (точнее, те, кого называют или считают физиками-теоретиками) нередко плохо понимают друг друга — уж очень они в ряде случаев различны по стилю работы, используемым математическим методам и т.д. Но все же, если они действительно физики, у них есть общий язык — язык теоретической физики.

Научить языку теоретической физики или, если угодно, основам и методам теоретической физики — такова одна из главных, а быть может, и главная задача физического образования. Фундамент закладывается в школе. Второй этап — университетский курс так называемой общей физики, традиционно состоящей из механики, электричества, термодинамики и молекулярной физики, оптики и атомной физики. Считается иногда, что в этом курсе теоретическая физика не представлена. Но именно только «считается». Достаточно посмотреть любой современный курс общей физики, например лучший из мне известных курс Д.В. Сивухина, чтобы убедиться, насколько значителен там удельный вес теоретической физики — сформулированных математически физических законов, их обсуждения и анализа пусть и простыми математическими методами. Кстати сказать, и сам Д.В. Сивухин — физик-теоретик. Один из крупнейших физиков-теоретиков современности Р. Фейнман также является автором широко известного, хотя и нестандартного курса общей физики.

Следующим этапом на пути физического образования, обязательным на всех физических факультетах университетов и других вузов, являются специальные курсы теоретической физики. Они по тематике в значительной мере повторяют курс общей физики, но уже на таком математическом уровне, который необходим (хотя и далеко не всегда достаточен) для практической работы физика. Различным главам теоретической физики посвящено много учебников и учебных пособий. Встречались и многотомные курсы теоретической физики, написанные одним или двумя авторами. Я видел такие курсы в молодости, но сейчас не стану их вспоминать. Для советских физиков и, думаю, для физиков всего мира уже немало лет существует и широко известен один курс теоретической физики — Курс Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица. Слово «курс» дано здесь с большой буквы не случайно. Подобно Библии, которую было принято (да и сейчас иногда принято — не берусь точно сказать, где и когда) писать с большой буквы, тома курса Ландау и Лифшица многие со-

ветские физики в разговорах, пусть и шутливо, называли и называют Книгами (с большой буквы).

«Курс теоретической физики» Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица состоит из десяти томов. Их названия таковы:

- I. Механика
- II. Теория поля
- III. Квантовая механика (нерелятивистская теория)
- IV. Квантовая электродинамика
- V. Статистическая физика, часть 1
- VI. Гидродинамика
- VII. Теория упругости
- VIII. Электродинамика сплошных сред
- IX. Статистическая физика, часть 2 (Теория конденсированного состояния)
- X. Физическая кинетика

Общий объем Курса около 5300 страниц! Создание Курса, задуманное Л.Д. Ландау около 50 лет назад, поистине титанический труд.

Подробнее на содержании Курса здесь нет возможности останавливаться. Желающие могут с ним познакомиться сами (книги Курса имеются, конечно, в любой научной библиотеке). Разумеется, по количеству материала Курс далеко превосходит объем курсов теоретической физики, которые читаются студентам. Но практически все, что нужно для обучения, в Курсе представлено. Остальной материал используется физиками в их повседневной работе. Книги Курса, таким образом, это одновременно и учебник, и своего рода энциклопедия, и справочник, если понимать последний термин достаточно широко. Вместе с тем не нужно думать, что за пределами Курса не остались вопросы, которые можно отнести к теоретической физике. Конечно, такие вопросы имеются, как подчеркивали и сами авторы Курса. Да иначе и быть не может, ибо нельзя объять необъятное.

Стремление отразить в Курсе огромный материал и вместе с тем изложить все четко и с единых методических позиций потребовало исключительных усилий, о чем еще пойдет речь ниже. Сейчас хочется подчеркнуть, что в силу указанных требований при освещении того или иного вопроса, для доказательства и вывода высказываемых утверждений в Курсе выбирается один какой-либо путь, представлявшийся авторам наилучшим или наиболее подходящим для их целей. Между тем, как известно, почти любое нетривиальное заключение можно и обычно полезно осветить с различных сторон, привести разные доказательства, указать на различные аналогии. И в зависимости от способностей изучающих, типа их мышления и склонностей не всем из них предлагаемые в Курсе подходы и выводы покажутся наилучшими. Мне, например, использование принципа наименьшего действия как исходного при изложении даже механики не кажется наиболее прозрачным (то же, впрочем, относится и к теории поля). Здесь, правда, нужно учитывать тот факт, что уравнения механики и уравнения электромагнитного поля получаются уже в курсе общей физики, причем, конечно, не вариационным методом.

Цель этого замечания состоит в том, чтобы подчеркнуть следующее: при всех исключительных достоинствах Курса Ландау и Лифшица не следует его канонизировать и фетишизировать — это было бы чуждо духу современной науки, противоречило бы убеждениям самих авторов Курса. Практический же вывод из сказанного таков: изучающие теоретическую физику, как, впрочем, и любую другую науку, не должны ограничиваться одним курсом, даже если это Курс с большой буквы. Если вам (я обращаюсь сейчас в основном к студентам) в Курсе Ландау и Лифшица что-то недостаточно понятно или как-то не возникло удовлетворения выводом, посмотрите и другие книги на ту же тему — их немало по любому из разделов Курса.

Курс теоретической физики Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица начал издаваться еще до войны (первое издание тома V — 1938 г., а тома II — 1941 г.). Последние тома IX и X появились соответственно в 1978 и 1979 гг. Почти все тома выходили несколькими изданиями, причем всегда в дополненном и переработанном виде. Менялась несколько и структура Курса. Например, том VI ранее был посвящен всей механике сплошных сред. Сейчас же издается переработанный и существенно дополненный новым материалом том VI «Гидродинамика» и находится в печати новое издание тома VII «Теория упругости». Хотя книги Курса выходили тиражами в десятки тысяч экземпляров, они почти моментально расходились, и купить их сейчас невозможно. В 1962 г. Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшицу за вышедшие к тому времени тома Курса была присуждена Ленинская премия. Курс получил мировую известность — на шести языках (английском, немецком, французском, японском, итальянском и венгерском) он переводится полностью, еще на десяти языках вышли отдельные тома. Думаю, что не существует научных книг советских авторов, получивших более широкое международное признание, чем тома Курса Ландау и Лифшица. Сам я имею на этот счет лишь ограниченные сведения — заметил ряд благоприятных рецензий и видел за границей тома Курса у всех физиков, в кабинеты которых приходилось заходить. Но фактически известно очень много откликов на тома Курса, некоторые из них приведены в статье М.И. Каганова¹. Там же читатели найдут ряд замечаний о Курсе, которые во многом дополняют настоящую статью.

Некоторые читатели, возможно, недоумевают: почему я решил именно сейчас написать о «Курсе теоретической физики» Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица, ведь он издается почти 50 лет, а последний его новый том появился в 1979 г.? Увы, ответ на этот вопрос печальный — в каком-то смысле я пишу некролог.

29 октября 1985 г. на 71-м году жизни скончался Евгений Михайлович Лифшиц. Он начал путь физика-теоретика в Харькове, где в 1932 г. по счастливому стечению обстоятельств начал работать и преподавать Лев Давидович Ландау (22.1.1908—1.IV.1968). Уже в 19-летнем возрасте — в 1934 г. — Е.М. Лифшиц опубликовал свою первую научную работу (совместную с Л.Д. Ландау). В следующем 1935 г. появляется уже не просто добротное исследование, а знаменитая сейчас работа Ландау и Лифшица, посвященная теории ферромагнетиков. В дальнейшем — в 1937, 1939 и 1941 гг. — были опубликованы работы самого Е.М., посвященные соответственно физике плазмы, теории диссоциации дейтронов при столкновениях и теории фазовых переходов. В 1944 г. Е.М. указал, как можно возбуждать второй звук в сверхтекучем гелии, а в 1954 г. построил теорию молекулярных (вандерваальсовых) сил, действующих между конденсированными телами. В 1946 г., а затем на протяжении ряда лет, в том числе в последние годы, Е.М. занимался космологией, причем получил в этой области первоклассные результаты.

В последние годы Евгению Михайловичу удалось побывать во многих странах, причем в основном в связи с приглашениями прочесть лекции или доклады по вопросам космологии. Эти лекции и доклады по стилю чем-то напоминали, естественно, Курс — отличались исключительной четкостью и ясностью в сочетании с умением за какой-нибудь час изложить очень большой материал.

Заслуги Е.М. Лифшица были признаны не только у нас, где он был избран сначала членом-корреспондентом, а затем и действительным членом (академиком) Академии наук СССР, но и во всем мире. Достаточно сказать, что Е.М. Лифшиц был выбран иностранным членом Лондонского Королевского общества, что с основанием считается высокой честью.

Несомненно, исследования, выполненные Е.М. Лифшицем, поставили его в ряд выдающихся физиков-теоретиков. Но в наши дни выдающихся физиков-теоретиков в мире все же немало, а вот «Курс теоретической физики» Ландау и Лифшица только один. Поэтому, хотя я и высоко ценю научные результаты Е.М. Лифшица, думаю, что глав-

¹ Каганов М.И. Энциклопедия теоретической физики // УФН. — 1985. — Т. 145. — С. 349.

ным в его деятельности является Курс. Л.Д. Ландау нашел в Е.М. Лифшице не только достойного ученика и ближайшего друга, но и, я бы сказал, писателя. Обычно этот термин не применяется к авторам научных книг, да и я не собираюсь настаивать на таком словоупотреблении. Но факт тот, что писать научные книги, даже когда знаешь, о чем пишешь, очень трудно. Сам Л.Д. Ландау, физик исключительного калибра, один из корифеев теоретической физики, писать не мог или, во всяком случае, так не любил, что почти никогда не писал даже собственные статьи, не говоря о книгах. Р. Фейнман, кстати сказать, во многом напоминающий Л.Д. Ландау, сам своих многочисленных книг также не писал — все они, насколько знаю, представляют собой обработку его лекций или бесед. Напротив, Е.М. Лифшиц умел писать четко и выразительно. В статье одного известного американского физика при упоминании одного места в «Теории поля» (том II Курса) есть замечание о том, что результат изложен там «сжатой и выразительной прозой Е.М. Лифшица». Все 5300 страниц Курса написаны рукой Е.М. Лифшица, и его роль в формировании текста никогда не вызывала сомнений. Что же касается содержания, то в блеске Л.Д. Ландау место, занимаемое Е.М. Лифшицем, оставалось в тени. Признаюсь, что я и сам недооценивал роль Е.М. Лифшица. Будучи рецензентом одного из томов Курса, я имел, помню, разговор с авторами, в котором сообщил свои замечания, и мы их обсуждали. Ландау доминировал в этом разговоре, а мы оба (Лифшиц и я) выступали в роли учеников, отнюдь не бессловесных или безропотных, но все же предоставлявших Учителю сказать решающее слово. Помимо того факта, что Л.Д. Ландау был, бесспорно, выше нас по своему классу, здесь, однако, сказывалась и его манера вести полемику. Ландау ведь принадлежал к числу людей, способных победить в споре, даже когда они не правы (конечно, только в случае, когда он искренне заблуждался, но я и не знаю примеров, чтобы Ландау из каких-либо соображений отстаивал научное утверждение, в истинности которого в момент спора не был уверен).

Понять подлинную роль Е.М. Лифшица в создании Курса помог (такова парадоксальность человеческой жизни) трагический поворот судьбы. 7 января 1962 г. Л.Д. Ландау попал в автомобильную катастрофу. Он прожил еще 6 лет, но совсем уже не возвращался к работе. Об этом очень тяжелом периоде нельзя забыть, но и не хочется его вспоминать. Позволю себе лишь заметить, что во время болезни Ландау, когда его многочисленные ученики и коллеги дежурили в больнице, я своими глазами буквально увидел, как Евгений Михайлович любил Ландау и был ему предан. Обычно он, как и почти все мы, не позволял себе на людях показывать свои истинные теплые чувства, однако в трагической обстановке эти чувства проявились. Был Е.М. Лифшиц и очень скромным, по существу, человеком. Вот один пример: к его 70-летию собирались, как это принято, поместить в «Успехах физических наук» юбилейную статью. Но Е.М. просил этого не делать (случай очень редкий; далеко не все, конечно, добиваются помещения юбилейных статей, хотя бывает и такое, но вот отказываются от помещения юбилейных статей лишь немногие). Редакция нашла выход, опубликовав вместо юбилейной статью М.И. Каганова о Курсе, на которую я уже ссылался выше.

К 1962 г., когда Л.Д. Ландау не смог больше работать, оставались ненаписанными три (тома IV, IX и X) из десяти задуманных томов Курса, кроме того, необходимо было переиздать с исправлениями и дополнениями вышедшие ранее тома. Если память не изменяет, я считал, и так, вероятно, думали многие, что Курс останется незавершенным. Но Е.М. Лифшиц решил иначе, 23 последних года жизни он посвятил в основном окончанию и переизданию Курса и с честью выполнил эту грандиозную задачу. К счастью, Е.М. нашел в лице Льва Петровича Питаевского, ученика Ландау более молодого поколения, достойного соавтора. Вместе они написали тома IV, IX и X (соавтором тома IV был также В.Б. Берестецкий), подготовили к переизданию другие тома. Для выполнения всей этой программы пришлось переработать огромный новый материал. Конечно, будь жив Ландау, новые тома и новые издания «старых» томов были бы несколько иными, отража-

ли его бесценные научные знания и глубину понимания физики. Но то, что сделано Е.М. Лифшицем и Л.П. Питаевским, это не суррогат, а полноценный вклад в Курс. Удивляться этому не следует, поскольку речь идет об учениках Ландау, впитавших в себя не только фактические знания, но и подход и методологию Ландау. Вместе с тем стал особенно очевидным и вклад Е.М. Лифшица в то, что было сделано еще при жизни Ландау. Кстати сказать, о самом Л.Д. Ландау я здесь мало пишу, поскольку могу сослаться на помещенную выше мою статью «О Льве Давидовиче Ландау». На мой взгляд, лучшая биография Л.Д. Ландау, хотя и краткая, принадлежит Е.М. Лифшицу — она помещена в конце т. 2 «Собрания трудов Л.Д. Ландау» (М.: Наука, 1969), а также в книге воспоминаний о Ландау¹.

Курс теоретической физики после кончины Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица превратился в памятник, который они себе воздвигли. Те, для которых, подобно мне самому, Лев Давидович и Евгений Михайлович были коллегами и друзьями, мемориальная сторона Курса, если можно так выразиться, важна и дорога. Но для бесчисленных читателей «Курса теоретической физики» Ландау и Лифшица — это учебник и энциклопедия, это руководство к действию, орудие труда. Мы помним об этом, не забудем и не дадим забыть тем, кто недостаточно понимает значение Курса.

Сейчас, когда одной из основных задач, стоящих перед страной, является ускорение научно-технического прогресса, особенно широко обсуждаются вопросы о соотношении между фундаментальными и прикладными исследованиями, о месте и роли так называемой фундаментальной науки. Не буду развивать здесь хорошо известные и совершенно бесспорные положения о том, что прикладная наука и техника не могут нормально развиваться (а в широком плане — даже и существовать) без фундаментальной науки. Очевидно также, что фундаментальная наука это проявление, плод определенных творческих способностей и потребностей человека аналогично тому, как искусство и литература являются проявлением и плодом творчества и потребностью людей иного склада. То, что представляется здесь уместным, так это напомнить, что теоретическая физика — как раз типичная фундаментальная наука. Обойтись же без теоретической физики не может ни одно прикладное физическое исследование, а в конечном счете и почти ни одна инженерная и естественно-научная дисциплина — их корни уходят в физику, а значит, и в теоретическую физику. Отсюда очевидно, сколь важна роль теоретической физики — ее изучения и развития — для ускорения научно-технического прогресса. Ясна в этом деле и роль Курса Л. Д. Ландау и Е.М. Лифшица, по которому учились, учатся и еще долго будут учиться все физики, да и не только физики.

В свете сказанного не могу не заметить, что некоторые тома Курса выходят явно заниженными тиражами. Так, если тома I и II были изданы в 1973 г. тиражом 70000 экз. каждый, то том VI («Гидродинамика») выходит сейчас тиражом лишь 36000 экз. И это несмотря на то, что не только тома I и II, но и вышедший в 1982 г. вторым изданием том VIII («Электродинамика сплошных сред») при тираже 40000 моментально был распродан. При этом дело не в нехватке бумаги. Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», издающая Курс с любовью и на максимально доступном ей высоком уровне, готова была издать «Гидродинамику» любым тиражом за счет имеющегося общего лимита бумаги. Указанный же тираж установлен книготоргующими организациями на основе их совершенно порочной «системы» определения тиражей. Об этом уже много раз упоминалось в печати. На примере Курса Ландау и Лифшица полная некомпетентность тех, кто у нас определяет тиражи, особенно очевидна — известны же тиражи предыдущих томов Курса и то, как они быстро расходились. Но вместо того, чтобы руководствоваться этими очевидными показателями, исходят из «заявок», поступающих

¹Воспоминания о Л.Д. Ландау. — М.: Наука, 1988. См. также Ливанова А. Ландау. — М.: Знание, 1983.

в магазины. Между тем подавляющее большинство читателей никаких заявок не подают (я и сам этого не делаю), а надеются пойти в магазин и купить нужную книгу. Находят же они в магазинах в большинстве случаев (имею в виду книги по физике и астрономии) сообщение о том, что книга продается только по заявкам или вообще распродана. Книги у нас очень дешевы, английские их переводы на Западе стоят в десятки, а то и в сотни раз дороже. Несомненно, дешевизна книг у нас — большое социальное завоевание. Но это завоевание становится лишь символическим, если книгу вообще нельзя купить, а она принадлежит к числу тех, которые нужно иметь у себя (нельзя же книгу, необходимую для повседневной работы, брать в библиотеке). Пора покончить с таким безобразием, и это можно сделать, ибо, повторяю, дело в первую очередь не в недостатке бумаги (зайдите в любой книжный магазин — и вы увидите, сколько издано книг, тиражи которых были невышены, и поэтому книги остались нераспроданными), а в неумении и нежелании изучать спрос и определять тиражи со знанием дела, а не бюрократически¹.

Евгений Михайлович Лифшиц все время думал об улучшении Курса. В специальных тетрадках он записывал обнаруженные опечатки и различные замечания и соображения, которые можно было бы учесть при переиздании томов Курса. Всегда, когда я что-либо замечал в Курсе, требующее, на мой взгляд, уточнения или отражения, то немедленно звонил Е.М. Так поступали, вероятно, и многие другие. Свои тетрадки Е.М. брал с собой и в отпуск, и в больницу. Когда незадолго до его безвременной смерти я навещал Е.М. в больнице, речь, как и всегда, опять коснулась Курса, различных необходимых дополнений. Такое отношение к своему делу, глубокая ему преданность являются лучшим проявлением профессионализма. Молодые люди должны учиться на таких примерах.

«Курс теоретической физики» Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица «прожил» почти полвека, сейчас он в расцвете сил и еще не одно десятилетие может и должен служить свою службу. Для этой цели необходимо переиздать под руководством Л.П. Питаевского все тома Курса, конечно, внося в них необходимые уточнения, в большой мере уже намеченные Е.М. Лифшицем.

Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц ушли, но их дело живет. Созданный ими Курс — огромное богатство, которое нужно хранить и умело использовать.

¹Том VI Курса («Гидродинамика») в 1988 г. был выпущен дополнительным тиражом 46000 экз. Не знаю, сыграла ли здесь роль моя критика, но похоже на то, что с тиражами томов Курса дело сейчас обстоит благополучно. Тем не менее я решил не изменять текст настоящей статьи, впервые изданной в 1988 г., ибо в целом борьба за рациональное определение тиражей остается актуальной. (*Примеч. к настоящему изданию.*)

ОБ АСТРОФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ (К 80-ЛЕТИЮ ЯНА ООРТА)

Ян Оорт — ровесник нашего века, века замечательных астрономических открытий. Правда, современники склонны обычно приуменьшать достижения прошлого и считать какими-то исключительными события, свидетелями которых они сами являются. Фактически же, конечно, астрономия и физика вступили на путь быстрого развития более трех столетий назад, и нет оснований считать XX в. резко выделяющимся по темпам роста, поразительности открытий и т.д. Но это уже другая тема, и здесь можно ограничиться замечанием, что лишь перечисление достижений, связанных с именем Я. Оорта, — вращение Галактики, радиоисследования атомарного водорода, изучение области галактического центра, Крабовидной туманности, ряда галактик, комет и т.д., — говорит само за себя.

1. Астрофизика высоких энергий, несомненно, появилась только в нашем веке и, по сути дела, лишь во второй его половине. Речь идет о выяснении и учете роли, которую играют в астрономии космические лучи и порождаемое ими радио-, оптическое, рентгеновское и гамма-излучение, а также нейтрино с высокой энергией¹.

Совершенно очевидно, что с развитием астрофизики высоких энергий теснейшим образом связан переворот в астрономии — ее превращение из оптической астрономии во всеволновую. Именно такое превращение, как и открытие нестационарности (расширения) Метагалактики — крупнейшие события в астрономии XX в.

Ниже я весьма кратко остановлюсь на зарождении и развитии астрофизики высоких энергий. При этом в большинстве случаев не буду называть имен и приводить ссылок на оригинальную литературу, поскольку и вообще-то «вопросы приоритета — грязное дело», а характер настоящего издания делает обращение к этим вопросам особенно неуместным².

2. Изучение космических лучей началось фактически в районе 1900 г. в результате наблюдений ионизации в газе, находящемся в закрытых сосудах. Возник вопрос: полностью ли эта ионизация объясняется радиоактивным излучением от земной поверхности, стенок сосуда и от радиоактивных эманаций в газе? Решить задачу было не просто, особенно в отношении выяснения роли Земли. Для последней цели были предприняты полеты на воздушных шарах. Они и привели к несомненному открытию космических лучей В. Гессом в 1912 г. Особенно был удачен полет Гесса 7 августа 1912 г., когда он достиг высоты 5

¹Довольно часто вместо «астрофизики высоких энергий» говорят об «астрофизике космических лучей» или «происхождении космических лучей». Космическими лучами, однако, принято в настоящее время называть лишь заряженные частицы. Поэтому название «астрофизика высоких энергий» лучше подходит, хотя в вопросе терминологии и классификации довольно трудно добиться однозначности и единогласия.

²Целый ряд оригинальных статей, не говоря уже о многих ссылках, можно найти в [1, 2]. Отошлем также к обзорам [3, 4, 19]. Составить представление о современном состоянии проблемы лучше всего, по-видимому, воспользовавшись трудами конференций по космическим лучам [5].

км; скорость ионизации при этом возросла уже в несколько раз по сравнению с наблюдавшейся на уровне моря. Эти результаты были подтверждены в 1914 г. В. Кольхерстером, достигшим высоты 9 км, где скорость ионизации еще существенно выше. Однако, упомянув о «несомненном открытии», мы имеем в виду установление фактов и — до известной степени — современные представления о строении атмосферы. Тогда же допускалось, например, что повышение скорости ионизации с удалением от земной поверхности связано с присутствием в верхней атмосфере значительного количества радиоактивных эманации, а не с действием некоторого неведомого космического излучения. Так или иначе, лишь примерно в 1927 г. отпали все сомнения в существовании космических лучей — проникающего «излучения» внеземного происхождения — в результате доказательства того факта, что эти «лучи» поглощаются значительно слабее гамма-излучения от радиоактивных элементов. Но если в самом существовании космических лучей сомневались по крайней мере лет пятнадцать, то их природа считалась тогда ясной — ими «должно было быть» жесткое гамма-излучение (такой вывод связан с тем, что именно гамма-излучение радиоактивных элементов наиболее проникающее). Но в 1927 г. был обнаружен и затем изучен геомагнитный эффект — зависимость создаваемой космическими лучами ионизации от широты. В результате примерно к 1936 г. стало ясно, что первичные космические лучи являются заряженными частицами. Вначале, по-видимому, их считали электронами, потом стало ясно, что основную роль играют протоны. Наконец, в 1948 г. выяснили, что в составе первичных космических лучей ядра целого ряда элементов.

Таким образом, понадобилось около 40 лет, чтобы хотя бы в самых грубых чертах выяснить, что представляют собой космические лучи. Я остановился на этом, в частности, с целью подчеркнуть, что многие научные проблемы и задачи требуют для своего решения несколько десятилетий. Конечно, такое заключение не новость. Тем не менее большинству ученых в силу их молодости события даже 20-летней, а тем более 30-летней давности часто кажутся какой-то археологической древностью. Иногда события действительно развиваются очень стремительно. Например, пульсары удалось очень быстро отождествить с нейтронными звездами. Как мне представляется, однако, это произошло лишь в связи с обнаружением короткопериодических пульсаров в Крабе и Веле. Если бы были известны только пульсары с периодом больше 1 с (подобно всем четырем первым пульсарам, открытым в Кембридже), то выбрать между нейтронными звездами и белыми карликами оказалось бы трудным делом. Выяснение природы центральных областей (кernов) квазаров как раз может служить здесь примером. Квазары были открыты на четыре-пять лет раньше пульсаров — в 1963 г., но природа керн до сих пор неизвестна. Как я считаю, хотя с этим не все согласятся, наиболее вероятными моделями керн являются магнитоплазменное тело (магнетойд, спинар) или черная дыра. Но выбор между этими возможностями столь нелегок, что может занять еще десятилетия (см. примечания в конце статьи).

3. Как сказано, к 1950 г. состав первичных космических лучей стал в основных чертах известен. Появились и отдельные работы, предугадывавшие потенциальную важность космических лучей для астрофизики. Так, Бааде и Цвикки [6] в 1934 г. связали появление сверхновых с образованием нейтронных звезд и генераций космических лучей. Ферми [7] в 1949 г. подошел к космическим лучам как к газу релятивистских частиц, движущихся в межзвездных полях. Тем не менее в целом роль космических лучей в астрономии оставалась совсем неясной, и, насколько я могу судить, космическими лучами интересовались практически только физики. Основную причину здесь можно видеть в высокой степени изотропности космических лучей (влияние земного магнитного поля считается исключенным). По этой причине даже самые детальные сведения о составе и энергетическом спектре космических лучей у Земли мало что говорят об их источниках и особенно о локализации этих источников. Ситуация здесь аналогична той, какая имела бы место,

если бы был известен лишь спектр всех звезд, вместе взятых, а отдельные звезды не наблюдались.

Поэтому, как я думаю, рождение астрофизики космических лучей и астрофизики высоких энергий в целом можно отнести лишь к 1950—1953 гг., когда картина радикально изменилась. Именно выяснилась синхротронная природа значительной части космического радиоизлучения. В результате стало возможно получать обильную информацию об электронной компоненте космических лучей вдали от Земли — в Галактике и за ее пределами. Более того, ценой некоторых предположений по интенсивности синхротронного излучения можно оценивать полную энергию космических лучей в источниках (в оболочках сверхновых, в радиогалактиках и т.д.). Понимание этих моментов заняло, если иметь в виду астрономическое сообщество в целом, около 10 лет, и, во всяком случае, на Парижском симпозиуме по радиоастрономии в 1958 г. [8] тесная связь между радиоастрономией и космическими лучами уже не оспаривалась. Предшествующая история¹ довольно драматична и часто излагается совершенно неверно в результате незнания с оригинальной литературой (опубликованной иногда лишь на русском языке) и использования версий *adapted by repetition*. Ограничусь здесь замечанием, что пониманию роли синхротронного механизма в астрономии во многом способствовала работа Оорта и Валравена [9], посвященная поляризации оптического излучения Крабовидной туманности.

4. К каким же основным заключениям привело установление уже более 20 лет назад связи между радиоастрономией и космическими лучами?

Во-первых, стало ясно, что генерация космических лучей представляет собой универсальный феномен — космические лучи имеются в межзвездном пространстве и в оболочках сверхновых и в других галактиках, особенно в радиогалактиках. Отсюда следует также, что космические лучи являются ценнейшим источником астрономической информации, причем не столько непосредственно (имеется в виду изучение космических лучей у Земли), сколько в результате возможности принимать порождаемое космическими лучами излучение. Вначале речь шла в основном о радиоизлучении. Но к нему потом прибавилось оптическое, рентгеновское и гамма-излучение, а в принципе и нейтрино высокой энергии,

Во-вторых, выяснилась существенная энергетическая и динамическая роль космических лучей. Плотность их энергии в Галактике $w_{c.r.} \sim 10^{-12}$ эрг/см³ — одного порядка с плотностью энергии межзвездных магнитных полей $w_H = H^2/(8\pi)$ и плотностью энергии межзвездного газа $w_g = 3/2 nkT$. В ряде объектов плотность $w_{c.r.}$ превосходит или может превосходить плотности w_H и w_g . То же относится к давлению космических лучей $p_{c.r.} = w_{c.r.}/3$ (в космических лучах доминируют релятивистские частицы). Оценка полной энергии космических лучей в Галактике $W_{c.r.} \sim 10^{56}$ эрг, а в мощных радиогалактиках $W_{c.r.} \lesssim 10^{61}$ эрг $\sim 10^7 M_\odot c^2$.

Оба сделанных заключения находятся в полном соответствии с современными представлениями физики плазмы: в разреженной плазме при наличии пучков частиц, ударных волн и различных магнитных неоднородностей как раз следует ожидать эффективного ускорения некоторой части частиц, а также их рассеяния и диффузии. Значение отмеченных фактов для астрономии трудно переоценить. Поскольку космические лучи являются столь важным ингредиентом в космосе, очевидна и роль астрофизики высоких энергий в целом. Одновременно, как обычно в подобных ситуациях, происходит взаимопроникновение различных областей и направлений, и сказать сегодня, где начинается и где оканчивается астрофизика высоких энергий, было бы нелегко. Да и нужно ли?

За последние 10 лет наиболее важным новым моментом в астрофизике высоких энергий представляется развитие и, по сути дела, возникновение наблюдательной гамма-астро-

¹Эта история кратко, но с необходимыми ссылками на литературу изложена во введении к статье в «Ann. Rev. Astron. Astroph.» (1965. V. 3. — P. 297). Подробнее см. [20].

номии¹. С точки зрения изучения космических лучей особое значение имеет регистрация гамма-лучей от распада π^0 -мезонов. Последние образуются при соударениях протонно-ядерной компоненты космических лучей с ядрами в газе. Интенсивность этих гамма-лучей I_{γ,π^0} пропорциональна поэтому концентрации газа n и интенсивности космических лучей $I_{c.r.}$ или — после некоторого пересчета — плотности их энергии $w_{c.r.}$. Тем самым измерения величины I_{γ,π^0} открывают, по сути дела, единственную известную возможность непосредственно определять плотность $w_{c.r.}$ вдали от Земли. Здесь вполне уместна аналогия с регистрацией синхротронного излучения, позволяющей определить плотность энергии электронной компоненты $w_{c.r.,e}$ (при известном поле H). Об одном важном результате, полученном на таком гамма-астрономическом пути, будет упомянуто ниже. Нельзя не отметить и других возможностей гамма-астрономии: приема ядерных гамма-линий и аннигиляционного излучения (линия $E_\gamma = 0,51$ МэВ), регистрации гамма-излучения, образующегося при обратном комптон-эффекте, например в квазарах, наземных наблюдений гамма-лучей с $E_\gamma > 10^{11} \div 10^{12}$ эВ (по вспышкам черенковского свечения в атмосфере). В общем можно сказать, что «гамма-окно» в космос с учетом уже имеющихся экспериментальных возможностей широко открылось и, несомненно, будет все шире использоваться в астрономии [22].

5. Одним из направлений астрофизики высоких энергий (по сути дела, самым старым) является проблема происхождения космических лучей. Она обсуждается уже полстолетия [1, 2]. Конкретно речь идет обычно об основной части космических лучей, наблюдаемых у Земли. Происхождение частиц со сверхвысокой энергией $E \gtrsim 10^{17}$ эВ и мягких космических лучей (называемых иногда субкосмическими лучами) с $E \lesssim 10^9$ эВ — вопросы особые.

Решить проблему происхождения космических лучей означает в первую очередь — определить «область захвата», в которой плотность энергии космических лучей порядка ее плотности $w_{c.r.} \sim 10^{12}$ эрг/см³ в районе Солнечной системы. В метagalактических моделях область захвата — вся Метагалактика, область типа Местного Сверхскопления и т.д. В галактических моделях область захвата это — для моделей с гало — квазисферическое или несколько уплощенное «гало космических лучей» с характерным размером $R \sim 10$ кпк. Для галактических моделей дискового типа областью захвата является некоторый диск с полутолщиной $h \ll R$. Другой первоочередный вопрос — природа и локализация источников космических лучей. Разумеется, давно возникли и обсуждаются и многочисленные другие вопросы: механизмы ускорения, характер распространения космических лучей в межзвездном пространстве (диффузия и условия применимости диффузионного приближения, плазменные эффекты, трансформация химического состава, потери и т.д.), генерация вторичных электронов и позитронов и т.п. Но важнее всего выбрать хотя бы тип модели — без этого вопрос о происхождении космических лучей остается открытым. И вот этот выбор потребовал 25–30 лет, если даже считать с 1950–1953 гг. и отбросить более ранние попытки и модели типа солнечной [2]. Как и ряд других физиков и астрономов, я с самого начала (по крайней мере с 1952–1953 гг.) был убежден в справедливости галактической модели с гало. Оснований было немало (они подробно освещены в [3]), но настоящие, непосредственные доказательства долгое время отсутствовали.

Сегодня они уже имеются.

После открытия в 1965 г. реликтового радиоизлучения с температурой $T_{ph} \approx 2,7$ К (плотность энергии $w_{ph} \approx 4 \cdot 10^{-13}$ эрг/см³) стало ясно, что электронная компонента космических лучей (по крайней мере для энергий $E \gtrsim 10^{10}$ эВ) должна иметь галактическое происхождение — в силу потерь на обратное комптоновское рассеяние на реликтовом

¹Достижения рентгеновской астрономии еще более значительны, но эта область в известном смысле «нетипична» для астрофизики высоких энергий. Дело в том, что большая часть космического рентгеновского излучения представляет собой тормозное излучение горячей, но нерелятивистской плазмы $T \lesssim 10^9$ К $\sim 10^5$ эВ) и непосредственно не связана с космическими лучами.

радиоизлучении электроны не могут дойти до нас даже от ближайших радиогалактик. Косвенно это укрепило уверенность в галактическом происхождении и основной, протонно-ядерной компоненты космических лучей¹. Прямое доказательство можно получить гамма-астрономическим методом. В метагалактических моделях плотность энергии везде примерно такая же, как в Галактике, т.е. порядка 10^{-12} эрг/см³ (речь идет о расстояниях с параметром кратного смещения $z \leq 1$). Поэтому можно предсказать, например поток гамма-лучей от распада π^0 -мезонов, образующихся в Магеллановых Облаках (этот поток определяется значением $w_{c.r.}$ и количеством газа в Облаках, которое известно). Несколько менее наглядны, но могут оказаться вполне убедительными измерения интенсивности гамма-лучей в направлении на галактический антицентр и в близких направлениях. Зная количество газа вдоль соответствующих лучей зрения, можно указать, скажем, интенсивность J_γ ($E_\gamma > 100$ МэВ). К сожалению, Магеллановы Облака в гамма-лучах еще не наблюдались, галактическое же значение J_γ измерено, и оно раза в два ниже вычисленного значения J_γ . При учете вклада каких-то неучтенных гамма-лучей, например от дискретных источников, этот разрыв увеличивается. Единственное объяснение — падение $w_{c.r.}$ с удалением от галактического центра, что противоречит метагалактическим моделям. Разумеется, дальнейшие наблюдения и проверки нужны, но в целом «дело сделано» (см. примечание в конце статьи и обзоры [19, 21, 22]).

Если существует «гало космических лучей», то естественно ожидать наличия и радиогало, за которое ответственна электронная компонента космических лучей в гало. Выявить радиогало оказалось, однако, весьма трудно, на что имеется целый ряд причин. Этот вопрос почему-то вызвал у некоторых радиоастрономов даже большое раздражение. Характер споров, которые велись в 1966 г., ясен, например, из сборника [10]. Думаю, что в последние годы вопрос все же выяснен достаточно убедительно в результате обнаружения радиогало у видных «с ребра» галактик NGC4631 и NGC891 [11, 12]. Кстати, эти измерения проведены на уникальном радиотелескопе в Вестерборке, создание которого, как я слышал, стало возможно только благодаря усилиям Я. Оорта. Для Галактики результаты не столь наглядны, но обработка радиоданных различными методами приводит к выводу о существовании радиогало [13, 14]. Замечу между прочим, что приводившиеся в литературе аргументы в пользу дисковых галактических моделей (с довольно тонким диском, в котором космические лучи живут менее 10^7 лет) вообще являются плодом недоразумения [4].

Отсылая за некоторыми деталями и дополнительной литературой к [4, 5, 19], сделаем общее заключение: модель происхождения большей части наблюдаемых у Земли космических лучей представляет собой галактическую модель с гало. В такой модели характерные энергия, время жизни и мощность генерации космических лучей составляют

$$W_{c.r.} \sim 10^{56} \text{ эрг}, T_{c.r.} \sim (1 \div 3) \cdot 10^8 \text{ лет},$$

$$U_{c.r.} \sim W_{c.r.}/T_{c.r.} \sim (1 \div 3) \cdot 10^{40} \text{ эрг/с}.$$

Что касается источников космических лучей, то выдвинутая в 1934 г. [6] кандидатура сверхновых остается фаворитом. Радионаблюдения оболочек сверхновых уже почти 30 лет как не оставляют сомнений в наличии в этих оболочках релятивистских электронов. Но роль протонно-ядерной компоненты космических лучей в оболочках все еще остается неясной. И в этом вопросе прогресса можно ожидать в первую очередь от использования гамма-астрономии.

¹Электроны в составе первичных космических лучей были зафиксированы лишь в 1961 г.; отвечающая им плотность энергии $w_{c.r.,e} \sim 10^{-2}w_{c.r.} \sim 10^{-14}$ эрг/см³. Этот результат ни в коей мере не противоречит радиоастрономическим данным.

Собственно, нет сомнений в том, что сверхновые прямо или косвенно (имеется в виду инъекция, а также ускорение в межзвездном пространстве ударными волнами, исходящими из сверхновых) генерируют заметную часть галактических космических лучей. Но какой-то вклад могут вносить и другие звезды; в последнее время в этом отношении особенно популярны *O*-звезды [5]. Каков этот вклад? Убедительных данных здесь нет, к тому же ответ, вероятно, зависит от энергии. Мое мнение (на основании аргументов изложенных, например, еще в [3]) таково: при энергиях $E \gtrsim 10^{10}$ эВ сверхновые как источники доминируют, хотя это и не доказано. Вклад различных звезд в любом случае представляет интерес, и если окажется, что он заметен, то это даже обогатит картину. Помимо упомянутого гамма-метода нельзя не отметить, что природа источников отражается, конечно, на химическом и изотропном составе ядерной компоненты космических лучей. Соответствующие измерения состава совершенствуются и внесут свой вклад в решение проблемы источников.

6. Именно сейчас, как мне кажется, начался или начинается (конечно, резкой границы здесь нет) новый этап в астрофизике космических лучей и астрофизике высоких энергий. Модель происхождения космических лучей (в узкой постановке — для основной части космических лучей у Земли) в общих чертах ясна. Гамма-астрономия «встала на ноги», уже принесла реальные результаты.

Так или иначе, на смену старым «проклятым вопросам» приходят новые, ответить на которые нелегко. Что это за вопросы? Как будет развиваться астрофизика высоких энергий и что она даст, скажем, к 2000 г.?

Наша способность заглянуть в будущее, разумеется, весьма ограничена. Но 10 или даже 20 лет — это не такой уж длительный срок для развития науки, как я пытался, между прочим, проиллюстрировать выше. В наши дни здесь появился даже дополнительный тормозящий фактор, связанный со сложностью аппаратуры. Между проектированием такой аппаратуры (например, на спутнике) и началом ее функционирования вполне обычен десятилетний интервал.

Не приходится сомневаться в том, что в течение ближайших 10–20 лет нас ждут неожиданности и, быть может, даже крупные открытия. В такой непредвиденности состоит одна из прелестей науки. Вместе с тем пытаться что-то предвидеть полезно, и я хочу кратко высказать мнение о некоторых перспективах в области астрофизики высоких энергий.

а) Многолетняя работа в области изучения химического и изотопного состава космических лучей находится на переломном этапе. Новое поколение современной аппаратуры для спутников и высотных баллонов уже родилось или вскоре появится. Поэтому в этой области можно ожидать довольно быстрого прогресса. Речь идет об определении состава и энергетического спектра ядер вплоть до энергий 10^{12} – 10^{13} эВ/нуклон. Изотопный состав станет известен лишь при меньших энергиях, но даже, например, определение количества радиоактивных ядер ^{10}Be при $E/(Mc^2) \gtrsim 10$ будет большим достижением (среднее время жизни для ядра ^{10}Be $\tau = 2,2 \cdot 10^6 E/(Mc^2)$ лет; такие ядра играют роль часов, и их количество дает сведения о возрасте космических лучей [4, 5].

Достаточно детальные данные о химическом и изотопном составе космических лучей позволят (хотя здесь и имеются определенные трудности при пересчете) узнать состав космических лучей в источниках. Несомненно, это один из важных каналов астрономической информации.

б) Спектр космических лучей прослежен до энергий порядка 10^{20} эВ. При этом при сверхвысоких энергиях $E > 10^{16} \div 10^{17}$ эВ частиц так мало¹, что их можно наблюдать

¹Интенсивность первичных частиц с энергией $E \geq 10^{16}$ эВ составляет около 10^2 частица/($\text{км}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{ч}$). При $E \gtrsim 10^{20}$ эВ эта интенсивность уже имеет порядок 10^{-6} частица/($\text{км}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{ч}$) $\sim 10^{-2}$ частица/($\text{км}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{год}$).

лишь по создаваемым в атмосфере ливням. Химический состав космических лучей со сверхвысокой энергией недостаточно известен, их происхождение тоже неясно. Сейчас не исключено как галактическое, так и внегалактическое происхождение (речь идет о Местном Сверхскоплении; из более отдаленных районов частицы с наблюдаемым энергетическим спектром прийти не могут в связи с потерями на реликтовом излучении, см. [15]). В настоящее время наиболее вероятной кажется модель, в которой частицы с $E < 1 \cdot 10^{19}$ эВ в основном галактические, а при $E > 1 \cdot 10^{19}$ эВ они приходят из Местного Сверхскопления [5, 15]. Проблема, как можно надеяться, будет решена (в смысле ориентировочной локализации источников и т.п.) за 10—20 лет (одно из важнейших направлений — измерение анизотропии космических лучей со сверхвысокой энергией).

Помимо астрофизического значения изучение космических лучей со сверхвысокой энергией, по всей вероятности, надолго останется очень важным для физики. Напомню, что с 1927—1929 гг. и вплоть до начала 50-х годов космические лучи широко использовались в физике высоких энергий, и именно с их помощью были открыты [1]: позитрон e^+ (1932 г.), μ^- -лептоны (1937 г.), π^\pm -мезоны (1947 г.), K^0 и K^\pm -мезоны (1947—1948 гг.) и Λ^- , Σ^+ и Σ^- -гипероны (1951—1953 гг.). Но с тех пор центр тяжести соответствующих физических исследований переместился на ускорители. Последнее вполне понятно, и если для данной энергии E можно использовать ускоритель, то космические лучи неконкурентоспособны. Однако в 80-е годы можно рассчитывать, по-видимому, как максимум на использование встречных пучков протонов с энергией $E_c = 10^{12}$ эВ = 1 ТэВ в каждом пучке (проект Лаборатории им. Ферми). В пересчете от системы центра масс в лабораторную систему это эквивалентно использованию протонов с энергией $E = 2(E_c)^2/(Mc^2) \approx 2 \cdot 10^{15}$ эВ. Таким образом, при энергиях $E < 2 \cdot 10^{15}$ эВ единственный источник частиц, быть может, до конца столетия это космические лучи. Конечно, работать в области энергий $E > 2 \cdot 10^{15}$ эВ с целью физических исследований весьма трудно но трудно было работать всегда, а с новыми затруднениями позволяет справляться та новая техника, которая и не снилась нашим предшественникам.

в) Выше уже был сделан ряд замечаний, касающихся гамма-астрономии. По-видимому, можно считать, что и это направление переживает переломный момент. Текущее десятилетие приведет, вероятно, к прогрессу, аналогичному имевшему место в 70-е годы в отношении рентгеновской астрономии (кульминацией в этой области можно считать результаты, полученные на Обсерватории «Эйнштейн» [16]). Новое поколение гамма-телескопов даст возможность не только уточнить результаты спутников SAS-2, COS-B и др., но и исследовать большое число дискретных источников, в том числе Магеллановы Облака, ряд галактик и их ядер, квазары. Достаточно впечатляющими являются и уже полученные результаты [5], например утверждение о гамма-светимости квазара 3C273, равной $L_\gamma(50 < E_\gamma < 500 \text{ МэВ}) = 2 \cdot 10^{46}$ эрг/с (принято расстояние $R = 790$ Мпк). За 10^6 лет такая светимость отвечает излучению энергии $W_\gamma \sim 6 \cdot 10^{59}$ эрг $\sim 3 \cdot 10^5 M_\odot c^2$ в одних только гамма-фотонах. Оптическая и рентгеновская светимости этого квазара примерно такие же, как гамма-светимость, и лишь в инфракрасной области светимость на порядок выше. Для пульсара PSR0532 (в Крабе) $L_\gamma(E_\gamma > 100 \text{ МэВ}) \approx 3,5 \cdot 10^{34}$ эрг/с. Для источника Cyg X-3 (быть может, это молодой пульсар в двойной системе) $L_\gamma(E_\gamma > 40 \text{ МэВ}) \approx 7,5 \cdot 10^{36}$ эрг/с, $L_\gamma(E_\gamma > 10^{12} \text{ эВ}) \approx 1,0 \cdot 10^{35}$ эрг/с.

Большие гамма-светимости весьма многозначительны и, во всяком случае, свидетельствуют о присутствии очень большого количества космических лучей (электронов, если речь идет о комптоновском механизме, а также синхротронном или изгибном излучении в случае пульсаров). От других ветвей гамма-астрономии (излучение в линиях и др.) также можно ждать много интересного (см. [22]). С астрофизикой высоких энергий тесно связаны исследования в рентгеновском и — в некоторых случаях — в других диапазонах. Но само собой ясно, что развитие идет широким фронтом, и здесь мне хотелось выделить лишь несколько узловых пунктов.

г) К числу таких узловых направлений нужно отнести нейтринную астрономию высоких энергий. Эта область, если говорить об эксперименте, только возникает. Однако уже вполне реальны подземные измерения нейтрино, скажем, от вспышек сверхновых в нашей Галактике. Создание глубоководных оптических и (или) акустических систем (проект ДЮ-МАНД и др.) позволит уверенно фиксировать с довольно высоким угловым разрешением (порядка 1°) нейтрино с энергией $E_\gamma \gtrsim 10^{12}$ эВ от далеких внегалактических источников (некоторые оценки и литературу см. в [5, 17]). Нейтрино с указанной энергией порождаются практически лишь про-тонно-ядерной компонентой космических лучей и, следовательно, могут служить ее индикатором (подобно гамма-лучам от распада π^0 -мезонов в менее жесткой области спектра). К тому же нейтрино обладают особенно большой проникающей способностью. В то же время даже гамма-лучи при энергии $E_\gamma \gtrsim 2 \cdot 10^{11} \div 10^{14}$ эВ на больших метагалактических расстояниях уже сильно поглощаются (процесс $\gamma + \gamma' \rightarrow e^+ + e^-$, где роль γ' играют мягкие фотоны реликтового и оптического излучения). Гамма-лучи и подавно поглощаются слоем вещества, превосходящим 100 г/см^2 . Поэтому они не могут выйти из внутренних областей, скажем, плотных галактических ядер. С этим как раз и связана в значительной мере трудность выяснения природы ядер квазаров и активных ядер галактик. Прием нейтринного излучения от этих объектов в сочетании с гамма-астрономическими наблюдениями открывает для некоторых моделей возможность отличить массивную черную дыру от магнитоида [17].

В общем, как я убежден, нейтринная астрономия высоких энергий¹ — главный, еще совсем не использованный резерв астрофизики высоких энергий и астрономии в целом (правда, в последнем случае нельзя не упомянуть и о другом, не менее важном «резерве» — астрономии гравитационных волн).

Современная астрономия уже сегодня представляется немыслимой без астрофизики высоких энергий. К концу столетия это станет столь очевидно и общепризнано, что даже не будет нуждаться в упоминании (впрочем, нужно ли было такое упоминание даже сегодня?).

7. В заключение позволю себе несколько замечаний личного характера.

Впервые я увидел Я. Оорта в середине 1947 г. в Лейдене, но фактически тогда с ним даже не познакомился! В Лейден группа советских астрономов и физиков попала совершенно случайно — на обратном пути из экспедиции в Бразилию для наблюдения радио- и оптическими методами полного солнечного затмения 20 мая 1947 г. Мое участие в экспедиции было, по сути дела, некоторой премией за работы по распространению радиоволн в ионосфере и по радиоизлучению Солнца. Именно к последней области и относилась моя первая (и тогда единственная) астрономическая работа [18]. с астрономией же в более широком плане я знаком не был и если память не изменяет, ничего или почти ничего не знал и об Я. Оорте, его достижениях и деятельности. Гораздо сильнее меня увлекала физика низких температур, и поэтому, когда наши астрономы отправились в Обсерваторию, я устремился в знаменитую Криогенную лабораторию им. Камерлинг-Оннеса. Эти детали, конечно, мало интересны, но пишу о них потому, что и до сих пор сожалею об упущенной возможности побеседовать с Я. Оортом. Почему-то мне кажется, что, случись это, я бы не дожидался еще несколько лет, прежде чем вновь вплотную заняться астрономией в 1950—1951 гг.

С этого времени я обратился (и одно время даже в ущерб работе в области физики) как раз к астрофизике высоких энергий. Теперь-то имя Оорт мне уже говорило достаточно много. Познакомились мы во время одного из его визитов в СССР. А потом увиделись на Симпозиуме МАС31 в Нордвике в 1966 г. Это был замечательный Симпозиум, во всяком

¹ Нейтринная астрономия малых энергий ($E \lesssim 10 \div 20 \text{ МэВ}$), конечно, тоже является одним из важнейших направлений при изучении Солнца, вспышек сверхновых звезд и, возможно, некоторых других объектов.

случае такой след он оставил в памяти. Трудно, правда, сказать, какую роль сыграли здесь не только наука, но и красота Голландии, прекрасная организация, дружелюбие и любезность хозяев во главе с Я. Оортом. Вместе с тем из трудов Симпозиума [10] ясно, сколь он был интересен и в чисто научном отношении. Состоялось несколько встреч с Оортом и позже. В 1975 г. Я. Оорт, избранный в 1966 г. иностранным членом Академии наук СССР, приезжал с женой в Москву на празднование 250-летнего юбилея Академии. В 1976 г. во время своей последней поездки в Европу я также видел Я. Оорта. Но особенно запомнился длившийся целый месяц мой визит вместе с женой в Лейден. Мы жили в старом здании Обсерватории прямо над квартирой Оортов. И мы часто виделись с Я. Оортом и М. Оорт, и наши чувства к ним стали, и с тех пор остаются, и всегда будут очень теплыми.

Опять возникает вопрос: зачем же эти подробности? Я и сам не уверен в том, что они уместны. Но все же могу заметить, что у меня есть причины писать не так, как пишут те коллеги на Западе, которые все время путешествуют. Лично поздравить юбиляра 28 апреля 1980 г. я тоже не смогу. Но вместе с тем даже легче не сказать, а написать о том глубоком уважении и любви, которые я испытываю к Яну Оорту.

ПРИМЕЧАНИЕ К НАСТОЯЩЕМУ ИЗДАНИЮ

Статья была написана в начале 1980 г. Перечитав ее через 10 лет, я пришел к выводу, оказавшемуся даже несколько неожиданным: статья в научном плане в общем не устарела. Поэтому и решил ее опубликовать здесь, поскольку она одновременно примыкает к разряду «воспоминаний».

В текст не внесено никаких изменений, если не считать добавления нескольких слов, не заслуживающих комментариев. Что я изменил бы, если бы писал статью сейчас? Во-первых, неточно определение астрофизики высоких энергий, фигурирующее в начале статьи, как астрофизики космических лучей, а также вопросов, связанных с генерируемыми космическими лучами электромагнитным излучением и нейтрино с высокими энергиями. Действительно, гамма-астрономия, которую можно и в целом отнести к астрофизике высоких энергий, тесно связана с космическими лучами. Однако некоторые компоненты (или виды) космического гамма-излучения порождаются не космическими лучами, а образуются, скажем, при переходах в атомных ядрах (подробнее см., например, [22]). Во-вторых, говоря о моделях ядер квазаров, я упомянул модель спинаров или магнитоидов на равных основаниях с моделью черной дыры. Вопрос, строго говоря, и сейчас не решен, но все же сегодня модель черной дыры представляется более вероятной. Кстати, идут споры о том, имеется ли черная дыра в центре нашей Галактики и какова ее масса. Это один из важнейших нерешенных вопросов современной астрофизики. В-третьих, я несколько «опередил события», утверждая, что наличие градиента интенсивности космических лучей в Галактике уже доказано. Здесь необходимы дальнейшие наблюдения [22], хотя справедливость гипотезы о галактическом происхождении основной части космических лучей, наблюдаемых у Земли, ни в чем не поколеблена.

Для удобства читателей добавлена литература к ссылкам [1, 5], а также помещены новые ссылки [19–22].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hillas A.M. Cosmic Rays.* — Pergamon Press, 1972. *Дорман И.В.* Космические лучи. — М.: Наука, 1981.
2. *Selected papers on cosmic ray origin theories / Ed. S. Rocen.* — N.Y.: Dover Publication, 1969.

3. *Ginzburg V.L., Syrovatskii S.I.* The Origin of Cosmic Rays. — Pergamon Press, 1964.
4. *Ginzburg V.L.* // Sov. Phys. — Uspekhi. — 1978. — V. 21. — P. 155; УФН. — 1978. — Т. 124. — С 307.
5. 16th Intern. Cosmic Ray Conf. / Conf. Papers. V. 1—14. — Kyoto, Japan, 1979; 20th Intern. Cosmic Ray Conf. / Conf. Papers. V. 1—9. — Moscow, USSR, 1987. К моменту выхода в свет настоящей книги уже появились труды и 21-й подобной конференции (Аделаида, Австралия, 1990).
6. *Baade W., Zwicky F.* // Nat. Acad. Sci. USA. — 1934. — V. 20. — P. 259; Phys. Rev. — 1934. — V. 46. — P. 76.
7. *Fermi E.* // Phys. Rev. — 1949. — V. 75. — P. 1169.
8. Paris Symposium on Radio Astronomy. — Stenford Univ. Press, 1959.
9. *Oort J.H., Walraven T.* // Bull. Astron. Inst. Netherl. — 1956. — V. 12. — P. 285.
10. Radio Astronomy and the Galactic System (IAU Symp. 31) / Ed. H. van Wocorden. — Acad. Press, 1967.
11. *Ekers R.D., Sanoisi R.* // Astron. and Astrophys. — 1977. — V. 54. — P. 973.
12. *Allen R.J., Baldwin J.E., Sancisi R.* // Astron. and Astrophys. — 1978. — V. 62. — P. 397.
13. *Bulanov S.V., Dogel V.A., Syrovatskii S.I.* // Astrophys. and Space Sci. — 1976. — V. 44. — P. 267.
14. *Webster A.* // Mon. Not. RAS. — 1978. — V. 185. — P. 507.
15. *Berezinsky V.S.* // 15th Intern. Cosmic Ray Conf. Conference papers. V. 10. — P. 84. — Plovdiv, Bulgaria, 1977.
16. Astrophys. J. (Lett.) — 1979. — V. 234, N 1. — Part. 2.
17. *Berezinsky V.L., Ginzburg V.L.* // Mon. Not. RAS 1981. — V. 194. — P. 3.
18. *Ginzburg V.L.* // C.R. (Doklady) Acad. Sci. USSR. — 1946. — V. 52. — P. 487.
19. Астрофизика космических лучей / Под ред. В.Л. Гинзбурга. 2-е изд. — М.: Наука, 1990. Имеется английский перевод.
20. *Ginzburg V.L.* // Early History of Cosmic Ray Studies / Eds. Y. Sekido and H. Elliot. — Dordrecht, Holland: D. Reidel, 1985. — P. 411.
21. *Гинзбург В.Л.* // УФН. — 1988. — Т. 155. — С 185.
22. *Гинзбург В.Л., Догель В.А.* // УФН. 1989. — Т. 158. — С. 3; Space Sci. Rev. — 1989. — V. 49. — P. 311.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Помещенные в настоящей книге материалы в основном публиковались ранее. Однако в ряде случаев здесь вносились различные изменения и дополнения. В этой связи представляется необходимым сообщить некоторые библиографические данные и указать на характер внесенных изменений.

I

«Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными?» Эта часть представляет собой развитие статьи того же названия, впервые опубликованной в журнале «Успехи физических наук» (1971. — Т. 103. — С. 87). Затем статья переиздавалась в различных вариантах и легла в основу небольшой книжки «О физике и астрофизике» (М.: Наука, 1974). Под таким же названием в том же издательстве в 1980 г. вышло следующее, уже третье, издание статьи (книжки). В настоящем сборнике, как и в предыдущем его первом издании (1985), статья помещена в переработанном виде. Цель и характер внесенных изменений ясны из предисловия к части I книги.

II

«Как развивается наука? (замечания по поводу книги Т. Куна «Структура научных революций»)». Статья была напечатана в журнале «Природа» (1976. — N 6. — С. 73). Публикуется здесь почти без изменений.

«Как и кто создал теорию относительности? (опыт рецензии с предисловием и комментариями)». Статья публиковалась в «Вопросах философии» (1974. — N 8. — С. 125), в «Эйнштейновском сборнике, 1974» (М.: Наука, 1976. — С. 351) и в книге В.Л. Гинзбурга «О теории относительности» (М.: Наука, 1979. — С. 116). Публикуется по тексту указанной книги с добавлением лишь одного замечания.

«Нужна ли «новая физика» в астрономии?». Доклад представляет собой Дарвиновскую лекцию, прочитанную 11 апреля 1975 г. на заседании Королевского астрономического общества (Лондон) по тексту, присланному автором (прочсть лекцию сам автор возможности не имел). Текст был опубликован в «Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society» (1975. — V. 16. — P. 265; Errata, 1976. — V. 17. — P. 209). Здесь публикуется русский текст лекции, к которому сделано лишь несколько примечаний. Кроме того, помещено «дополнение», представляющее собой конец статьи автора «Астрофизика и новые физические законы», опубликованной в книге «Философские проблемы астрономии XX века» (М.: Наука, 1976. — С. 57). Ранее статья была опубликована в «Вопросах философии» (1972. — N 11. — С. 14). Публиковать здесь эту статью целиком было бы неуместно в связи с тем, что ее содержание близко к содержанию Дарвиновской лекции.

«Законы физики и проблема внеземных цивилизаций». Опубликовано в книге «Проблема СЕТИ» («Связь с внеземными цивилизациями»). — М.: Мир, 1975. — С. 173, представляющей собой Труды Первой советско-американской конференции по проблеме СЕТИ (Бюракан, 5—11 сентября 1971 г.). В английском варианте Трудов (Communication with Extraterrestrial Intelligence / Ed. by C. Sagan. — Cambridge Mass, and London: MIT Press, 1973) текст доклада воспроизведен на основании магнитофонной записи и поэтому отличается от русского текста. Дополнение к докладу было написано для предыдущего издания сборника.

«Широта взглядов и информированность — важные условия успеха в работе». Заметка без дополнения была опубликована в книге «Ленин, наука, молодежь» (М.: Наука, 1980. — С. 165).

«Ответы на вопросы журнала «Изобретатель и рационализатор». Опубликовано в журнале «Изобретатель и рационализатор» (1978. — N 7. — С. 13). Печатается без изменений (на вопросы N 2, 6 и 7 ответы не давались).

«Беседа с корреспондентом журнала «Вестник АН СССР» (1982 г.). Беседу вел А.И. Марголин. Опубликовано в «Вестнике АН СССР» (1982. — N 1. — С. 115). Беседа помещена здесь без изменений.

«Нестареющая физика» (вместо ответа на анкету журнала «Наука и жизнь»). Опубликовано в журнале «Наука и жизнь» (1984. — N 10. — С. 72). Заметка помещена здесь с добавлениями.

«К трехсотлетию «Математических начал натуральной философии» Исаака Ньютона». Опубликовано в «Успехах физических наук» (1987. — Т. 151, N 1. — С. 119), англ. перевод: Sov. Phys. Uspekhi. — 1987. — V. 30. — P. 46. Перепечатывается здесь с весьма небольшими изменениями.

«О научно-популярной литературе и еще кое о чем...». В такой форме и с таким названием статья публикуется впервые. В ее основе лежит, однако, статья «Заметки по поводу...», опубликованная в «Науке и жизни» (1988. — N 6. — С. 114).

«Заметки по поводу юбилея». Опубликовано в «Природе» (1986. — N 10. — С. 80). В настоящем издании восстановлены по тексту рукописи некоторые замечания, которые пришлось при публикации в «Природе» сократить за недостатком места. К настоящему изданию написано также примечание, помещенное в конце статьи.

«Опыт научной автобиографии». Публикуется впервые.

III

«Об Игоре Евгеньевиче Тамме». Статья была напечатана в журнале «Природа» (1975. — N 3. — С. 65) и затем с небольшими изменениями в сборнике «Воспоминания об И.Е. Тамме» (М.: Наука, 1981. — С. ПО; 2-е изд. 1986. — С. 115). В предыдущем издании настоящего сборника в статью внесены незначительные изменения и добавлен один абзац из выступления автора 11 декабря 1980 г. на посвященном И.Е. Тамму вечере в Политехническом музее; это выступление помещено в брошюре «Академик Игорь Евгеньевич Тамм» (М.: Знание, 1982. — Сер. физ. — N 10).

«Один совет Леонида Исааковича Мандельштама». Опубликовано в сборнике «Академик Л.И. Мандельштам. К 100-летию со дня рождения» (М.: Наука, 1979).

«К 90-летию со дня рождения Николая Дмитриевича Папалекси». Заметка была написана в ноябре 1970 г. для стенной газеты Физического института АН СССР им. П.Н. Лебедева (ФИАН).

«О Льве Давидовиче Ландау». Выступление «Замечательный физик» было опубликовано в журнале «Вестник АН СССР» (1980. — N 7. — С. 117), а затем помещено в сборнике «Воспоминания о Л.Д. Ландау» (М.: Наука, 1988. — С. 73). В этом же сборнике впервые было опубликовано и «Дополнение», написанное в 1980 г. Отмечу, что Л.Д. Ландау посвящена также статья: *Ginzburg V.L. Landau's attitude Toward Physics and physicists // Physics Today. — 1989. — V. 42, N 5. — P. 54.*

«Памяти Александра Александровича Андропова». В основу заметки положен текст выступления, состоявшегося 16 ноября 1972 г. на заседании, посвященном памяти А.А. Андропова. Частично заметка была опубликована в многотиражной газете «Горьковский университет» от 8 января 1973 г. Еще ранее была опубликована выдержка из моего выступления на заседании, посвященном 60-летию со дня рождения А.А. Андропова (Известия высших учебных заведений. Радиофизика. — 1961. — Т. 4. — С. 389).

«Об Александре Львовиче Минце». Заметка была опубликована в книге «А.Л. Минц. Избранные труды. Статьи, выступления, воспоминания» (М.: Наука, 1987). Из текста, однако, были выкинуты или изменены отдельные «крамольные» фразы. В настоящем издании публикуется первоначальный текст.

«Памяти Сергея Ивановича Вавилова». Эта заметка (часть доклада) была опубликована в Известиях АН СССР, серия физическая (1982. — Т. 46. — С. 212).

«О Григории Самуиловиче Ландсберге». Заметка написана в 1989 г. для готовящегося сборника статей, посвященного 100-летию со дня рождения Г. С. Ландсберга.

«Памяти Евгения Константиновича Завойского». Заметка основана на тексте беседы со мной, который был опубликован в книге В.К. Завойского «Е.К. Завойский» (Казань: Издательство Казанского университета, 1980). Здесь добавлен лишь последний абзац заметки.

Автор признателен В.К. Завойскому за разрешение воспользоваться текстом разговора с ним.

«О Матвее Самсоновиче Рабиновиче». Заметка написана в 1984 г. для «стенда» (или стенгазеты), установленного на одной из конференций по физике плазмы, где почтили память М.С. Рабиновича.

«Впечатления со стороны (о Мстиславе Всеволодовиче Келдыше)». Заметка написана в конце 1988 г. для сборника статей памяти М.В. Келдыша.

«Об Альберте Эйнштейне». О происхождении этой заметки сказано в ней самой. В основе лежит текст, опубликованный в «Литературной газете» от 14 марта 1979 г.

«Памяти Нильса Бора». Это выступление (доклад) было опубликовано в УФН (1963. — Т. 80. — С. 207). В том же номере УФН были помещены выступления И.Е. Тамма и Е.Л. Фейнберга, состоявшиеся на том же вечере памяти Н. Бора. Текст всех трех выступлений перепечатывался в сборниках: «Развитие современной физики» (М.: Наука, 1964) и «Нильс Бор. Жизнь и творчество» (М.: Наука, 1967). В настоящей книге воспроизведен без изменений текст, опубликованный в УФН.

«О Ричарде Фейнмане — замечательном физике и удивительном человеке». Статья была напечатана в журналах «Природа» (1988. — N 7. — С. 90) и «Наука и жизнь» (1988. — N 7. — С. 137).

«Курс (памяти Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица)». Статья была опубликована в журнале «Наука и жизнь» (1986. — N 3. — С. 86), а также помещена в Приложении к сборнику «Воспоминания о Л.Д. Ландау» (М.: Наука, 1988. — С. 323).

«Об астрофизике высоких энергий (к 80-летию Яна Оорта)». Статья была напечатана в 1980 г. в сборнике «Oort and the Universe» (Dordrecht, Holland: Reidel Publ., 1980. — P. 129). На русском языке статья публикуется впервые, по мотивам, ясным из помещенного в конце статьи примечания.

Научное издание
ГИНЗБУРГ ВИТАЛИЙ ЛАЗАРЕВИЧ

О ФИЗИКЕ И АСТРОФИЗИКЕ

Статьи и выступления
Серия «Наука. Мировоззрение. Жизнь»

Заведующий редакцией *Л. И. Гладнева*
Редактор *Л. П. Русакова*
Младший редактор *В. А. Кузнецова*
Художественный редактор *Г. М. Коровина*
Технический редактор *Л. В. Русская*
Корректоры *М. А. Смирнов, З. Д. Алексеева*
Оформление художника *Н. Н. Симагина*

Формат 60 x 84¹/₁₆

Набор выполнен в издательстве на электронной фотонаборной системе

ИБ № 41409

Сдано в набор 10.09.90. Подписано к печати 12.05.91
Формат 84 x 108¹/₃₂. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Условн. печ. л. 27,72.
Усл. кр.-отт 27,93. Уч.-изд. л. 31.74. Тираж 2440 экз. Тип. зак. 1959.

Издательско-производственное и книготорговое объединение «Наука»
Главная редакция физико-математической литературы
117071, Москва В-71, Ленинский проспект, 15
Отпечатано во 2-й типографии издательства «Наука»
121099, Москва Г-99, Шубинский пер., 6

OCR: Александр Гребеньков, greb@kursknet.ru