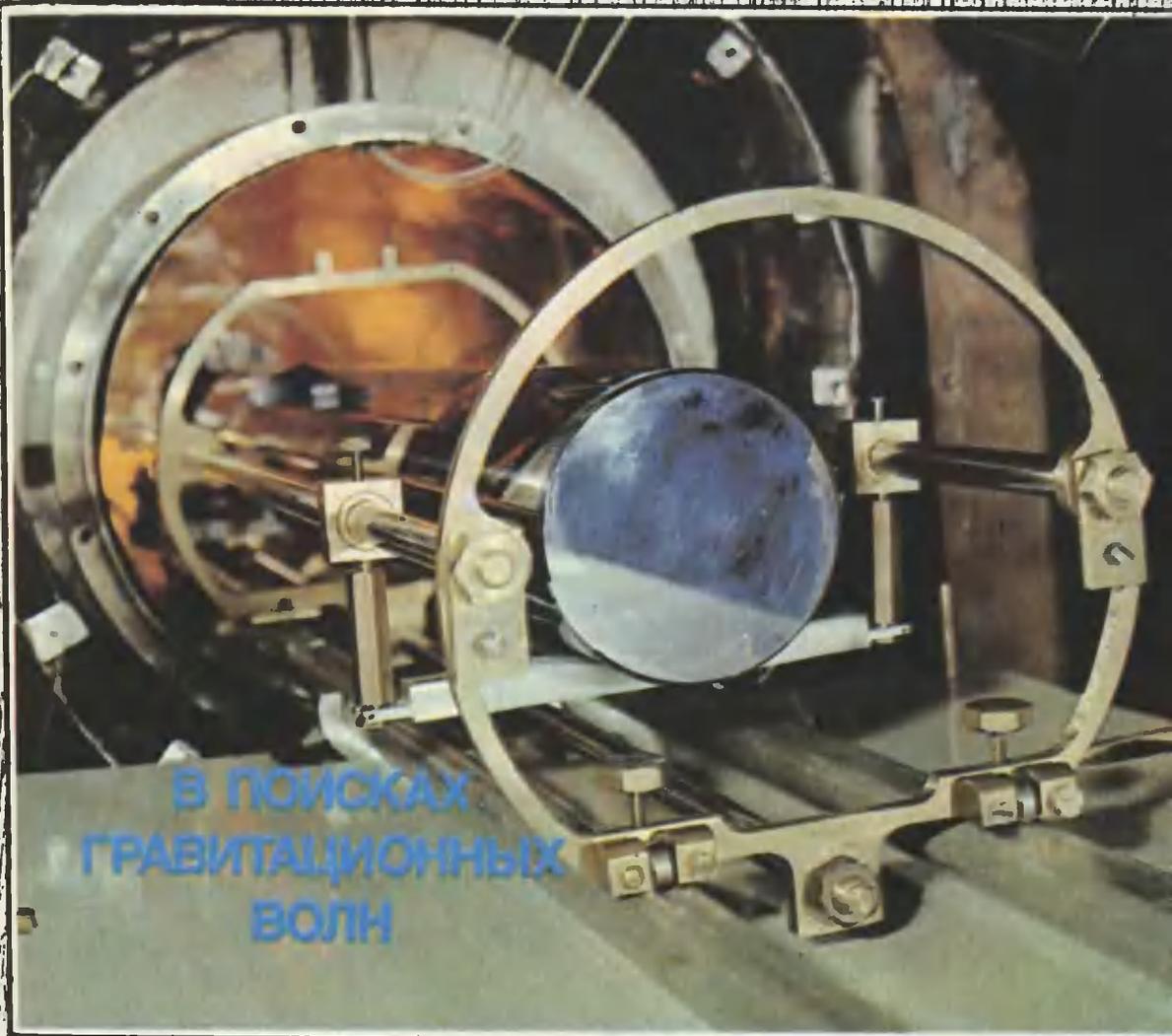


ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР



В ПОИСКАХ
ГРАВИТАЦИОННЫХ
ВОЛН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ
- Кандидат физико-математических наук
А. И. АНТИПОВ
- Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ
- Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО
- Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО
- Академик
В. А. ГОВЫРИН
- Член-корреспондент АН СССР
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ
- Заместитель главного редактора
Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ
- Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН
- Член-корреспондент АН СССР
В. Т. ИВАНОВ
- Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ
- Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА
- Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ
- Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР
- Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ
- Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ
- Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ
- Ответственный секретарь
В. П. ПОЛЫНИН
- Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ
- Заместитель главного редактора
академик
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ
- Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ
- Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ
- Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ
- Академик
В. Е. СОКОЛОВ
- Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ
- Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ
- Заместитель, главного редактора
член-корреспондент АН СССР
Л. П. ФЕОКТИСТОВ
- Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН
- Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУН
- Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» [The Man and the Biosphere]. Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.



© Москва «Наука»
Природа 1987

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Гравитационная антенна веберовского типа в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова. См. в номере: Торн К. В поисках гравитационных волн.

Фото В. В. Фридкиса.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Среднеазиатская кобра (*Naja oxiana*) — одна из самых ядовитых змей отечественной фауны. См. в номере: Бондаренко Д. А. Среднеазиатская кобра в Каршинской степи.

Фото автора.

В номере:

3 Володин А. И. А. И. Герцен в размышлениях о науке. (К 175-летию со дня рождения)

А. И. Герцен понимал науку как исторический процесс, имеющий объективный, внутренне противоречивый характер. Являясь важнейшим социальным инструментом, наука, по его мнению, направлена против схоластики, догматизма, дилетанства и прочих форм духовного рабства. Такие представления отвечают насущным требованиям современной общественной жизни.

15 Дремин И. М. Тянь-Шаньский эффект

В экспериментах по исследованию космических лучей, проводившихся на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции, были обнаружены ливни частиц с необычно большой длиной пробега. Этот эффект объясняется рождением частиц, в состав которых входит тяжелый очарованный кварк.

24 Наумов С. В. Организационно-деятельностные игры

Игра и... научное исследование. Наверное, для многих такой союз покажется неожиданным.

34 В поисках гравитационных волн. Интервью с К. С. Торном

Известный американский астрофизик К. Торн, находясь в Советском Союзе, дал интервью корреспондентам «Природы», в котором высказал свою точку зрения о перспективах развития гравитационно-волновой астрономии, которая, по его мнению, должна сыграть революционную роль в развитии наших представлений о Вселенной.

КРАСНАЯ КНИГА

46 Бондаренко Д. А. Среднеазиатская кобра в Каршинской степи

Эта змея не только сохранилась на пустынных землях, но и приспособилась к жизни в антропогенном ландшафте — зоне орошения.

48 Солоненко В. П. Магистраль среди живых гор

По сложности инженерно-геологических и сейсмических условий Байкало-Амурская магистраль не имеет равных в мировой практике железнодорожного строительства.

58 Шер А. В. Происхождение большой панды

Кто же большая панда — странный медведь или странный енот? Спор об этом идет почти 100 лет, но не решен и донныне.

65 Цигельницкий И. И. Полярная дымка

Страсти вокруг этой полупрозрачной пелены разгорелись в последние десятилетия, когда заговорили о ее антропогенном, т. е. вызванном хозяйственной деятельностью человека, происхождении.

68 Серов Г. Д. Четыре года со стрижами

Птицы поселились на балконе. Для равнодушного человека они могут оказаться нежелательными соседями, а для истинного любителя природы — источником интереснейших наблюдений.

74 Муравьев С. Н. Уровень Каспия глазами древних греков

Новое прочтение ряда античных географических текстов в совокупности с археологическими данными свидетельствует о том, что на рубеже IV и III вв. до н. э. уровень Каспийского моря был значительно выше нынешнего.

85 Андрианов И. В., Маневич Л. И. Две ипостаси асимптотики

Асимптотический подход — не только приближенный метод решения сложных математических задач. Он играет и фундаментальную роль в развитии наших представлений о природе, устанавливая связь между различными физическими теориями.

ЗАМЕТКИ, НАБЛЮДЕНИЯ

98 Сребродольский Б. И. Голубой, или солнечный, коралл (98) Несис К. Н. Гребневик обкрадывает медузу (99)

101 Запуски космических аппаратов в СССР (ноябрь — декабрь 1986 г.) (101) • Скрытая масса в галактиках (101) • Магнитное гало Галактики (102) • Имеет ли звезда Бета планетную систему? (102) • Еще один шаг к управляемому термоядерному синтезу (103) • Дизлектрик становится металлом под давлением (103) • Квантово-интерференционный транзистор (104) • Втягивание паров натрия в лазерный луч (104) • Получение сильных магнитных полей с помощью CO₂-лазера (105) • Первый опыт ЯМР-микроскопии (105) • Япония: техника магнитной записи (106) • Термовидение нервной ткани (106) • Как ретровирус HIV убивает Т-лимфоциты (107) • Генно-инженерный β-интерферон (107) • Один ген — два фермента (107) • Как эстрадиол снижает уровень холестерина (108) • Циклические аналоги ангиотензина понижают давление (108) • Зачем нужны белки теплового шока (109) • Родственник иммуноглобулинов способствует взаимодействию клеток (109) • Новая вакцина против гепатита В (109) • Экспериментально доказана взаимосвязь иммунной и эндокринной систем (110) • Частота мутаций ретровируса (110) • Стратегии запоминания (110) • Адаптивное поведение птиц острова Врангеля (111) • Как муравьи охлаждают гнездо (111) • Птица, имитирующая змею (112) • Улитка приспосабливается к загрязнению (112) • Сверхглубокое бурение в США (113) • Разлом Зеленого Мыса в Центральной Атлантике (113) • Откуда землетрясения в малосейсмичной зоне? (114) • Трагедия в Камеруне (115) • Вклад в палеонтологию Австралии (117)

118 Манин Ю. И. «Это — любовь» (на кн.: Park C. C. The First Eight Years of an Autistic Child. With an Epilogue, Fifteen Years After) (118) Леонсон И. А., Лисичкин Г. В. История русских химических школ (на кн.: Соловьев Ю. И. История химии в России) (121)

НОВЫЕ КНИГИ

122 Новиков И. Д., Фролов В. Л. Физика черных дыр (122) • Атомы в астрофизике (123) • Кустанович С. Д. Жарптица из «Красной книги». (Обыкновенный фламинго) (123) • Баландин Р. К. Ледяные исполины. История рождения, жизни и гибели великих ледников (123) • Хекхаузен Х. Мотивация и деятельность (124) • Проблемы гуманитарного познания (124) • Философия и социология науки и техники. Ежегодник 1984—1985 (124)

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

125 Смагин Г. И. М. Е. Головин — ученик и помощник Л. Эйлера

Научные редакторы:

И. Н. АРУТЮНЯН,
О. О. АСТАХОВА,
Л. П. БЕЛЯНОВА,
А. В. ДЕГТЯРЕВ,
М. Ю. ЗУБРЕВА,
Г. В. КОРОТКЕВИЧ,
В. В. МАЙКОВ,
Л. Д. МАИОРОВА,
Н. Д. МОРОЗОВА,
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературные редакторы:

Н. Б. ГОРЕЛОВА,
И. В. ДМИТРИЕВА,
Г. И. ПАНКОВА

Художник

С. И. МИРОНЕНКО

Художественные редакторы:

Л. М. БОЯРСКАЯ,
Д. И. СКЛЯР

Зав. редакцией
О. В. ВОЛОШИНА

В номере использованы фотографии:

Д. А. БОНДАРЕНКО,
Б. А. КУВШИНОВА,
Р. А. КУРУШИНА,
Е. Г. ЛЮБИНСКОГО,
Г. Д. СЕРОВА,
В. П. СОЛОНЕНКО,
В. В. ФРИДКЕСА,
С. Д. ХИЛЬКО

В художественном оформлении номера принимали участие:

В. С. КРЫЛОВА,
Б. И. КУЗЬМИН,
Е. К. ТЕНЧУРИНА,
Л. А. УРМАЕВА

Корректоры:

О. Н. БОГАЧЕВА,
Т. Д. МИРЛИС

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 06.02.87

Подписано к печати 18.03.87

Т—08924

Формат 70×100^{1/16}

Офсет

Усл.-печ. л. 10,32

Усл. кр.-отг. 1472,4 тыс.

Уч.-изд. л. 15,1

Бум. л. 4

Тираж 55 000 экз.

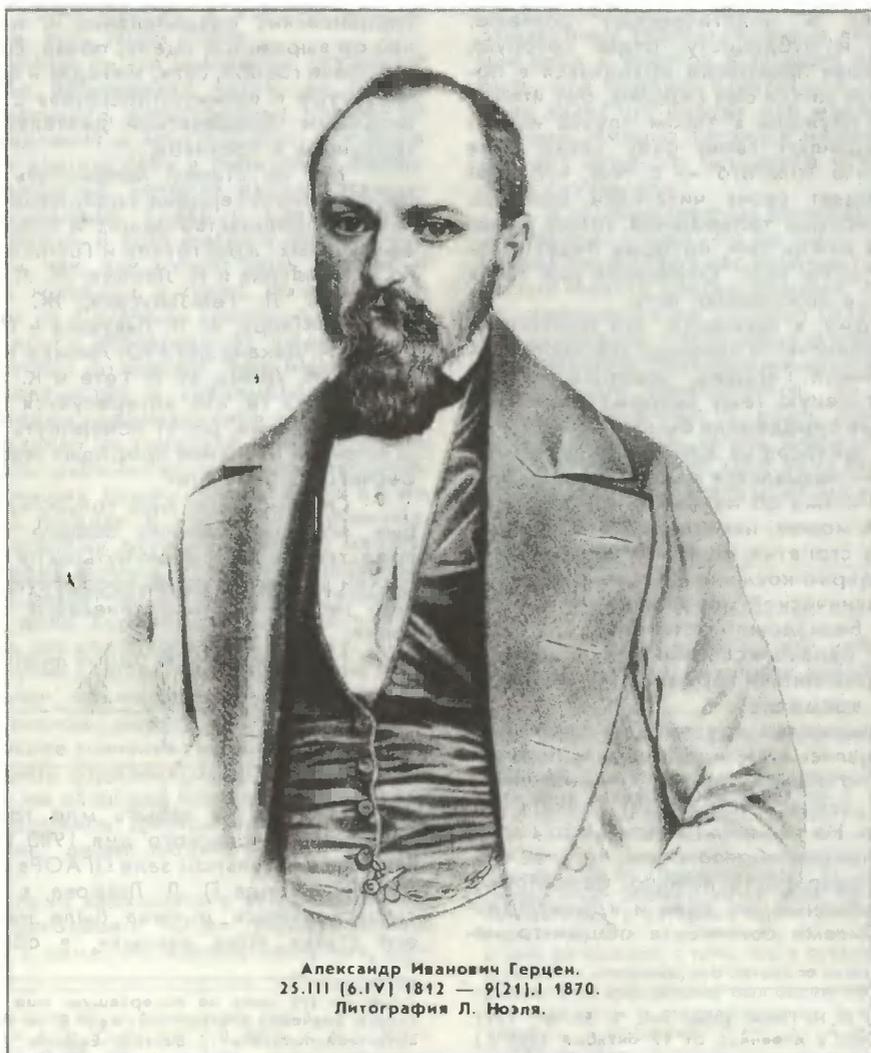
Зак. 394

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат
ВО «Союзполиграфпром»
Государственного
комитета СССР
по делам издательства,
полиграфии
и книжной торговли.
142300 г. Чехов
Московской области

А. И. ГЕРЦЕН В РАЗМЫШЛЕНИЯХ О НАУКЕ

К 175-летию со дня рождения

А.И.ВОЛОДИН





Александр Иванович Володин, доктор философских наук, профессор Академии общественных наук при ЦК КПСС. В 1956 г. окончил философский факультет Московского университета. Научной деятельностью занимается с 1958 г. Основная область исследований — история русской общественной мысли XIX — начала XX вв. Автор книг: *Начало социалистической мысли в России*. М., 1966; *Герцен*. М., 1970; *Гегель и русская социалистическая мысль XIX века*. М., 1973; *Утопия и история*. М., 1976; *«Анти-Дюринг» Ф. Энгельса и общественная мысль России XIX века*. М., 1978; *Лавров (в соавторстве с Б. С. Итенбергом)*. М., 1981; *«Бой абсолютной неизбежен»*. Историко-философские очерки о книге В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм». 2-е изд. М., 1985 и др.

МЫ ОТМЕЧАЕМ 175 лет со дня рождения Александра Ивановича Герцена... Что, собственно, означает данный факт? Не формальная ли это дань почтения мыслителю и политическому деятелю, писателю и публицисту, отдав которую, можно снова прекрасно обходиться в повседневной жизни без Герцена, без чтения Герцена? Неужели в таком случае еще и ныне сохраняют свою силу слова Льва Николаевича Толстого — о том, что Герцен «ожидает своих читателей впереди. И над головами теперешней толпы передает свои мысли тем, которые будут в состоянии понять их»?¹ Основания для таких вопросов, к сожалению, есть.

Потому, в частности, что пылятся на полках библиотек и книжных магазинов тома сочинений Герцена, содержащие его статьи, основную тему которых современные ученые определили бы несколько высокопарно: философия науки. «Дилетантизм в науке» — называется один из циклов этих статей. «Письма об изучении природы» — другой. А может, написанные в 40-х годах прошлого столетия, они, эти сочинения, — в наш ядерно-космический век, в эпоху научно-технической революции — просто-напросто безнадежно устарели?

Как, однако, воспринимали и понимали их современники Герцена, читатели того далекого времени?

Большинство друзей-приятелей автора восхищались ими; идейные и личные недруги — по общему правилу — гневались: мудрено, схоластикой отдает, понять невозможно. Но заметим: и друзья-то восхищались главным образом тем, что, так сказать, на поверхности лежало, бросалось в глаза; глубинные же идеи и «Дилетантизма» и «Писем» остались в общем-то не-

понятыми — либо истолкованными превратно.

И только время — исподволь, но все зримее — обнаруживает жизненность герценовских размышлений о науке, ее, как он выразился, «цели, праве, средстве», ее, иначе говоря, сути, методах и функциях, структуре и взаимоотношениях с другими формами человеческой деятельности, ее грядущем и прошлом...

Мы не станем напоминать здесь о рассуждениях Герцена, содержащих оценки многих предшествовавших и современных ему ученых: Аристотеля и Плиния Старшего, И. Ньютона и К. Линнея, Ж. Л. Бюффона и Ж. Л. Гей-Люссака, Ж. Кювье и Ж. Сент-Илера, А. Л. Лавуазье и Ф. В. Распайля, А. Декандоля и Ю. Либиха, К. Ф. Бурдаха и Ж. Дюма, И. В. Гете и К. Ф. Рулье и др., хотя те, кто интересуется историей естествознания, могут почерпнуть у автора «Писем об изучении природы» много интересного на этот счет².

Обратим внимание только на некоторые его соображения общего порядка, представляющие собою чуть ли не первую в России развернутую философскую концепцию науки, ее теоретического самосознания.

Но сначала — об одной личной удаче.

1

Никогда не забыть мне того ярко-солнечного июньского дня 1980 г., когда, выписав в читальном зале ЦГАОРа архивное дело из фонда П. Л. Лаврова, в котором согласно описи должна была находиться его статья «Цех ученых», я обнаружил,

¹ Толстой Л. Н. Полн. собр. соч. Т. 55. М., 1937. С. 165 (запись в дневнике от 12 октября 1905 г.).

² См. на эту тему не потерявшую еще и сегодня своего значения статью: Вагнер В. А. Герцен как естествоиспытатель // Вестник Европы. 1914. № 3.

что под этим названием там хранился неизвестный ранее автограф Герцена. Это была черновая редакция статьи, напечатанной в пятой книге журнала «Отечественные записки» за 1843 г. под заголовком «Дилетанты и цех ученых» и представлявшей собою третью статью цикла «Дилетантизм в науке». Было очень интересно сравнивать рукопись с журнальным текстом, выяснять, какие новые положения появились в окончательном варианте, а какие — по различным, отчасти неясным нам причинам — были опущены автором и в печатный текст не попали. Вскоре этот автограф Герцена будет полностью напечатан в одном из томов «Литературного наследства». А пока — только один отрывок из него.

В тексте статьи «Дилетанты и цех ученых», опубликованных в «Отечественных записках», есть такие слова:

«Ученые — это чиновники, служащие идее, это бюрократия науки, ее писцы, стенографы, регистраторы. Чиновники не принадлежат к аристократии, и ученые не могут считать себя в передовой фаланге человечества, которая первая освещается восходящей идеей и первая побивается грозой. В этой фаланге может быть и ученый, так, как может быть и воин, и артист, и женщина, и купец. Но они... принадлежат не к ученому сословию, а просто к тому кругу образованных людей, который развился до живого уразумения понятия человечества и современности... Но предупредим недоразумение — эта аристократия далеко не замкнута: она, как Фивы, имеет сто широких врат, вечно открытых, вечно зовущих. Каждый может войти и в ворота, но труднее в них пройти ученому, нежели всякому другому. Ученому мешает его диплом: диплом — чрезвычайное препятствие развитию; диплом свидетельствует, что дело конечно, *consummatum est*³; носитель его совершил в себе науку, знает ее... Получив диплом, человек в самом деле воображает, что он знает науку, в то время когда диплом имеет, собственно, одно гражданское значение: но носитель его чувствует себя отделенным от рода человеческого: он на людей без диплома смотрит как на профанов. Диплом, точно иудейское обрезание, делит людей на два человечества»⁴.

Можно восхищаться этими словами, можно негодовать по их поводу, можно спорить с ними. Но всякий, наверно, сог-

ласится: то, о чем писал Герцен, отражает реальную проблему дня нынешнего. Однако мы привели эти слова не только с той целью, чтобы современный читатель мог поразмыслить над ними, а и для того тоже, чтобы познакомить его со следующими за ними рассуждениями Герцена, не попавшими в печатный текст. Вот они:

«Почему никто не берет диплом в красоте, в уме — потому что одного взгляда и одного слова достаточно, чтоб без всяких *pièces justificatives*⁵ понять, кто красив и кто нет... Диплом по большей части свидетельствует, что какой-то глупорожденный... и знает по-латыни, да еще кое-что. Что касается до первого, можно рассудить без диплома, что касается второго — никому дела нет до этого. Диплом дается по экзамену — экзамен имеет такое же отношение к знанию человека, как погружение руки в кипяток к правоте его: может быть, что хорошо ответивший и в самом деле знает что-нибудь или мававший руку невинен. Именно потому и может быть это, что нет никакого истинного отношения, а одно случайное»⁶.

В «Отечественных записках» эти слова напечатаны почему-то не были. Но они не только понуждают нас вспомнить о студенческой юности самого Герцена, о процедуре сдававшихся им 22 июня 1833 г. выпускных экзаменов и получения звания кандидата отделения физико-математических наук Московского университета⁷, но и органически включаются в наши современные дискуссии о том, сколь формальными по отношению к самой сути дела являются зачастую защиты всякого рода дипломов, диссертаций и т. п.

2

Настаивая на том, что непременно условием принадлежности ученого к пере-

⁵ Les pièces justificatives — оправдательные документы (франц.).

⁶ ЦГАОР (Центральный государственный архив Октябрьской революции), ф. 1762, оп. 2, д. 417, л. 11.

⁷ По окончании курса Герцен представил кандидатское сочинение «Аналитическое изложение солнечной системы Коперника», выполнившееся у профессора Д. М. Перевощикова. 24 июня 1833 г. Герцен писал Огареву: «Итак, день, которого я ждал четыре года, к которому приготавлился 4 месяца, настал: 22 был наш экзамен. И знаешь ли, друг, с чего он начался: с того, что я срезался у Перевощикова по механике, это потрясло сильно мое честолюбие, я на другой день был болен; но во всех прочих предметах я отвечал хорошо, в некоторых отлично, и я кандидат» (Герцен А. И. Собр. соч. Т. XXI. С. 13).

³ Consummatum est — свершилось (лат.).

⁴ Герцен А. И. Собр. соч.: В 30-ти т. М., 1954—1965. Т. III. С. 57—58.

довой фаланге является живое уразумение им понятия человечества и современности, Герцен продолжал далее в статье: «Юноша, получивший диплом, или принимает его за акт освобождения от школы, за подорожную в жизнь,— и тогда диплом не сделает ни вреда, ни пользы⁸, или он в гордом сознании отделяется от людей и принимает диплом за право гражданства в республике litterarum⁹, и идет подвизаться на схоластическом форуме ее. Республика ученых — худшая республика из всех когда-нибудь бывших...»¹⁰

Выступая против «республики», «касты», «цеха», «сословия» ученых — «ученых по званию, по диплому, по чувству собственного достоинства», — Герцен считает, что одним из отличительнейших качеств их является бегство от «живых вопросов», потеря чувства «общественности». «Главнейший недостаток этой касты состоит в том, что она каста; второй недостаток — специализм, в котором обыкновенно затеряны ученые. (...) Педантизм, распадение с жизнью, ничтожные занятия... искусственные построения, неприлагаемые теории, неведение практики и надменное самодовольство — вот условия, под которыми развилось бледнолистое дерево цеховой учености»¹¹.

Считая кастовость в науке явлением, естественным для средневековья и — потому — исторически оправданным, Герцен был убежден, что оно уже изжило себя, что «время аристократии знания миновало». И хотя в стремлении сохранить монополию «ревнивая каста хочет удерживать свет за собою, окружает науку лесом схоластики, варварской терминологии, тяжелым и отталкивающим языком... современная наука... будто забывая свое достоинство, хочет с своего трона сойти в жизнь. Ученым ее не удерживать...»¹²

Но не только проблему «цеховой учености», остающуюся актуальной и поныне (хотя и выступающую иногда под другими названиями), обсуждал Герцен в «Дилетантизме». Задуманное и осуществлен-

ное как «пропедевтическое слово желающим приняться за философию» (в то время Герцен предельно сближал философию с «истинной наукой»), данное произведение, если даже и отвлечется от той роли, которую оно сыграло непосредственно в момент своего появления, и сегодня еще может служить образцом яркой полемики также и с другими формами превращенного научного знания, видами псевдо- и квазиучености.

Герцен положил начало острому анализу околонучного дилетантизма — тех «праздношатающихся в сенях храма науки» деятелей, которым органически чуждо самоотверженное стремление к истине; другое их занимает в конечном счете: приспособление науки к своим индивидуальным склонностям, личным убеждениям и предрассудкам. Приступая к науке, дилетанты «ищут вне науки аршина, на который мерить ее», и никак не могут постигнуть «высокое объективное достоинство» науки. Герцен же убежден: «Наука имеет свою автономию и свой генезис; свободная, она не зависит от авторитетов; освобождающая, она не подчиняет авторитетам»¹³.

В сущности дилетантами являются, по Герцену, и романтики: не желая считаться с прогрессом знания, они самозабвенно отстаивают то, что когда-то было завоевано трудом человеческого духа, но теперь не соответствует новым открытиям и запросам науки. Мы сейчас отвлекаемся от того конкретно-исторического содержания, которое вкладывал Герцен в понятие «романтизм» в начале 40-х годов XIX в. Важнее та позиция, с которой Герцен ведет его критику: «...мертвецы вполне заслужили тризны и мавзолеи — они оставили нам богатое наследия, которые стязали на кровавом поте, страданиях, тяжком труде, — но бороться за них бесцельно. Нет в мире неблагодарнее занятия, как сражаться за покойников: завоевывают трон, забывая, что некого посадить на него, потому что царь умер»¹⁴.

Еще одной разновидностью лжедрузей науки являются формалисты — Герцен называет их талмудистами, мухаммедянами, «буддистами в науке». Это убежденные попы науки, возводящие ее отдельные положения в догмат и зная не желающие реальной действительности; согласно формалистам, не наука существует для человека, а жизнь — для подтверждения ее догм. «Буддисты науки, так или сяк под-

⁸ Ср. со словами из письма Герцена Н. А. Захарьиной от 26 июня 1833 г.: «Экзамен кончился, и я кандидат!... Теперь я отдал сам себе и теперь только начну свое образование, ибо хотя я и кончил курс, но собрал так мало, что стыдно на людей смотреть» (Герцен А. И. Собр. соч. Т. XXI. С. 15). О своих планах приступить «к своему образованию» после окончания университета Герцен подробно писал Огареву 5 июля 1833 г. (см. там же, с. 17).

⁹ Littera — здесь: наука (лат.).

¹⁰ Герцен А. И. Собр. соч. Т. III. С. 58.

¹¹ Там же. С. 47, 49.

¹² Там же. С. 48.

¹³ Там же. С. 21.

¹⁴ Там же. С. 25.

нявшись в сферу всеобщего, из нее не выходят. Их калачом не заманишь в мир действительности и жизни. <...> Для них знание заплатило за жизнь, и им ее больше не нужно: они узнали, что наука — цель самой себе, и вообразили, что наука — исключительная цель человека»¹⁵.

3

По Герцену же, наука, доделав кое-что в своей сфере, должна быть ринута в жизнь. Только сделавшись доступной людям, она «может потребовать голоса» во всех их делах. Однако отнюдь не сами ученые, а «одни люди жизни могут внедрить ее в жизнь»¹⁶.

«Люди жизни», «образованные люди», «практические мыслители»... Герцен напряженно ищет понятия для обозначения тех, кто осуществляет демократизацию знания, делает науку, культуру достоянием масс, превращает теорию в практику. «Ученые трудятся, пишут только для ученых; для общества, для масс пишут образованные люди; большая часть писателей, произведших огромное влияние, потрясавших, двигавших массы, не принадлежат к ученым — Байрон, Вальтер Скотт, Вольтер, Руссо. Если же из среды ученых какой-нибудь гигант пробьется и вырвется в жизнь, они отрекаются от него, как от блудного сына, как от ренегата. Копернику не могли простить гениальность, над Колумбом смеялись, Гегеля обвиняли в невежестве»¹⁷.

Вообще проблема сопряженности, единства науки и жизни, перехода теории в практику и обратно чрезвычайно занимала Герцена. То, что на эту тему в весьма абстрактной форме было сформулировано в «Дилетантизме», наполнилось конкретным материалом в «Письмах об изучении природы». Там Герцен, к примеру, так писал об «оклеветанных и непонятых софистах»: «Что за роскошь в их диалектике! что за беспощадность! что за развязность! какая симпатия со всем человеческим! <...> Они популярны, ринуты в жизнь, не чужды всех вопросов площади и науки; они ораторы, политические люди, народные учителя, метафизики; их ум был гибок и ловок, их язык неустрашим и дерзок. Оттого смело и открыто высказали они то,

что греки тайком делали в практической жизни, тайком даже от себя, боясь исследовать, хорошо или нет так поступать. <...> Они смело направили свою мысль против всего существовавшего и все подвергли разбору; ими наука с той высоты, на которую достигла, оборотилась вдруг назад ко всей ходячей сумме истин, принимаемых и передаваемых общественным мнением. <...> Ими наука открыто перешла в жизнь...»¹⁸

Та же проблема рассматривалась Герценом и при характеристике французских энциклопедистов XVIII в. Он далеко не все принимает в их воззрениях. Но ему безмерно импонирует гражданственность этих мыслителей, их смелость в применении теоретических положений к жизни — «и в истории они недаром остались представителями науки XVIII столетия»¹⁹. Историческое значение Гельвеция и его единомышленников Герцен усматривает в том, что они решились сказать обществу «то, о чем другие молчат», а это — «несравненно труднее, нежели сказать то, о чем другим в голову не приходило. <...> Люди тогда начинают иметь секреты, когда нравственный быт их распадается; они боятся заметить это падение и судорожною рукою держатся за формы, утратив сущность; изношенным рубищем прикрывают они раны, как будто раны заживут от того, что их не видать. <...> Гласность и обобщение — злейшие враги безнравственности. <...> Философы XVIII столетия раскрыли двоедушие и лицемерие современного им мира; они указали ложь в жизни, противоречие официальной морали с частным поведением»²⁰. В качестве особой заслуги энциклопедистов Герцен отмечает общедоступность их языка.

В проповеди идеи демократизации знаний, в полемике с представлением об элитарном, эзотерическом характере науки Герцен — как бы странно ни казалось это нам на первый взгляд — нашел опору в произведениях Гегеля. Последний писал в «Феноменологии духа» (тщательно проштудированной Герценом к началу 1842 г.), что любой индивид «имеет право требовать, чтобы наука подставила ему лестницу», по которой он мог бы добраться к знанию²¹. Однако наука пока еще не приобрела вполне развитой формы и потому «лишена общепонятности и кажется нахо-

¹⁸ Там же. С. 163—166.

¹⁹ Там же. С. 309.

²⁰ Там же. С. 311—312.

²¹ Гегель Г. Соч. Т. IV. М., 1959. С. 13.

¹⁵ Там же. С. 69—70.

¹⁶ Там же. С. 44.

¹⁷ Там же. С. 54.

дющейся в эзотерическом владении нескольких лиц. <...> Лишь то, что вполне определено, есть в то же время эзотерическое, понятное и годное для того, чтобы быть изученным и стать достоянием каждого. <...> Наука, которая находится только на начальной стадии и, следовательно, еще не достигла ни полноты деталей, ни совершенства формы, подвергается за это порицанию. Но если это порицание относится к сущности науки, то оно было бы столь же несправедливо, сколь недопустимо желание отказаться от требования упомянутого развития. Эта противоположность и есть, по-видимому, **самый главный узел, над развязыванием которого в настоящее время бьется научное образование...**²²

Развязыванием этого узла занимается и Герцен в «Дилетантизме». Причем, по сравнению с Гегелем, он решает проблему популяризации науки, ее связи с обыденным сознанием гораздо более решительно и радикально. Под пером Герцена принцип экзотеричности научного знания развертывается в конечном счете в целую программу революционного просвещения.

Герцен полагает, что главной преградой на пути науки к массам и масс к науке является не трудность ее и даже не интеллектуальная неразвитость масс, а та социальная среда, которая окружает и представляет науку. «Луч науки, чтоб достигнуть обыкновенных людей, должен пройти сквозь такие густые туманы и болотистые испарения, что достигает их подкрашенный, не похожий на себя,— а по нем-то и судят. Первый шаг к освобождению науки есть сознание препятствий, обличение ложных друзей, воображающих, что ее доселе можно пленять схоластическим свивальником и что она, живая, будет лежать, как египетская мумия. Туманная среда, окружающая науку, вся наполнена ее друзьями, но эти друзья ее опаснейшие враги... Они заслужили все нарекания, все упреки, даваемые науке»²³.

Истинное освобождение человечества, осуществление социализма, совпадает в сущности, согласно Герцену, с процессом овладения наукой массами, всем человечеством, провозглашая конец монополии ученых на знание, он заявляет: «Современная наука начинает входить в ту пору зрелости, в которой обнаружение, отдавание себя всем становится потребностью. Ей скучно и тесно в аудиториях и конференц-залах; она рвет-

ся на волю, она хочет иметь действительный голос в действительных областях жизни. Несмотря на такое направление, наука остается при одном желании и не может войти живым элементом в стремительный поток практических сфер, пока она в руках касты ученых.<...> Для масс наука должна родиться не ребенком, а в полном вооружении, как Паллада.<...> Но люди смотрят доселе на науку с недоверием, и недоверие это прекрасно; верное, но темное чувство убеждает их, что в ней должно быть разрешение величайших вопросов, а между тем перед их глазами ученые, по большей части, занимаются мелочами, пустыми диспутами, вопросами, лишёнными жизни, и отворачиваются от общечеловеческих интересов...»²⁴

4

Не берясь исчерпывающим образом определить истоки герценовского понимания науки, перечислю хотя бы некоторые из его «составных частей».

Это, во-первых, воспринятое главным образом из сен-симонизма и фурьеризма представление о науке как важнейшем инструменте социального преобразования.

Это, во-вторых, гегелевская трактовка науки, познания, истины как исторического процесса, имеющего объективный, внутренне противоречивый характер.

Это, в-третьих, положения Фейербаха о принципиальной противоположности разума и религиозной веры, о научном познании как одном из основных видов «родовой» деятельности человека.

Это, наконец, факты и выводы самих конкретных наук — как естественных (внимание Герцена привлекали такие отрасли знания, как геология, сравнительная анатомия, органическая химия, палеонтология и др.), так и общественных (известно, к примеру, сколь хорошо знал Герцен литературу по истории).

Критически переосмысленные, спаянные воедино, эти факты, представления, идеи сложились в более или менее цельную концепцию, нашедшую свою наиболее обстоятельную разработку в «Письмах об изучении природы», созданных в 1844—1845 гг.

Значение этого уникального в истории философии произведения определяется со-

²² Там же. С. 6—7. Подчеркнуто мною.— А. В.

²³ Герцен А. И. Собр. соч. Т. III. С. 45.

²⁴ Там же. С. 44—45.

поставимостью и даже, не побоюсь сказать, созвучностью его замысла, а отчасти — и идейного содержания с замыслом и содержанием «Диалектики природы» Ф. Энгельса.

Главная идея «Писем»: наука (имеется в виду совокупность естественных наук) не сможет вполне преодолеть тенденций к агностицизму, пока не овладеет диалектическим методом познания, разработанным подробно, хотя и на идеалистической основе, Гегелем.

Герцена очень волновала «мыслелюбовь» современных ему натуралистов. Ибо как нет науки без эмпирии, так нет ее и в плоском, слепом эмпиризме. По убеждению Герцена, естествоиспытателям «мешает более всего робкое и бессознательное употребление логических форм... Их мнимый эмпиризм все же приводит к мышлению, но к мышлению, в котором метода произвольна и лична. Странное дело! — замечает Герцен. — Каждый физиолог очень хорошо знает важность формы и ее развития... и ни одному не пришло в голову, что метода в науке вовсе не есть дело личного вкуса или какого-нибудь внешнего удобства, что она... есть самое развитие содержания, эмбриология истины, если хотите»²⁵. По Герцену, «опыт есть хронологически первое в деле знания, но он имеет свои пределы, далее которых он или сбивается с дороги, или переходит в умозрение»²⁶.

Скоро полтора века минет с тех пор, как Герцен выступил с горячей, обращенной к естествоиспытателям проповедью не бояться «спекуляции», т. е. диалектической логики, ибо для осмысления опыта иных категорий, кроме категорий диалектического мышления, просто-напросто нет. Однако и сегодня еще не редкость ученые, предпочитающие «хитрой» диалектике простенький позитивизм. И сегодня еще не редкость непонимание того, что, поскольку противоречие есть источник развития, постольку и всякая теория, всякая наука, отражающая процессы развития, должна иметь диалектически (разумеется, не формально-логически) противоречивый характер. Не может не иметь его. В противном случае она еще не достигла своей зрелости. И вследствие такого непонимания, вероятно, и остаются неуслышанными слова Герцена: «Истину как единство одно-сторонностей, как снятие противоречия не любят умы, хвастающиеся ясностью. Конеч-

но, одно-сторонность проще: чем беднейшую сторону предмета мы возьмем, тем она очевиднее, яснее и вместе с тем нужнее и бесполезнее; что может быть очевиднее формулы $A=A$, и что может быть пошлее? (...) Принимать ту или другую сторону в антиномиях совершенно ни на чем не основано; природа на каждом шагу учит нас понимать противоположное в сочетании; разве у ней бесконечное отделено от конечного, вечное от временного, единство от разнообразия? Строгое требование «того или другого» очень похоже на требование «кошелек или жизнь»! Храбрый человек смело ответит: «Ни того, ни другого, потому что нет необходимости для вашего каприза жертвовать тем или другим»²⁷.

По определению Герцена, «истина состоит в единстве одно-сторонностей, не исчерпывающих ее враз, необходимых друг для друга»²⁸. При очевидном терминологическом несовершенстве этой формулы, существо ее, а именно — диалектическое понимание истины как единства «антиномий», как «сочетания» противоположного, вплотную приближает нас к марксистско-ленинской трактовке диалектики как учения о единстве противоположностей, как изучения противоречия в самой сущности предметов.

5

Станный, на первый взгляд, факт: имевшие непосредственной задачей анализ «главных вопросов современной науки», характеристику «современного состояния мысли», «Письма об изучении природы» оказались на деле письмами вовсе не об изучении природы, что было сразу же отмечено В. Г. Белинским, а по большей части очерком исторического развития науки как противоречивого (зачастую — антагонистического) взаимоотношения эмпирического и теоретического, даже очерком истории философии, рассматриваемой в ее отношении к развитию науки и жизни.

Как оценить этот факт? Как неудачу, обнаружившую недостаточность герценовской осведомленности в проблеме современной ему науки? Как логичное следствие того, что в его «философии науки» обнаружились тупики и противоречия, разрешить которые ему оказалось не под силу?

²⁵ Там же С. 96.

²⁶ Там же. С. 97—98.

²⁷ Там же. С. 160—161.

²⁸ Там же. С. 186.

Не станем отрицать резонности этих вопросов. Несмотря на колоссальную эрудицию Герцена, задача, которую он было перед собой поставил, оказалась — это обнаружилось им самим, причем довольно рано — все же не вполне выполнимой. Отсюда и честное признание: «...принимаясь писать к вам, я не сообразил всей трудности вопроса, всей бедности сил и знаний, всей ответственности приняться за него. Начав, я увидел ясно, что не в состоянии выполнить задуманного; однако не бросаю пера. Если я не могу сделать то, что хотел,— буду доволен тем, если сумею возбудить любопытство узнать ясно и в связи то, о чем расскажу рапсодически и бедно»²⁹. Мы недаром сказали выше, что герценовская концепция науки имела всего лишь «более или менее» цельный характер,— да, Герцену не удалось последовательно научно-материалистически разрешить все те противоречия, которые он обнаружил в современной ему философии, а также между философией и естествознанием; об этом свидетельствует, между прочим, «непереваренная» до конца «гегельянщина», отличающая терминологически-понятийный строй некоторых из «Писем».

Все это так — мы вовсе не собираемся заниматься апологетикой герценовских взглядов. Но вот какое дело: автор «Писем» — по ходу изложения — намеренно, сознательно переходит от теоретического освещения проблемы к историческому. И достаточно ясно сам — не раз — формулирует основания для такого перехода: «В сущности все равно, рассказать ли логический процесс самопознания или исторический. Мы изберем последний. Строгий, светлый, примиренный с собою шаг логики менее сочувствующ с нами; история — вдохновенная борьба... Логика разумнее, история — человечественнее. Ничего не может быть ошибочнее, как отбрасывать прошедшее, служившее для достижения настоящего, будто это развитие — внешняя подмостка, лишенная всякого внутреннего достоинства... Итак, для того, чтоб понять современное состояние мысли, вернейший путь — вспомнить, как человечество дошло до него, вспомнить всю морфологию мышления...»³⁰

Попробуем вчитаться в эти строки, держа в уме насущные проблемы современной науки.

Из слов Герцена следует: историзм

есть непрременный аспект научного исследования; формулы науки в конце концов «снимают» предшествовавшую им борьбу различных точек зрения. Но ведь за каждой из них — своя правда. Анализ истории науки является поэтому школой диалектического мышления. Если же всерьез задаваться целью это мышление развивать (скажем, у студентов), то без соответствующим образом написанной истории той или иной науки не обойтись. Это — во-первых.

Во-вторых. Именно и только история обнаруживает социально-этический смысл в борьбе науки. Формулы, скажем, математики или физики не содержат ни грана этики, но путь к ним насыщен борьбой страстей, столкновением различных нравственных начал. Так, история высвечивает личностный, человеческий, если угодно — антропологический аспект науки, выступая тем самым школой нравственного воспитания человека.

И, наконец, в-третьих: обращение к истории науки дает возможность увидеть в современном ее бытовании пережитки теоретически опровергнутых, но практически еще не преодоленных точек зрения, зачастую имеющих весьма сильных и авторитетных сторонников и защитников. История науки дает серьезные основания для их критики и преодоления. Или, как писал Герцен в «Дилетантизме», «наконец и для того полезно перетрясти ветошь, чтоб узнать, сколько ее истлело и сколько осталось на костях»³¹

6

Для Герцена ученые являются лишь «органами развивающейся истины» — и в этом смысле наука не зависит от «личности трудящихся» в ней. Так он писал в «Дилетантизме». Несколько иначе, но в том же духе говорилось на этот счет в «Письмах об изучении природы»: «Чем более влияние лица, чем более вырезывается печать индивидуальности частной, тем труднее разобрать в ней черты родовой индивидуальности, а наука-то и есть родовое мышление; потому она и принадлежит каждому, что она не принадлежит никому»³². Так-то оно так, но ведь творцами науки выступают вполне определенные, исторически конкретные личности! Неужели же ее раз-

²⁹ Там же. С. 121.

³⁰ Там же. С. 129—130. См. также с. 137—138, 211.

³¹ Там же. С. 24.

³² Там же. С. 189.

витие, ее состояние так уже и не завясят от «частной индивидуальности»?

Рассмотрение науки в историческом плане, в тесном взаимодействии с религией, философией, политикой и тем, что Л. Фейербах, труды которого были хорошо знакомы Герцену, называл «чисто практическими интересами и тенденциями, чисто эмпирическими потребностями человечества»³³, дало автору «Писем об изучении природы» возможность обратить внимание на проблему личностных качеств ученого, их влияния на сам процесс его творчества. Герцен далек от игнорирования условий жизни деятеля науки, которые способствуют либо, напротив, препятствуют осуществлению им главной его функции — быть «органом истины».

Герцен — не пионер в анализе данной проблемы. Некоторые ее аспекты были неплохо рассмотрены, к примеру, в историко-философских трудах того же Фейербаха. Он писал, в частности: «Даже чисто научное, философское творчество, которое расцветает лишь при полном господстве разума, представляет собой в то же время экстаз, захватывает всего человека, возбуждает живейшее напряжение чувств, требует и вызывает наиболее интимное участие личности»³⁴. Как знать, не эти ли и подобные им положения Фейербаха способствовали тому, что при осмыслении и интерпретации истории философии, истории науки Герцен по существу вступил в полемику со свойственным Гегелю пониманием этой истории как непрерывного чисто интеллектуального акта?!

Обратим, однако, внимание на то, какие именно личности в истории науки вызывают наибольший интерес Герцена.

В античности это прежде всего Сократ. О нем он пишет довольно много и с увлечением. И сейчас нам совершенно неважно, соответствует ли герценовский портрет Сократа Сократу действительному. Иное имеет значение: рассуждения Герцена о Сократе раскрывают нам представления русского мыслителя о том, каким должен быть настоящий ученый, его идею обязательности для ученого быть гражданином.

«Сократ, — по Герцену, — нанес существовавшему порядку в Греции тяжелейший удар, нежели все софисты. (...) Сократ застал логическое развитие на сознании несостоятельности внешнего против мысли и на

признании человека (как мыслящей личности) истиною. Но человек как частная индивидуальность гибнет, увлекая с собой мысль; Сократ спас мысль и ее объективное значение от личного и, следовательно, случайного элемента. (...) У Сократа нет системы, а есть метода; это какой-то живой, вечно деятельный орган мышления человеческого; его метода состоит в развитии самомышления; с какой стороны ни попадался бы ему предмет, он, начиная со всей односторонности общего места, дойдет до многостороннейшей истины и нигде не теряет своих основных мыслей, которые проводит по всем областям, практическим и теоретическим. Человек должен из себя развить, в себе найти, понять то, что составляет его назначение, его цель, конечную цель мира, он должен собою дойти до истины — вот мета, которой Сократ достигает во всем. (...) Он научил опасаться готовых мнений, истин, полагаемых за известное, о которых и не говорят, как о давно знаемом, и на которые каждый смотрит по-своему, воображая, что его мнение и есть всеобщее; он осмелился поставить истину выше Афин, разум — выше узкой национальности; он относительно Афин стал так, как Петр I относительно Руси. Торжественнейшая сторона Сократа — он сам, его величавое, трагическое лицо, его практическая деятельность, его смерть; он (...) — человек, живущий беспрестанно в общественном разговоре, художник, воин, судья, участник во всех теоретических и практических вопросах своего века и везде ясный, равный себе, везде жаждущий блага и все покоряющий разуму, т. е. освобождающий в нравственном сознании. (...) В этом вся трагическая судьба Сократа... что он вместе праведник в глазах человечества и преступник в глазах Афин»³⁵.

В науке Нового времени центральной фигурой для Герцена является, конечно, Гегель. В «Письмах об изучении природы» дается не только детальная характеристика содержательной стороны его учения, но и вполне определенно обрисовываются черты его личности: «В наше время подвиг Гегеля состоит именно в том, что он науку так воплотил в методу, что стоит понять его методу, чтоб почти вовсе забыть его личность, которая часто без всякой нужды выказывает свою германскую физиономию и профессорский мундир Берлинского университета, не замечая противоречия такого рода личных выходов с сре-

³³ Фейербах Л. Собр. произв. Т. III. М., 1967. С. 382.

³⁴ Там же. Т. I. С. 500. См. также т. III, с. 25.

³⁵ Герцен А. И. Собр. соч. Т. III. С. 166—168.

дою, в которой это делается. Но это появление личных мнений у Гегеля до такой степени неважно и неуместно, что никто (из порядочных людей) не останавливается перед ними, а его же методую бьют наголову те выводы, в которых он является не органом науки, а человеком, не умеющим освободиться от паутины ничтожных и временных отношений...»³⁶

При чтении этих слов Герцена невольно приходят на память те оценки, которые были даны Гегелю Ф. Энгельсом в работе «Людвиг Фейербах и конец классической немецкой философии»: «Гегель был немец и, подобно своему современнику Гете, не свободен от изрядной дозы филистерства. Гете, как и Гегель, был в своей области настоящий Зевс-олимпиец, но ни тот, ни другой не могли вполне отделаться от немецкого филистерства»³⁷.

7

Но не пора ли поставить вопрос о личности самого Герцена — не как автора литературно-художественных произведений и политического деятеля, а именно как представителя науки XIX в. — русской и мировой?

Правда, Герцена как-то не принято называть ученым. Но не потому ли не принято его так называть, что весь его творческий опыт в науке был отрицанием распространенного в его время типа ученого-специалиста, избегавшего злобы дня и — вместе с тем — проблем эпохи, обремененного «цеховыми» соображениями и чужавшегося «метафизики», т. е. философии? И не является ли как раз Герцен в своем творчестве своеобразным прообразом ученого будущего? По крайней мере — одним из таких прообразов.

Вскоре после смерти Герцена из среды молодой русской эмиграции вышла анонимная брошюра «А. И. Герцен. Несколько слов от русского к русским». Глубоко скорбя по поводу громадной утраты, автор писал, что Герцен «обладал таким талантом наблюдательности, что вряд ли найдется другой мыслитель, соединивший глубину понимания с меткостью, рельефностью оттенков в очертании характеров, событий, частных. (...) Один из присутствовавших на погребении Герцена, Малар-

дь, назвал его русским Вольтером; нам кажется, что это название не совсем верно; он не был Вольтером, он был Дидро XIX века, — Дидро, живший не до грозы 1789 года, а после этой грозы и переживший другую — Июньские дни 1848 года»³⁸.

Так, сразу же после ухода Герцена из жизни началось обсуждение проблемы, которую еще в 40-х годах поставил Белинский, проблемы особенностей его творчества. И до сих пор она представляет собой предмет дискуссий между историками литературы, философии и общественной мысли. Не менее важна она и для тех, кто хочет определить место Герцена в истории науки.

По нашему мнению, одна из наиболее характерных черт творчества Герцена состоит в органичном сочетании, даже — слиянии философско-теоретического и литературно-художественного начал. О Герцене мало сказать: выдающийся мыслитель и писатель. Он, подобно Гете, — поэт-мыслитель. Беллетристика Герцена при всех ее несомненных художественных достоинствах всегда пронизана философскими идеями, полна мыслью, всегда публицистична. В свою очередь, философско-теоретические сочинения Герцена, такие как «Дилетантизм в науке» и «Письма об изучении природы», меньше всего сухие трактаты; как и многочисленные публицистические работы Герцена (укажем хотя бы на статьи, печатавшиеся в «Колоколе»), они являются высокохудожественными произведениями. Герцен одновременно пользовался как бы двумя способами познания и оценки действительности, в обычной практике присутствующими различным типам социального отражения. Герцену одинаково претили как «цеховая» ученость, так и художественный формализм; он видел не только их — в каждом случае особую — односторонность, но и общий, роднящий их порок — отрыв от живой жизни, насыщенных потребностей действительности. Ведь в целом литература и наука в герценовском понимании — не только способы отражения, познания жизни, но и орудия ее преобразования — и потому они должны быть столь же богаты и внутренне противоречивы, как и сама жизнь человечества и человека.

Тут мы вплотную подошли к характеристике второй своеобразной черты творчества Герцена, которую можно определить как диалектичность, точнее, антино-

³⁶ Там же. С. 189.

³⁷ Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 21. С. 277.

³⁸ А. И. Герцен в русской критике. М., 1953. С. 180, 184.

мичность его теоретико-художественного мышления. Это его качество не раз отмечалось в работе исследователей. Так, например, Г. В. Плеханов писал в 1909 г., что в герценовской «чрезвычайно блестящей литературной деятельности очень много парадоксального и даже противоречивого. Чтобы разобраться в его парадоксах и противоречиях, необходимо глубоко проникнуть в ход его умственного развития»³⁹.

В самом деле. К какой бы проблеме Герцен ни обращался в своих произведениях и письмах, будь то диалектика идеала и реальности, свободной человеческой деятельности и объективного хода вещей, единства и многовариантности исторического процесса, взаимоотношения цели и средств, нравственности и знания, эволюции и революции и т. д. и т. п., — он всегда стремился рассмотреть эти «социальные антиномии» в их единстве, в их, как он любил выражаться, «круговой поруке», где зачастую невозможно различить, расцечь «концы» и «начала». С этим связан и диалогизм как излюбленная и столь естественная у Герцена форма важнейших произведений, прежде всего — «С того берега» и «Роберт Оуэн».

Многим из этих (и сравнимых с ними по философской значимости) проблем Герцен — скажем прямо — не смог дать последовательно научного решения. Можно сформулировать эту же мысль и иначе: ответы Герцена на кардинальные вопросы, поставленные предшествовавшей и современной ему научно-философской (И. Кант, Г. В. Ф. Гегель, Л. Фейербах, О. Конт, Д. С. Милль и др.) и социально-политической (М. Робеспьер, Г. Бабеф, декабристы, К. А. Сен-Симон, Ш. Фурье, Р. Оуэн, П. Ж. Прудон, Л. О. Бланки и др.) мыслью и крайне обостренные практикой классовой и общемировоззренческой борьбы середины XIX в., оказывались, как правило, пронизанными противоречиями. Однако вот какой парадокс: в этой очевидной слабости, внешней непоследовательности, противоречивости мыслителя была и его сила. Чтобы пояснить эту мысль, сошлемся на одно соображение К. Маркса. Оценивая произведение выдающегося английского экономиста А. Смита, он писал: «Противоречия А. Смита важны в том смысле, что они заключают в себе проблемы, которых он, правда, не разрешает, но которые он ставит уже тем, что сам себе

противоречит»⁴⁰. Данные слова с полным правом можно отнести и к Герцену, заметив еще, что русский мыслитель — в отличие от Смита, противоречия которого ему самому видны не были, — смело стремился к намеренному, сознательному обнажению и заострению обнаруживаемых им противоречий — в сфере ли общественной практики, социальной теории, духовной культуры или между ними.

Третью особенность научного творчества Герцена можно условно определить как ее открытость по отношению к развивающейся деятельности, внешне выражающейся в мобильности, динамизме его мышления.

Давно уже замечено: уму Герцена, постоянно устремленному к научному поиску, претило создание законченных теоретических доктрин. А. В. Луначарский сказал однажды: «Искать в Герцене систему, стараться создать герценизм — было бы нелепо»⁴¹. И действительно, мы напрасно будем искать в сочинениях Герцена категорических, жестких формулировок, окончательных выводов, претензий на абсолютную достоверность собственных суждений, даже самых дорогих убеждений. Для него характерны постоянное обращение к трудам самых разных мыслителей прошлого и настоящего, никогда не прекращающаяся учеба у них и одновременно их критика, полемика с ними, точнее, критическое переосмысливание их идей с целью выявления, усвоения и развития рациональных моментов их учений. А с этим связаны полемичность стиля большинства герценовских произведений, его органическое пристрастие к острым дискуссиям, кто бы ни выступал в качестве идейного противника — будь то молодой, пребывающий «вечно в экстреме» Белинский или опытный брeтер диалектики, как называл его Герцен, славянофил А. С. Хомяков; один из задушевнейших друзей Герцена, историк Т. Н. Грановский, не нашедший в себе смелости и душевных сил порвать с «романтизмом» — верой в бессмертие души, или другой романтик — В. С. Печерин, завершающий свой трудный путь от горячих, восторженных утопически-социалистических мечтаний к мистическому католицизму; всегда по-юношески резкий Прудон или убеленный сединами патриарх социализма Роберт Оуэн...

Убежденный антидогматизм законо-

³⁹ Плеханов Г. В. Сочинения. Т. XXIII. М.; Л., 1926. С. 415.

⁴⁰ Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 26. Ч. 1. С. 132.

⁴¹ Цит. по: А. И. Герцен в русской критике. С. 259.

мерно приводил Герцена к происходившей время от времени переоценке ценностей: к разочарованию в некоторых собственных, ранее стойко защищаемых и страстно проповедовавшихся идеях, к не всегда безболезненному отказу от них, к решительному их отбрасыванию и выдвижению взамен иных, новых идей, т. е. к постоянному изменению, развитию взглядов — все дальше и все глубже, к новым научным проблемам и к иным решениям старых проблем...

*

Оставляя в стороне ряд существенных компонентов герценовского представления о науке (наука и политика, знание и революция, наука и нравственность, соотношение естественных и общественных наук, науки прикладной и «науки научной» и др.), мы не можем под конец не коснуться темы, которая столь занимала Герцена и далеко не безразлична сегодня для нас, — взаимоотношения таких исторических форм существования знания, как догматизм и скептицизм. Последний Герцен считал естественной реакцией против догматизма, который «противен вечно деятельной, стремящейся натуре человека; догматизм в науке не прогрессивен; совсем напротив, он заставляет живое мышление осесть каменной корой около своих начал; он похож на твердое тело, бросаемое в раствор для того, чтоб заставить кристаллы низвергнуться на него; но мышление человеческое вовсе не хочет кристаллизоваться, оно бежит косности и покоя, оно видит в догматическом успокоении отдых, усталъ, наконец ограниченность. (...) До тех пор, пока наука не поймет себя именно этим живым, текучим сознанием и мышлением рода человеческого... до тех пор, пока в науку будут врываться готовые истины, которых принятие ничем не оправдано, которые взяты с улицы, а не из разума, не только врываться, но и находить место и право гражданства в ней, — до тех пор, время от времени, злой и резкий скептицизм будет поднимать свою голову...»⁴²

Раз и навсегда приняв идею «непрогрессивности» догматизма в науке уже в начале своей деятельности, Герцен затем на протяжении всей жизни будет многократно выступать против него, равно как и против доктринерства, талмудизма и иных форм застойности в науке; в них он ус-

матривал своеобразные рецидивы идолопоклонничества, превращенные формы уже преодоленного в сущности, но еще далеко не изжитого на практике религиозного сознания. «Все кумиры долой, — призывал Герцен, — голая, обнаженная истина лучше приведет к делу, нежели лганье с доброй целью»⁴³. Развивая ту же мысль в одной из глав «Былого и дум», Герцен отметил: «Косность мысли принадлежит религии и доктринаризму... Реальная истина должна находиться под влиянием событий, отражать их, иначе она не была бы живой истиной, а истиной вечной, успокоившейся от тревожений мира сего — в мертвой тишине святого застоя»⁴⁴.

Герценовское понимание науки не оставалось всегда одним и тем же, оно изменялось, выражая его сложнейшую духовную эволюцию.

Да и о самом этом «герценовском понимании науки» мы можем говорить в известном смысле условно — не только вследствие его изменчивости, но и по той причине, что оно содержало ряд неразрешимых до конца противоречий, было, иначе говоря, отмечено печатью незавершенности. Но это нам сегодня и не суть важно.

Куда более значительно то, что, обращаясь сегодня к Герцену, мы находим в нем если и не единомышленника, то во всяком случае надежного союзника.

Союзника по борьбе за диалектику в естествознании и обществоведении.

Союзника в осуществлении демократизации науки, нерасторжимо связанном с разрушением традиций кастовости и групповщины, а также столь характерной для отдельных ученых склонности к монополизму.

Союзника в многотрудной и многомерной работе по освобождению современного мышления от всякого рода заскорузлости, дилетантизма и формализма, романтизма и идолопоклонничества, по преодолению рецидивов духовного рабства.

Можно сказать иначе: герценовские представления о науке отвечают насущным запросам сегодняшней интеллектуальной жизни нашего общества. И потому, кажется, настала пора, когда тома его сочинений, содержащие даже такие действительно трудные для восприятия произведения, как «Дилетантизм в науке» и «Письма об изучении природы», должны стать настольными книгами широкого читателя.

⁴³ Там же. Т. V. С. 89.

⁴⁴ Там же. Т. X. С. 187.

⁴² Герцен А. И. Собр. соч. Т. III. С. 198—199.

К 70-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОГО ОКТЯБРЯ

ТЯНЬ-ШАНЬСКИЙ ЭФФЕКТ

И.М. ДРЕМИН

Близ Алма-Аты, в горах Тянь-Шаня, на высоте 3330 м расположена Тянь-Шаньская высокогорная научная станция Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Здесь ведутся исследования космического излучения, непрерывно бомбардирующего атмосферу Земли. Место, где находится станция, напоминает седло: с двух сторон крутые спуски в ущелья, а между ними высются горные пики. И физики, занимающиеся изучением космических лучей, чувствуют здесь себя «в седле». Конечно, для них важен не рельеф местности вблизи станции, а прежде всего те возможности, которые предоставляет им для исследований столь большая высота.

Дело в том, что основная, адронная, компонента космических лучей — это частицы, которые сильно взаимодействуют с ядрами атомов воздуха и, быстро теряя энергию на своем пути, не могут из-за этого проникать через большую толщу атмосферы. Эти сильно взаимодействующие частицы называют адронами — отсюда и название соответствующей компоненты. Чем выше в горы — тем больше поток адронов с более высокой энергией, тем меньше времени надо потратить для изучения какого-то конкретного явления, вызванного адронной компонентой. Поэтому физики, изучающие космические лучи, с полным правом могут сказать, что «лучше гор могут быть только горы».

Однако в нашем повествовании речь пойдет не о красотах гор, а об одном из изящных физических эффектов, обнаруженных при исследовании взаимодействий частиц космического излучения в установках, построенных высоко в горах Тянь-Шаня. Частицы с большими энергиями, приходящие к нам из космических далей, способны вызывать в таких установках «ливни» частиц, рождающихся в процессе взаимодействия. По мере прохождения в глубь установки, такой ливень сначала нарастает, а потом затухает, и вся картина настолько напоминает обычные



Игорь Михайлович Дремин, доктор физико-математических наук, заместитель заведующего Отделом теоретической физики им. И. Е. Тамма Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР (ФИАН). Ответственный секретарь журнала «Успехи физических наук». В 1958 г. окончил Московский инженерно-физический институт, а затем аспирантуру ФИАН. Область научных интересов — физика высоких энергий. В «Природе» опубликовал статью: Кварконий — атом из кварков (1985, № 10).



Тянь-Шаньская высокогорная научная станция Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР.

снежные лавины в горах, что космические ливни зачастую тоже называют лавинами. Специалисты контрольно-спасательных служб в горах обычно хорошо знают, куда сможет пойти лавина в том или ином ущелье. Так и физики, зная свойства взаимодействия частиц, обычно рождающихся в космических ливнях, довольно хорошо могли предсказать среднюю длину поглощения лавин в установках.

И вдруг в 1972 г. на Тянь-Шане было обнаружено, что имеются лавины, которые проходят заметно большие расстояния, проникая в глубь установки дальше, чем это предполагалось. Поскольку такие лавины появляются лишь начиная с некоторой довольно высокой энергии первичных частиц, то раньше их не удавалось зарегистрировать, так как не было пригодных для этого установок. Естественно, средняя длина пробега (или поглощения) лавин, при меньших энергиях почти не зависевшая от энергии, также начинает повышаться с ростом энергии и приобретает весьма характерную зависимость. Именно это явление и было названо Тянь-Шаньским эффектом.

Как часто бывает, первые сообщения об этом эффекте были встречены с недоверием и удивлением. Но ведь «удивление намечает предел наших познаний» (Ф. Ларошфуко). Надо было дополнительно проверять экспериментальные данные и одновременно искать объяснение им. Предлагалось несколько объяснений наблюдаемого эффекта. Наиболее правдоподобной среди выдвигаемых гипотез представляется сейчас идея о том, что помимо обычных частиц в ливнях с высокой энергией заметную долю составляют так называемые очарованные частицы.

Вытекающие отсюда следствия доступны проверке при наивысших достигнутых сейчас на ускорителях энергиях и важны для оценки перспектив предлагаемых экспериментов. В конечном же итоге они помогают нам подойти ближе к разгадке тайн цветовых сил — самых мощных сил, действующих в Природе.

ДЛИННОПРОБЕЖНЫЕ ЛАВИНЫ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

Одновременная вспышка множества неоновых лампочек на огромном табло — этот сигнал Природы о прохождении через установку очередного ливня — была понятна любому, кто заглянул хотя бы на несколько минут в то здание Тянь-Шань-

ской станции, которое называется эллином. Там был расположен большой ионизационный калориметр (БИК). Каждая группа лампочек на табло связана с определенной ячейкой калориметра. Они загораются, как только через ячейку проходят заряженные частицы, причем комбинация загоревшихся лампочек отмечает интенсивность прошедшего через ячейку потока. Таким образом можно наглядно видеть развитие и затухание лавин, вызванных попаданием в калориметр адронов космического излучения.

Чем плотнее вещество, в которое входит адрон, тем больше вероятность его взаимодействия с ядрами атомов этого вещества и тем интенсивнее развитие лавины. Поэтому в качестве поглотителя в установке БИК был выбран свинец — тяжелыми свинцовыми брусьями «вымостили» 15 расположенных один над другим квадратов площадью 36 м². Прослоенные ионизационными камерами для регистрации прохождения заряженных частиц, они поднимались на почти трехметровую высоту. Связанная с камерами электроника обеспечивала автоматическую регистрацию лавины и ее видеоизображение на неоновом табло. Калориметром это устройство называется потому, что вся энергия, выделяемая в нем влетающей частицей, измеряется. Более того, выдается информация о том, сколько энергии теряет частица при прохождении того или иного слоя, т. е. физики определяют распределение потерь энергии по глубине калориметра. На этой крупнейшей в мире установке такого рода работы велись с 1971 по 1982 г. И хотя сейчас ее место заняла другая установка для проведения новых наблюдений, полученные на калориметре данные еще продолжают анализироваться, предоставляя пищу для размышлений.

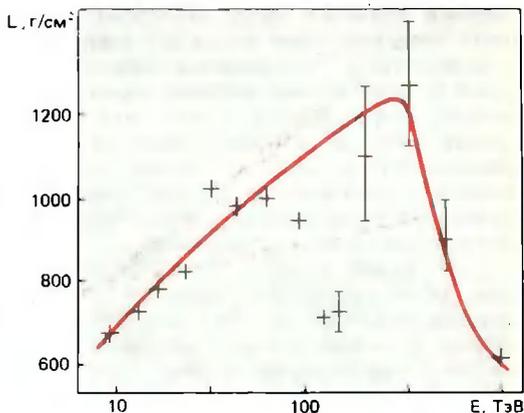
Природа скупо тратит энергию. Даже в огромных по своим масштабам «ускорителях» космоса частице редко удается разогнаться до очень высоких скоростей. Поэтому в составе космического излучения, падающего на Землю, частиц с высокой энергией значительно меньше, чем низкоэнергетических частиц, а значит, проводить исследования частиц тем труднее, чем выше их энергия. Однако создание ускорителей на все более высокие энергии вынуждает все время передвигать фронт работ по изучению космических лучей выше по шкале энергий. Для этого необходимо менять методику работы, строить

все большие установки, позволяющие регистрировать частицы еще более высокой энергии и набирать достаточное для надежных выводов количество экспериментального материала.

Пока изучались ливни, вызванные частицами с умеренными энергиями, превышающими обычный эталон (энергию покоя протона, равную 1 ГэВ) всего лишь (1) в сотни и даже тысячи раз ($1000 \text{ ГэВ} = 1 \text{ ТэВ}$), не было выявлено каких-то особых аномалий в их поведении. Когда адрон с такой энергией взаимодействует с ядром атома вещества в установке, то обычно рождается множество новых адронов. В основном это хорошо известные мезоны — пионы и каоны. Среди них много нейтральных пионов: каждый из них быстро распадается на два фотона, которые вызывают бурно развивающийся и затухающий электромагнитный ливень из фотонов, электронов и позитронов. А заряженные адроны пролетают несколько дальше, взаимодействуют с ядрами атомов, вновь рождая множество новых адронов. Процесс повторяется до тех пор, пока вся энергия адронов не будет растрачена. Скорость затухания адронной компоненты ливни определяется свойствами взаимодействия адронов. Плавное экспоненциальное угасание при почти постоянной (слабо зависящей от энергии) длине пробега ливни свидетельствовало о «нормальном» процессе, обусловленном частицами с известными свойствами взаимодействия.

Но вот появилась уникальная возможность исследовать с помощью большого ионизационного калориметра ливни, вызываемые в веществе частицами с энергиями, в сотни тысяч раз превышающими энергию покоя протона (сотни ТэВ). И вдруг оказалось, что помимо обычных ливни появляются и такие, которые проникают на большие глубины, несколько затягивая развитие ливня. Такие ливни были названы длиннопробежными.

Наиболее наглядно их влияние проявляется при сравнении средних длин пробега ливни, вызванных частицами с разными энергиями. До энергий в несколько ТэВ образуются только обычные ливни: средняя длина их пробега остается практически постоянной, слабо меняясь с ростом энергии первичных частиц. Но при энергиях в сотни ТэВ начинается резкий рост средней длины пробега, а затем намечается спад, и длина пробега ливни вновь возвращается к своему «нормальному» значению при энергиях в тысячи ТэВ. Эффект очень яркий: высота пика на кривой



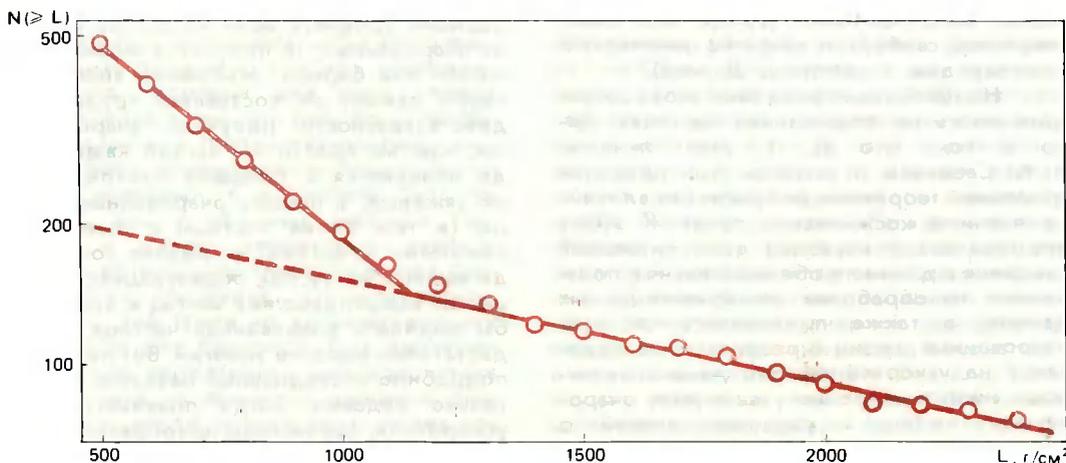
Зависимость средней длины пробега ливни L , выраженной в единицах водного эквивалента, от энергии E адронной компоненты. Экспериментальные данные показаны крестами; кривая проведена для описания характера эффекта.

зависимости средней длины пробега от энергии более чем вдвое превышает ее значение у «нормальных» ливни. Удивление вызывает не только факт роста пробега, но и последующий спад его при более высоких энергиях.

Как же происходит рост средней длины пробега? Идет ли он одинаково у всех ливней, или же одна группа остается «нормальной», а возникают ливни «другого типа» с заметно повышенной длиной пробега? Ответ на этот вопрос мы уже фактически дали выше, сказав, что кроме обычных ливни появляются длиннопробежные. Выявить это удалось, изучая более детальные характеристики ливни, нежели средние величины их пробега.

Располагая достаточным объемом экспериментальных данных, можно построить распределение числа ливней по длинам пробега, т. е. попросту посмотреть, сколько появляется ливней с тем или иным пробегом. Оказалось, что у этого распределения есть две характерные ветви экспоненциального падения — нормальная и длиннопробежная, падающая медленнее. Это свидетельствовало о том, что при соответствующих энергиях иногда вступает в игру какой-то новый механизм взаимодействия и рождения частиц. А раз так, то длиннопробежные ливни могут отличаться от обычных не только глубиной проникновения, но и характером развития в поперечном направлении.

В результате взаимодействия частицы высокой энергии с ядром атома боль-



Распределение полного числа ливней N с длиной пробега, превышающей заданную величину L . Четко видны две экспоненциально спадающие ветви кривой: одна описывает нормальные ливни, другая (более пологая) — длиннопробежные. Крестиками обозначены экспериментальные данные.

шинство вновь рожденных частиц летит почти вдоль направления движения первичной, но все же после ряда последовательных столкновений они расходятся, и число частиц, проходящих через заданную площадь, перпендикулярную оси ливня, уменьшается на больших глубинах. Предположим теперь, что в составе ливня появилась некая длиннопробежная компонента, проносящая энергию глубже вдоль оси ливня. Тогда концентрация частиц (их число на единицу площади) может возрасти с глубиной, так как эта компонента как бы создает свой новый дополнительный ливень, но начинающийся уже сразу на большей глубине. Когда были отобраны именно такие ливни, то оказалось, что действительно их длины пробега обычно больше, чем у нормальных, а число их близко к оценкам для длиннопробежных ливней, полученным из исследования распределений длин пробегов. Средняя длина пробега у этой группы ливней, естественно, тоже заметно выше, чем у обычных ливней, и как функция энергии сначала возрастает, а затем падает, тогда как длины пробега обычных ливней с уменьшающейся по глубине концентрацией очень слабо зависят от энергии. Отбор ливней по независимому критерию изменения концентрации, как оказалось, привел к той же сортировке ливней, которая намечалась по их длинам пробега. Конечно, для каждого индивидуально ливня его затухание с глубиной не строго экспоненциальное, а еще велики флуктуации и имеются максимумы в адронной

компоненте. Однако было замечено, что у длиннопробежных ливней эти максимумы также смещаются на большие глубины.

Все это послужило дополнительным указанием на правильность выбора пути в объяснении эффекта. Конечно, надо сразу же сказать, что имеется много косвенных следствий появления таких особенных ливней, которые сейчас изучаются и сопоставляются с другими экспериментальными данными, существуют сомнения в точности оценок некоторых их характеристик, но сам факт существования эффекта представляется достоверным.

Первое сообщение о длиннопробежных ливнях было сделано В. И. Яковлевым (ФИАН) на Всесоюзной конференции по физике космических лучей, проходившей в Харькове в 1972 г.

И, конечно, вскоре были предприняты попытки объяснения этого эффекта, которые, правда, носили вначале скорее характер догадок и предварительных оценок, нежели полного теоретического описания. Это было связано с тем, что наподобие любой серьезной детективной истории на первых порах было слишком мало раскрыто еще следов «преступника» и почти ничего не было известно о его «личности». Тем не менее подозрение сразу же пало на так называемые очарованные частицы, открытые незадолго до этого на ускорителях. Однако «улики» отнюдь не были изобличающими, и потому число «подозреваемых» быстро возрастало, хотя многие из них казались еще более экзотическими и

менее сопричастными (среди них были, например, свободные кварки с целочисленным зарядом и монополи Дирака).

Но постепенно внимание вновь сосредоточилось на очарованных частицах. Дело в том, что Д. Т. Мадигожиним, В. А. Саакяном и автором был проведен детальный теоретический расчет их влияния на ливни в космических лучах. К этому времени стали известны дополнительные сведения о длиннопробежных ливнях, полученные из обработки экспериментальных данных, а также проявились свойства очарованных частиц в результате исследований на ускорителях. Это дало возможность непосредственно учесть роль очарованных частиц в развитии ливней в космических лучах и сделать некоторые предсказания об их свойствах, которые еще требуют экспериментальной проверки.

ОЧАРОВАННЫЕ ЧАСТИЦЫ

Расскажем теперь о том, что же представляют собой очарованные частицы, которые столь заметно могут повлиять на развитие ливней. Это несколько необычные члены семейства сильновзаимодействующих частиц — адронов. Как и все адроны, они составлены из кварков¹. Кварки навечно «закованы» внутри адронов самыми мощными силами Природы — цветовыми. Мы можем подглядеть за поведением кварков внутри адронов, «прощупывая» их другими частицами высоких энергий, но выделить кварки поодиночке, в свободном состоянии, не удастся. И в этом — одна из самых сокровенных неразгаданных тайн Природы.

Сравнительно легкие адроны комбинируются из кварков трех сортов (или, как говорят, ароматов) — верхнего, нижнего и странного. Если кварк связан с антикварком, то получается мезон, (легчайшие представители — пионы и каоны), а если связаны вместе три кварка, то такой адрон называют барионом (легчайшие частицы — протон и нейтрон). Другие комбинации кварков не наблюдались. Верхний, нижний и странный кварки сравнительно легкие. В природе есть и реже встречающиеся более тяжелые кварки — очарованные (а всего сортов кварков, видимо, не менее шести). Если в обычном мезоне или

барионе заменить один из легких кварков на очарованный, то получится очарованный мезон или барион. Мысленно вообразить такую замену не составляет труда, но в действительности получить очарованные частицы не просто — легкий кварк всегда появляется с большей охотой, нежели тяжелый, и потому очарованные частицы (а тем более частицы с еще более тяжелыми кварками) — редкие гости среди множества частиц, образующихся в процессах взаимодействия частиц и ядер. Чтобы родилась очарованная частица, нужны достаточно высокие энергии. Вот почему их подробное исследование началось сравнительно недавно, когда появились такие ускорители, где частицы приобретают энергии в сотни и тысячи ГэВ.

Очарованные частицы оказались нестабильными. В покое они живут всего около 10^{-12} — 10^{-13} с. Это заметно больше, чем время жизни нейтрального пиона (примерно 10^{-16} с), но намного меньше времен жизни заряженных пионов (около 10^{-8} с). Вследствие релятивистского замедления времени путь частицы до распада пропорционален ее энергии. Поэтому очарованная частица с энергией в сотни ГэВ успевает отойти от точки рождения на макроскопическое расстояние порядка миллиметра, а при энергии в сотни ТэВ она уже пролетает метровые дистанции (отметим, что при этих энергиях нейтральный пион все еще распадается вблизи точки рождения, а заряженные пионы не успевают распасться, так как на большом пути они еще до распада взаимодействуют с атомами вещества и теряют всю энергию на рождение новых частиц). С этим, фактически, и связано объяснение Тянь-Шаньского эффекта.

Есть еще четыре характерных свойства очарованных частиц, которые важны для понимания этого явления.

Во-первых, если налетающей частицей является барион (протон или нейтрон) и в процессе взаимодействия рождается очарованный барион, то этот очарованный барион уносит заметную долю энергии первичного адрона. Этот эффект «лидирования» для тяжелых частиц был обнаружен на ускорителях, но пока при меньших энергиях. То же самое верно и для случая, когда на ядро падает обычный мезон, который превращается в очарованный.

Во-вторых, вероятность последующего взаимодействия родившегося очарованного бариона с ядрами вещества почти на одну треть меньше, чем у первич-

¹ См.: Шехтер В. М. Кварки // Природа. 1980. № 2. С. 53—69.

ного бариона. Хотя непосредственного экспериментального доказательства этого факта нет, мы полагаем, что это утверждение верно. Основой для него служит представление о том, что размеры тяжелого кварка малы, а потому размер очарованного бариона определяется только двумя легкими кварками, т. е. должен быть таким же, как у обычных мезонов (например, у пиона), вероятность взаимодействия которых, пропорциональная размеру частиц, составляет, согласно опыту, примерно две трети от соответствующей вероятности для барионов. Еще заметнее уменьшение вероятности взаимодействия при переходе от обычного мезона к очарованному, когда вместо двух легких составляющих остается только один легкий кварк, а значит, вероятность оказывается почти вдвое меньше. Но этих двух свойств еще недостаточно для выявления всей специфики эффекта. Ведь если бы очарованный барион проявлял себя как пион, он бы тоже довольно быстро развивал лавину.

Для объяснения увеличения длины пробега лавин нужно считать, в-третьих, что очарованная частица тратит относительно мало энергии на рождение новых частиц (как говорят, имеет малый коэффициент неупругости) при своем прохождении через вещество. Основанием этому служит опять-таки сравнительно большая масса тяжелого кварка, который пролетает вперед, не очень-то желая делиться своей энергией со своим окружением. Хотя и здесь косвенные указания в поддержку такой гипотезы имеются, она требует непосредственного экспериментального подтверждения.

И, наконец, в-четвертых, необходимо, чтобы очарованных частиц при высоких энергиях было уже достаточно много, т. е. была бы высока вероятность (сечение) их рождения при взаимодействии адронов в веществе.

Итак, если в процессе взаимодействия частиц космического излучения с ядрами в установке образуются очарованные частицы, то они оказываются весьма энергичными и часто проникают довольно далеко в установку, не взаимодействуя с окружающим веществом вплоть до своего распада.

ОБЪЯСНЕНИЕ ЭФФЕКТА

Описанные выше особенности очарованных частиц уже наводят на мысль о

том, что именно рождением таких частиц объясняется эффект, открытый физиками на Тянь-Шане. Действительно, при «сравнительно малых» (до нескольких ТэВ) энергиях первичных частиц очарованные частицы почти не рождаются, а если и рождаются в редких случаях, то вскоре распадаются, не успевая пронести энергию вглубь. Поэтому длина пробега лавин здесь обычная — она очень слабо зависит от энергии и определяется свойствами обычных адронов. В лавинах, вызванных частицами более высоких энергий, вероятность рождения очарованных частиц возрастает, и сами они пролетают все больший путь внутри установки, тем самым затягивая развитие лавины, делая ее все более и более длиннопробежной. Этим объясняется рост средней длины пробега лавин, замеченный при начальных энергиях в сотни ТэВ. Последующий спад этой длины при более высоких энергиях, наблюдавшийся в большом ионизационном калориметре, связан уже не с физическими, а с чисто техническими причинами. Просто толщина установки БИК оказывается недостаточно большой, и очарованная частица с очень высокой энергией успевает пролететь ее насквозь не распавшись. Поэтому мы и не видим ее продуктов распада, а принимаем весь ливень за обычную лавину с меньшей начальной энергией.

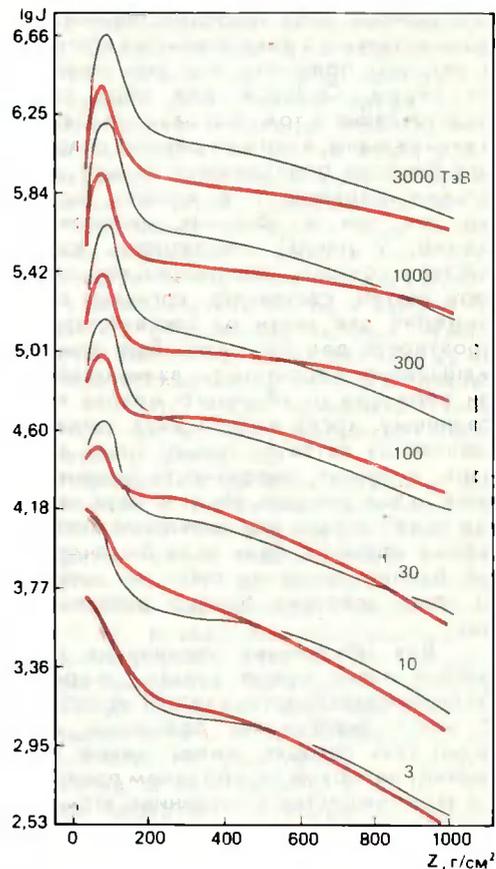
Если бы число слоев свинца в установке увеличили, то в зависимости средней длины пробега от энергии наблюдался бы выход на «плато» с почти постоянным значением длины пробега, которое, однако, заметно больше обычного из-за меньшей вероятности взаимодействия очарованных частиц с окружающим веществом и меньшего коэффициента неупругости. Лавины имели бы несколько другой характер, если бы вместо свинцового был использован, скажем, железный калориметр. Все эти предсказания интересны для дальнейших экспериментов, но мы не будем на них здесь останавливаться, а опишем, как последовательно усложнялись теоретические расчеты, прежде чем удалось подойти к количественному описанию явления длиннопробежных лавин.

Еще не приступая к сложным детальным расчетам, всегда хочется убедиться в том, что в самых грубых чертах выдвигаемая гипотеза не противоречит экспериментальным данным. В нашем случае, предположив, что очарованная частица вносит некий дополнительный вклад в развитие лавины в месте своего распада, нетрудно оценить, при какой энергии точка

распада начнет выходить за пределы установки. Согласно вышесказанному, именно при этой энергии должен наблюдаться максимум в средней длине пробега лавины. Такие оценки можно легко провести, как говорят американцы, «on the back of the envelope during airport thinking» (на обороте конверта при размышлениях в аэропорту). Они оказались обнадеживающими: при использовании свинцового калориметра максимум должен появляться при сотнях ТэВ (т. е. там, где указывали экспериментальные данные), если учесть известные из опыта данные о временах жизни и массах очарованных частиц, а также принять, что эти частицы уносят заметную долю первичной энергии и слабо растрывают свою.

Предположение о том, что очарованная частица создает дополнительный стимул для развития лавины вблизи точки распада, было физически наглядным, но иногда вызывало недоуменные вопросы. Дело в том, что развитие лавин описывается решениями кинетических уравнений, экспоненциально зависящими от энергии. Но из суммы экспонент нельзя сформировать кривую с максимумом, которую необходимо получить, если речь идет о каком-то «дополнительном вкладе». Исследовать это можно, решив упрощенные кинетические уравнения, в которых основные параметры задачи выбраны весьма приближенно. И здесь теория подтверждает физическую интуицию, показывая, что «дополнительный вклад» проявляется не как сумма, а как разность экспоненциальных функций. Действительно, вначале рождение очарованной частицы приводит как бы к «выеданию» лавины (т. е. менее интенсивному ее развитию за счет уменьшения энергии, остающейся на долю обычных адронов), а затем к ее дополнительному приросту при распаде этой очарованной частицы. Преимущество аналитического решения упрощенных уравнений состоит в том, что наглядно видна качественная зависимость всех характерных свойств лавины от используемых параметров, физическая природа явления.

Следующий этап приближения к реальным условиям эксперимента — решение на электронно-вычислительной машине более точных кинетических уравнений, детальнее учитывающих специфику свойств очарованных частиц (закон и каналы их распада, распределение по энергиям в момент рождения, энергетическую зависимость вероятности образования частицы и т. п.). На этом этапе еще не гене-



Ионизационные кривые при разных энергиях E , полученные путем моделирования на ЭВМ. Они показывают, как меняется число заряженных частиц в лавине по глубине калориметра Z . Цветными кривыми изображены лавины с учетом рождения очарованных частиц; для сравнения черными кривыми показаны лавины без очарованных частиц. Видно, что при энергиях 300—1000 ТэВ затухание лавин с очарованными частицами особенно медленное, или, другими словами, их длина пробега велика [Тянь-Шаньский эффект].

рируются индивидуальные ливни, а в ЭВМ вводятся средние характеристики установки. Зато решения уравнений получаются достаточно быстро. В результате на графопостроителе рисуются так называемые ионизационные кривые при разных энергиях, т. е. некая идеальная лавина, усредненная по многим индивидуальным флуктуирующим ливням. При сравнении этих кривых с кривыми для обычных лавин отчетливо видно, как влияют очарованные частицы на свойства ливней. Все усредненные ха-

характеристики ливней оказались близко совпадающими с экспериментально измеренными лишь при одном важном условии — вероятность рождения очарованных частиц должна быстро расти с ростом энергии и составлять заметную долю от полной вероятности при энергиях порядка 100 ТэВ.

На этой стадии удалось не только узнать свойства ливней в изучаемом диапазоне глубин калориметра, но и показать, какая доля энергии лавины уходит за его пределы. Естественно, что с ростом начальной энергии растет и та часть энергии, которая не фиксируется калориметром. Это позволило откалибровать лавины не по энергии первичной частицы, а по выделенной в калориметре энергии, которая только и известна в реальном эксперименте.

Хотелось теоретически получить также индивидуальные ливни с учетом всех особенностей установки. Такая процедура требует уже более кропотливой работы, большей затраты времени для проведения расчетов на электронно-вычислительной машине методом Монте-Карло. Этот заключительный этап был проведен, и основные выводы, полученные ранее, подтвердились. Вместе с тем появилась новая информация о флуктуациях в индивидуальных ливнях, максимумах ионизации и т. п. А самое главное — имеется твердая уверенность в том, что условия отбора и методика обработки реальных экспериментальных ливней и тех искусственных, которые теоретически генерировались на ЭВМ, совершенно одинакова. Все расхождения могут вызываться только чисто физическими предположениями, заложенными при генерации искусственных ливней.

Основной результат описанных расчетов: длиннопробежные лавины могут объясняться рождением очарованных частиц, если оно происходит с большой вероятностью при высоких энергиях и рождающиеся очарованные частицы уносят заметную долю энергии первичной частицы. Почему же этот ответ звучит не просто утвердительно, а содержит в себе «если»? Да потому, что мы не знаем свойств процессов рождения очарованных частиц при этих энергиях. Их можно исследовать, в принципе, на протон-антипротонном коллайдере Европейского центра ядерных исследований в Женеве, где достигнуты столь высокие энергии. Но задача экспериментального изучения таких процессов на этом ускорителе не проста, и полученные выводы из исследований космических лучей могут рассматриваться как предсказания для будущих опытов, причем предсказания

ободдряющие². Дело в том, что попытки экстраполяции теоретических предсказаний из области меньших энергий на столь большую энергию приводили к пессимистическим выводам о том, что процессы рождения очарованных частиц будут заметно менее вероятны (по крайней мере в пять, а то и в десять раз). Правда, следует заметить, что теоретические оценки обычно сильно занижают вероятность рождения очарованных частиц даже при сравнительно «низких» энергиях в сотни ГэВ, где такие процессы уже изучены на ускорителях. Видимо, в теоретических расчетах, основанных на использовании методов квантовой хромодинамики, пока не удается учесть все факторы, влияющие на процесс рождения частиц с тяжелыми кварками.

Дальнейшие эксперименты покажут, какой из путей за «предел наших познаний» истинный. Что касается гипотезы о роли очарованных частиц в развитии длиннопробежных лавин в космических лучах, то, чтобы стать общепринятым утверждением, ей необходима поддержка как экспериментов в космических лучах, выполненных дружными группами, так и опытов на ускорителях. И те, и другие будут проведены, видимо, вскоре, и станет ясно, выдержит ли эта гипотеза полную проверку опытом. И если выдержит, то не следует удивляться тому, что после краткой вспышки интереса к ней, она перестанет удивлять кого бы то ни было, ибо, по меткому высказыванию А. Пуанкаре, «всякой истине суждено одно мгновение торжества между бесконечностью, когда ее считают неверной, и бесконечностью, когда ее считают тривиальной».

² Для специалистов скажем, что сечение рождения частиц с тяжелыми кварками должно составлять не менее 4—5 мбн на кулон при энергии в сотни ТэВ, т. е. почти 10 % от полного сечения взаимодействия протонов. Использование более «мягких» предположений, например о форме спектров, зависимости от атомного номера ядра и т. п., приводит лишь к увеличению сечения.

ОРГАНИЗАЦИОННО-ДЕЯТЕЛЬНОСТНЫЕ ИГРЫ

С.В.Наумов



Сергей Валентинович Наумов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Академии народного хозяйства при Совете Министров СССР. Окончил факультет молекулярной и химической физики Московского физико-технического института (1978) и аспирантуру того же института (1981). Специалист в области методологии управления и научных исследований.

ИГРА — и научное исследование? Наверное, для тех, кто еще незнаком со специальными применениями игровых методов, такой союз покажется неожиданным. Что может быть общего между импровизационным, легким, безответственным, «ненастоящим» характером игры и серьезной, кропотливой (до головной боли) работой ученого? Можно ли «играючи» заниматься наукой, образованием, производством, иными делами? «Играючи» — нельзя, а вот играть здесь, оказывается, можно, а порою даже необходимо.

Мы живем в такое время, сложность которого определяется масштабностью и многоплановостью изменений в нашей жизни. Его называют временем перестройки и ускорения, подчеркивая характер преобразующего, действенного отношения к нашему настоящему и будущему. Сегодня ядро планов перестройки составляет решение проблем сферы производственной, сферы хозяйственной. Но уже первые шаги в этом направлении показывают, что мы имеем дело с более широкой и многоплановой ситуацией, которая проверяет на прочность и сферу образования, и сферу культуры, и сферу науки. В наши дни ни одна из этих сфер не может остаться не затронутой идеей **развития** и должна либо найти соответствующие этой идее механизмы самодвижения, саморазвития, либо — окажется рано или поздно в ситуации внешней перестройки в соответствии с требованиями других сфер, общей социальной и культурной обстановки.

ИГРЫ НА РАЗВИТИЕ

В отличие от идеи **естественно** протекающей эволюции, идея развития предполагает наличие **сознательной, искусственной** компоненты изменения мира. Развитие — это такое его прогрессивное изменение, которое мы производим в соответствии со своими ценностными ориентациями, своими целями и программами. Для нашей страны установка на такое деятельное отношение к жизни не является новой, и наше общество, может быть, больше, чем любое другое накопило опыт выдвижения и реализации программ решительного и

глубокого преобразования жизни. И все-таки ситуация, с которой мы имеем дело сегодня, не в последнюю очередь связанная и с последствиями этих программ, показывает, что многие действенные механизмы развития нами еще не освоены.

В организационно-деятельностных играх (общепринятая аббревиатура — ОД-игры, или ОДИ) принцип развития — важнейший для организаторов и участников. ОД-игры, в отличие, например, от «мозгового штурма», синектики, деловых игр, ориентированных на решение конкретных предметных задач или ситуаций, — это **игры на развитие**. Работы по их созданию проводились коллективом специалистов под руководством Г. П. Щедровицкого на базе Научно-исследовательского института общей и педагогической психологии АПН СССР. Первая игра состоялась в августе 1979 г. Несмотря на свою молодость, ОД-игры успели хорошо зарекомендовать себя во многих сферах деятельности: при определении перспектив развития высшего образования, разработке долгосрочных программ развития городов, научно-исследовательских институтов, крупных производственных объединений и т. д. Читателям «Природы», возможно, будет интересно узнать, что ОД-игры использовались для уточнения программы «Экополис» по экологическому и социальному эксперименту в подмосковном городе Пущино¹. Всего за семь лет было проведено 50 больших ОД-игр и более ста малых. Методологическую основу их составили разработки в области теории мышления и деятельности Московского методологического кружка (ММК)². Чтобы понять, в каком отношении ОД-игры находят к науке, попробуем сначала разобраться в том, может ли сегодня наука ответить на поставленные жизнью вопросы о механизмах развития. Как видим, на науку возлагается здесь двойная ответственность: за собственное будущее, собственное развитие, но также и за развитие других сфер, ожидающих найти в науке опору и основание для научно обоснованных стратегических решений. Именно таков сегодня социальный заказ науке на обеспечение развития.

Однако научное знание ориентировано на **объекты** нашей деятельности, а не на саму деятельность! Знания об объектах деятельности дают нам возможность владеть ими, употреблять их и даже перестраивать, создавать в соответствии с нашими целями. Соединение научной точки зрения с технической сделало возможным развитие инженерии и проектирования. Но могут ли знания об объектах деятельности заменить знания о самой деятельности? Могут ли знания об объектах научного исследования дать исчерпывающее представление о самом этом исследовании?

В марксистской философии представление о деятельности в форме представлений об ее объекте называется превращенной формой представления, т. е. косвенной, вторичной, производной³. Возможно ли использовать такую форму? Да, и мы постоянно это делаем. Например, мы пытаемся формировать научный подход к миру через освоение научных представлений о мире. Мы, правда, говорим о том, что «знать» — не значит «уметь», обнаруживаем, что на этом пути мы оказались привязанными к возрастающему информационному потоку... Но ведь что-то все-таки удается! Да, удается — в тех случаях, когда мы имеем дело со сложившейся, устойчивой областью научной и практической деятельности. Но если мы встречаемся с областью становящейся, если у нас появились цели преобразования и развития — знание об объектах становится зыбкой опорой, и мы нуждаемся в прямом, непосредственном знании о нашей деятельности, нашем мышлении. Такое знание называется рефлексивным, т. е. позволяющим осуществлять рефлексию — «поворот» сознания с объектов нашей деятельности на саму деятельность.

МЕСТО МЕТОДОЛОГИИ

Итак, научного подхода «не хватает» при обсуждении вопросов об эффективных стратегиях индивидуального и коллективного творчества и, тем более, вопросов развития. Всякий раз, когда такое обсуждение ведется не просто на уровне здравого смысла и личного жизненного опыта, а на теоретическом уровне — ученые-

¹ Иваницкий Г. Р. Пущинский социальный эксперимент // Природа. 1983. № 7. С. 56—63.

² Щедровицкий Г. П. Организационно-деятельностная игра как новая форма организации коллективной мыследеятельности // Методы исследования, диагностики и развития международных трудовых коллективов. М., 1983.

³ Подробнее см.: Мамардашвили М. К. Форма превращенная // Философская энциклопедия. Т. 5. М., 1970. С. 386—389.

естественники заимствуют представления рефлексивного типа из других областей знания. И прежде всего — из философии и методологии.

В начале века, анализируя ситуацию, сложившуюся в физике, В. И. Ленин писал: «...современная физика... идет к единственно верному методу и единственно верной философии естествознания не прямо, а зигзагами, не сознательно, а стихийно, не видя ясно своей «конечной цели», а приближаясь к ней ощупью, шатаваясь, иногда даже задом. Современная физика лежит в родах. Она рождает диалектический материализм»⁴. Пройден ли до конца этот путь? Состоялся ли эффективный синтез философского и научного подхода в физике, химии, математике, психологии и т. д.? Наш век показал, что для этого мало доброго желания ученых осваивать философские представления (так, наша страна добилась всеобщей философской грамотности для людей с высшим образованием) — необходима большая и специальная работа по созданию рефлексивных представлений, которые смогли бы обеспечивать рефлексию современной научной практики в целях ее развития. Было бы ошибочным полагать, что философское знание — знание о наиболее общих законах эволюции природы, развития мира человеческой деятельности и мышления — в его нынешнем виде «впрямую» приложимо к научной практике. Это знание не может заменить конкретных исследований рефлексивного типа в различных областях нашей практики, но дает важные основания для таких исследований.

Осознание этих обстоятельств привело во второй половине XX в. к бурному развитию наук нового типа — наук о мышлении и деятельности, становлению «деятельностного подхода», «деятельностной точки зрения», — формировавшихся на базе междисциплинарных исследований в кибернетике, системных исследованиях, теории деятельности и т. п. Эту новую область исследований и разработок называют сегодня методологической, чтобы, во-первых, терминологически подчеркнуть ее отличие от наук традиционного типа, во-вторых, что более существенно, подчеркнуть ее нацеленность на анализ и разработку средств, методов, подходов, используемых в различных областях мышления и деятельности. В своей особой функции область методологических исследований и разработок

постепенно приобрела самостоятельную форму и содержание. Она представляет сегодня не просто звено, обеспечивающее стыковку философии и науки, но может рассматриваться и как **новая культурно-историческая область мышления и деятельности**. Методологическое знание обладает одним уникальным свойством, отличающим его от других видов знания: оно может быть использовано для рефлексии собственного мышления и деятельности методологов. На этой основе рабочие процессы (разработка средств, методов мышления и деятельности) могут быть увязаны с процессами их рефлексии и далее — с процессами развития. Методологическое мышление способно исследовать и строить системы, обладающие возможностями **саморазвития**.

После этих необходимых разъяснений мы можем вернуться к ОД-играм. **ОД-игры — это методологические игры**, в которых методологический подход реализуется в практике постановки и решения проблем развития комплексным коллективом профессионалов.

ИСХОДНАЯ СИТУАЦИЯ ОД-ИГРЫ

Теперь можно попытаться воссоздать общую схему ОД-игры. В основе каждой игры обязательно должна быть **проблемная ситуация**, сложившаяся в той или иной сфере человеческой практики. Проблемная — значит неразрешимая в рамках известных возможностей: имеющихся актуально (здесь и теперь) или потенциально (в другом месте, в опыте прошлого, в лучших достижениях настоящего). Если ситуация может быть разрешена в рамках известных возможностей, известных подходов, то ОД-игра не нужна и могут быть использованы другие методы, например, уже упоминавшиеся деловые игры, методы управленческого консультирования и т. п. Поэтому при ее подготовке и анализе заказа на нее исходная ситуация обязательно исследуется организаторами и проверяется на проблемность.

Отметим, что появление проблемной ситуации связано не только с объективными обстоятельствами, но и с уровнем претензий к своей работе коллектива-заказчика игры. Наличие объективных обстоятельств означает, что цели коллектива не могут быть достигнуты без штурма «мировых рекордов». Но станет коллектив

⁴ Ленин В. И. Полн. собр. соч. Т. 18. С. 332.

равняться на мировой уровень или просто скорректирует цели под «то, что есть» — как раз и зависит от его уровня претензий. Очень редко мы попадаем в такие ситуации, где развитие — единственная объективная возможность продолжить существование, и мы не можем скорректировать свои цели. Но верно и обратное — мы можем практически любую ситуацию нашей жизни и работы превратить в ситуацию развития за счет постановки недостижимых ранее целей.

Для решения проблемной ситуации собирается **комплексный коллектив** участников, в состав которого входят профессионалы из различных сфер деятельности. Это объясняется несколькими важными обстоятельствами. Во-первых, к любой такой ситуации имеет отношение не одна, а несколько научно-предметных областей (проблемы «предпочитают» существовать на стыке наук). Во-вторых, к такой ситуации обязательно имеют отношение не только ученые-теоретики, но и проектировщики, конструкторы, организаторы и прочие «практики». В-третьих, в коллектив ОД-игры обязательно входят методологи и так называемые игротехники. При подборе участников важен принцип «репрезентативности»: желательно, чтобы в игровом коллективе были представители всех основных социальных институтов, задействованных в решаемой проблемной ситуации.

Таким образом, использование методологического подхода в ОД-играх не означает, что играют в них только методологи. Сценарий игры обязательно должен содержать концепцию взаимодействия методологов и практиков-профессионалов в ходе постановки и решения проблем. Может показаться, что установка на развитие, ориентация на мировой уровень обязательно предполагают, что в ОД-игре должны принимать участие только «корифеи» соответствующих профессиональных областей. И действительно, организаторы стараются привлечь к участию в игре специалистов высокой квалификации. Однако необходимо помнить, что ОД-игры — это игры на постановку и решение проблем, поэтому квалификация участника не может определяться только «багажом», не меньшее значение приобретает способность отказа от известных «домашних заготовок», быстрого освоения того, что знают и умеют другие, точного видения ситуации, способности мыслить и действовать в условиях, когда нельзя опереться на чей бы то ни было опыт и т. д.

ХОД ИГРЫ

Первая фаза игры — вхождение коллектива в проблемную ситуацию. Это фаза **самоопределения** и **самоорганизации** участников, постановки ими собственных целей по отношению к «большой» проблемной ситуации и «малой» ситуации самой игры. Коллектив должен проверить на прочность имеющиеся знания, представления, способы работы, убедиться в принципиальной проблемности ситуации, сформировать готовность действовать по максимальному уровню претензий. Эта фаза позволяет воспроизвести целевым образом в «малом» игровом пространстве (относительно малом, так как в игре обычно принимает участие от 60—70 до 150 и даже до 200 человек) «большую» проблемную ситуацию, ее возможности и ограничения, основные ее конфликтные моменты и противоречия. Возможность так увидеть ситуацию и почувствовать ее в конкретных и напряженных взаимодействиях — это один из первых результатов игры.

Характерное требование в ОД-игре состоит в том, что на всех фазах работы участники должны зафиксировать проблемное содержание ситуации в теоретической форме. Этому моменту придается большое значение. Он необходим для того, чтобы перейти к собственно научному, мыслительному анализу. **ОД-игры — это игры на мышление**, игры, в которых проблемы ставятся и решаются на теоретическом уровне. Именно поэтому уже в первой фазе игры большое значение придается работе со схемами и на схемах. Появление схем — необходимое условие для современных форм мышления⁵.

Первая фаза должна закончиться для коллектива четким осознанием расхождения между имеющимися возможностями и поставленными целями. С психологической точки зрения эта ситуация является предельно напряженной и даже драматичной для коллектива, особенно для тех, кто впервые попадает на игру (предупреждения об этом — одно, а на деле оказаться в принципиально проблемной ситуации — это совсем другое...). В этих условиях готовность и способность коллектива продолжать движение во многом зависит от действий игротехников и руко-

⁵ Разработка и внедрение автоматизированных систем: теория и методология. М., 1975.

водителя игры, предъявляя очень высокие требования не только к их профессиональным, но и личностным качествам. Впрочем, в неменьшей степени эти требования относятся и к любому другому участнику игры. Ситуации развития — это ситуации проверки не только нашего уровня претензий, но и реального соответствия наших действий этим претензиям. Ответственность в таких ситуациях не может быть прерогативой руководителя.

Содержание второй фазы более всего отличает ОД-игру от других методов коллективной творческой работы. Эта фаза резко отличается по своему назначению и содержанию от первой. И вместе с тем именно она наиболее сложна для внешнего описания. Немалый опыт рассказов об играх убедил автора, что человеку, не прошедшему хотя бы один раз большую ОД-игру, дать адекватное представление об этой фазе практически невозможно. Поэтому ограничимся здесь лишь некоторыми важными, но неизбежно внешними фиксациями.

С методологической точки зрения первая фаза игры реализует возможность предметно-профессионального подхода в условиях самоопределения и самоорганизации⁶. Суть второй фазы — переход от предметных, профессиональных способов мышления и деятельности — к методологическим, от различных предметных точек зрения на проблему — к распределенному и рефлексивному анализу самих этих подходов, средств мышления и понимания⁷. Наличную проблемность ситуации надо «увидеть» как взаимосвязанную с имеющимися у нас методами работы в ней.

Результатом процедуры распределения должны стать два типа рефлексивных представлений: представления о самой деятельности и представления об ее объекте (на этом этапе необходимо вводить различие описаний объекта в предметной и распределенной форме). Первый тип представлений в терминах игры называется организационно-деятельностным, второй — объектно-онтологическим. Специфика методологического подхода целиком связана с появлением организационно-деятельностных представле-

ний, и это обстоятельство зафиксировано в названии ОД-игр. Однако это не означает отказа от работы по решению проблемы в объектно-онтологической плоскости. Точнее было бы сказать, что методологический подход и состоит в технике правильного соотношения, «сстыковки» двух этих типов представлений.

Для второй фазы сохраняется требование теоретической работы на схемах, но схемы должны быть уже совершенно другого содержания. В принципе, участники могут фиксировать свои рефлексивные представления в любых известных им средствах, однако они редко оказываются готовыми к работе такого рода. Поэтому на второй фазе возрастает значение методологических консультаций, разыгрывается второй этап взаимодействия методологов и профессионалов.

Вторая фаза должна дать второе — рефлексивное — представление проблемной ситуации, определить на сей раз грань известного и неизвестного для представленной методологического типа. При прохождении этой фазы на уровне максимальных претензий в проблемной ситуации должны оказаться и методологи, и игротехники. Такое требование может показаться странным для тех, кто знаком с практикой деловых игр. Но в отличие от деловых игр, в условиях ОД-игры организаторы принципиально не имеют возможности построить еще до игры модель «правильного» решения. ОД-игра опирается не на правильное решение задачи, а на правильную постановку проблем. Эта постановка должна быть не просто фиксацией «тупика», она должна показывать, чего именно не хватает для достижения целей. Если удается так зафиксировать проблему, у нас появляются основания для разработки основных идей ее решения или, в наиболее сложных случаях, для разработки программ дополнительных исследований, обеспечивающих решение проблемы.

Третья фаза игры — фаза оформления результатов для использования в «большой» ситуации. Нацеленность на практическое действие — это тоже один из важнейших принципов ОД-игры. Может показаться, что он противоречит принципу теоретической работы в игре, но это не так. В методологических концепциях ММК, используемых в ОД-играх, мышление рассматривается не как изолированное и самодостаточное: оно должно быть соотносено с практическим действием, должно давать мыслительные основания для действия и получать, в свою очередь, развивающие

⁶ Щедровицкий Г. П. Принципы и общая схема методологической организации системно-структурных исследований и разработок // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник-1981. М., 1981.

⁷ О распределении см.: Батищева Г. С. Познание творчества // Природа. 1986. № 6. С. 51.

импульсы через рефлексию, понимание осуществленного действия. Эти общие установки реализованы в разработках категории **мыследеятельности**, которая по-новому оформляет представления не только о мышлении и действии, но и о процессе коммуникации — в их системной взаимосвязи в коллективной работе⁸. Проще говоря, то, что сегодня для практических ситуаций принято называть соответствием «слова и дела», в системах с научным обеспечением должно быть, как минимум, соответствием «мысли, слова и дела». Методологическое оснащение ОД-игр нацелено на организацию такого соответствия.

Трудно рассчитывать на то, что все вышеизложенное создало у читателя достаточно полное представление об ОД-играх. Если же начать рассказывать о них подробно и научно строго, понадобится и изложить многие специальные вопросы из методологии науки (дело это не только не простое, но и явно выходящее за рамки статьи), и дать представление об игре «вообще» (на сегодняшний день теоретическое понятие игры еще не построено, несмотря на общую практику игр различного рода), и рассказать об опыте проектирования и подготовки игр, и конечно же, о механизмах самой игры, о наиболее интересных результатах... Уже сам этот неполный перечень довольно утомителен. Часть из этих вопросов освещена в популярных и специальных статьях об ОД-играх⁹. Но очень многое еще находится в стадии доработки и осмысления. Поэтому давайте теперь попробуем познакомиться с ОД-игрой иначе: попробуем взглянуть на нее, побывать на ней — настолько, насколько это получится с помощью журнальной статьи. Наверное, это сложно, наверное, — почти невозможно... И отлично! Если так, то ситуация вполне годится для начала игры! Начнем?

ПОДГОТОВКА ИГРЫ

Автор. Итак, инициативная группа в сборе. В нее входит автор и все, кто начал сейчас читать статью и не остановил

ся на введении в тему. Попробуем проанализировать нашу исходную ситуацию.

Первый читатель (Чит. 1). А что значит проанализировать ситуацию?

Автор. Если вас интересует вопрос о том, что значит вообще проанализировать ситуацию (на уровне понятия и абстрактного представления о ситуации и ее анализе), то это вопрос не ко мне, а к методологу. Это его консультационные функции в играх. Но у нас пока методолога нет. Что же, в нашем вопросе уже есть подсказка: нам надо ввести с самого начала такую роль. Но прежде чем эта роль оживет и начнет действовать самостоятельно, я отмечу, что ваш вопрос можно понять и не чисто теоретически, а практически, примерно так: «Что мы должны сейчас сделать, чтобы проанализировать ситуацию?» Вот на этот вопрос я могу попробовать ответить на основании своего опыта участия в играх и их подготовки. Нам необходимо выявить основных участников нашей ситуации, понять их интересы, исходные целевые установки, их точки зрения и позицию в отношении к организации игры. В круг этих участников, очевидно, входим и мы сами, значит, то же самое надо проделать и с определением своей позиции. Наверное, с этого лучше бы и начать. А закончиться наш анализ должен достаточно ясным пониманием того, как должна быть (в основных чертах) организована игра: для этого надо будет точно сформулировать ее тему, цели, определить организационный проект, программу и регламент игры. Я ничего не напутал?

Чит. 1. А кто может вам помочь, проконтролировать нас в этих вопросах?

Автор. Спасибо за вторую подсказку. Конечно же, это функции специалиста по организации игр, его принято называть «игротехником» (ИТ). Вот и появилась вторая роль в нашей работе (вслед за «методологом»).

Чит. 1. Легко сказать «появилась». Пока появится только названия ролей. Кто же их сможет взять на себя? Есть ли среди нас, инициаторов игры, специалисты по ОД-играм и методологи?

Автор. А вы кто сами будете по своей профессиональной ориентации? (Такой вопрос мы задаем каждому участнику игры при знакомстве с ним.)

⁸ Щедровицкий Г. П. Схема мыследеятельности — системное строение, смысл и содержание // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник-1986. М., 1987.

⁹ См., напр.: Зинченко А. П. Игра // Архитектура: Приложение к «Строительной газете». 1982. 25 апр.

Чит. 1. Я рядовой старший научный сотрудник, физик, кандидат физико-математических наук, методологией специально не занимался (разве что в рамках институтского курса по философии) и не участвовал ни в деловых, ни в ОД-играх (я потому и статью читать начал). Меня вообще-то больше интересуют не игры, а вопросы организации научных исследований. Честно говоря, я и после вашего введения слабо верю в то, что в этом деле нужны игры. Если уж выкладывать свое отношение «начистоту», то мне кажется, нам нужно не «играться», а за то небольшое время-место, которое у нас есть, разобраться в том, для чего нужно программирование научных исследований, как можно решать проблемы внедрения их результатов и т. д. Тут действительно масса вопросов, которые заинтересуют любого причастного к науке читателя. А вы вместо этого тянете нас в какие-то странные дебри вопросов про игру. Может быть, я говорю слишком резко, но я думаю так.

Автор. Большое спасибо вам за такое резкое обозначение своей позиции, в ОД-играх мы называем такое действие самоопределением участника. Без такого вот искреннего самоопределения участника игры, настоящей игры и не будет. Кстати, в одной из игр была даже найдена формулировка для необходимой степени искренности в игре: «говорить надо искренне, но на грани откровенности». Вы нам подали пример такого действия, и будет очень хорошо, если мы сможем ему следовать. А теперь отвечу на ваш вопрос...

ИТ. Простите, что вмешиваюсь, но этот вопрос больше относится к моим функциям как игротехника.

Чит. 1. Это кто говорит? Откуда взялся игротехник?

Автор. Похоже, кто-то просто взял на себя эти функции.

Чит. 1. Но где гарантии, что он с ними справится?

Автор. Гарантий никаких в игре нет — я об этом предупреждаю с самого начала.

ИТ. А исходить мы с вами можем только из тех участников, которые есть. В этом состоит один из важнейших принципов игры: «Здесь и теперь!». То есть мы должны использовать по максимуму то, что мы имеем в наличии и в отведенное нам

время. Вот я, один из участников, и взял на себя эту роль. Кстати, скажу пару слов о своей позиции. Я по профессии геолог, работаю сейчас в НИИ. Мне довелось побывать на некоторых играх в качестве рядового участника. Лично мне игры дали очень много. Если назвать самое главное — я понял, почувствовал реально, что в науке можно работать по-настоящему коллективно, что в этом таятся огромные новые возможности при решении наиболее сложных проблем. А еще поменялось мое отношение к игровым методам. По правде говоря, на первую игру я ехал с большой неохотой, по приказу директора института. На вторую я, преодолевая массу препятствий, старался поехать сам, потому что захотел овладеть методом игры. Вот и сегодня я взялся за роль игротехника, потому что это соответствует моим интересам.

Чит. 1. Но хватит ли у вас опыта, квалификации?

ИТ. Конечно, нет. Поэтому я буду играть в игротехника. Кстати, в этом, наверное, и состоит основное преимущество игрового метода: он позволяет начать действовать даже в тех случаях, когда мы с точки зрения привычной организации дела к этому не готовы. Сравним нашу ситуацию с ситуацией в детских играх. Когда дети играют, скажем, в путешествие на корабле и кто-то должен быть капитаном, нам ясно, что «подготовленного» капитана среди них нет. Для начала кто-то из детей должен набраться смелости и сказать: «Я буду капитаном». Если этого не произойдет — игры не будет.

Чит. 2. А я вот слушал ваш разговор со стороны и удивлялся, когда же вы делом займетесь? У вас не только на саму игру, но и на подготовку к ней уже не остается времени. Не пора ли вам провести тот самый «рефлексивный анализ», чтобы понять, куда ли вы идете? А еще я бы предложил выбрать руководителя игры, который бы не давал нам отвлекаться на второстепенные вопросы.

ИТ. Прекрасные предложения! Но игровой принцип гласит: «Выдвинул инициативу — реализуй ее!» Так что будем считать, что руководитель у нас есть. Как будем продолжать нашу работу, уважаемый Руководитель (Рук.) игры?

Рук. Начнем с короткой рефлексивной остановки. Кто хотел бы начать и ответить на вопрос, что у нас произошло за это время?

РЕФЛЕКСИВНАЯ ОСТАНОВКА

Чит. 1. Ответить можно очень просто. К работе мы не приступали, а занимались разговорами вокруг нее. Сначала Автор предложил проанализировать ситуацию, потом я задал вопрос, потом на него долго отвечали, появились другие вопросы — пока вы нас не остановили. Я кое-что успел выяснить про ОД-игры, но вряд ли мы куда-то продвинулись. Вот и все.

Рук. Уважаемый Игротехник, вы не смогли бы прокомментировать это выступление? У меня такое впечатление, что если мы все просто будем вспоминать и перечислять то, что слышали, нам это мало что даст. Кстати, можно ли назвать «рефлексивным анализом» то, что сделал наш уважаемый коллега, Чит. 1?

ИТ. Такое припоминание событий (каждый из нас в повседневной жизни часто это делает) — еще не рефлексия. Вспомним замечание методолога: рефлексия должна «высветить» средства, способы, структуру нашего мышления и деятельности.

Чит. 1. Разве мы осуществляли деятельность? Мы беседовали, или, выражаясь более научным языком, осуществляли коммуникацию.

ИТ. Если с вашей точки зрения это так, проанализируйте, как она происходила. Для этого можно, например, выделить позиции основных участников, их цели, языковые средства коммуникации и т. п. Было бы важно определить, достигли ли они взаимопонимания и т. д.

Рук. Правильно ли я понял, что рефлексивный анализ будет зависеть от точки зрения участника? Как же нам получить объективное представление о том, что было?

ИТ. Вы поняли правильно, только здесь необходимы уточнения. Рефлексивный анализ будет зависеть не просто от субъективной точки зрения участника, а прежде всего от той системы отсчета (как говорят в физике), относительно которой мы будем фиксировать наше движение. Смена системы отсчета будет давать другую картину движения. Если удастся выявить систему отсчета участника, можно будет даже оценить, правильно ли он осуществлял рефлексю со своей точки зрения (я бы говорил лучше — «со своей пози-

ции»). В частности, можно будет проверить, правильно ли он осознает свое место в этой системе отсчета. Рефлексия — это прежде всего поворот сознания на себя: свою систему отсчета и свое место в ней. А потом уже определяется место других в этой системе, а еще дальше — делается попытка выявить собственные системы отсчета других участников. «Объективную» картину (а точнее, полную, т. к. любая из правильных рефлексивных картин в этом смысле объективна) можно получить как полный набор этих частных, относительных картин. И еще один важный момент: рефлексивная картина зависит от наших целей: цели определяют то, на что ориентирована рефлексия (мы видим то, что хотим увидеть).

Рук. Своей консультацией вы поставили нас в непростое положение. Теперь я понял, что вам в играх приходится специально обучать участников рефлексивной работе. Не смогли бы вы для облегчения нашей задачи сделать сначала рефлексивный анализ со своей позиции (по вашему же игровому принципу об инициативе)?

ИТ. Попробую. Я — игротехник, и буду оценивать нашу ситуацию в игротехнической системе отсчета. В этой системе для оценки нашего движения мне необходимо ответить на ряд вопросов:

1. Продвигаемся ли мы в деле подготовки к игре?
2. Используем ли мы при этом элементы ОД-игротехники, какие и как?
3. «Включил» ли уже кто-то из участников игровое отношение к ситуации? и т. д.

Каждый такой вопрос задает мне конкретную проекцию того, что происходит. Я начну с первого...

Рук. Но ведь этот набор вопросов для вас стандартный (этакий «джентльменский набор») для любой ситуации и даже любой игры. А мне хотелось бы услышать, что же особенного происходит у нас именно сегодня. Как это сделать?

Методолог (Мет.). Для этого нашему уважаемому коллеге придется продолжить свое самоопределение. Пока что он только заявил свою «профессиональную» позицию. Это уже многое определило, т. к. теперь все происходящее он должен рассматривать с точки зрения соответствующих профессиональных представлений, как сквозь призмы особого рода. Однако ситуацию это еще не задает. Чтобы у игротехника появилась ситуация, он еще как ми-

нимум должен определяться в своих целях. Именно цели задают основу, каркас ситуации. Если их нет, происходящее аморфно, текуче, неостановимо. Игротехнику это хорошо известно по играм: для тех, кто попадает на игру «бесцельно», а потом так и не успевает определить свои цели, интенсивный круговорот игры не только не дает возможности быть активным, самостоятельным игроком, но и хотя бы со стороны понимать, что происходит, приводит лишь к мельтешению в глазах. Напрасно после игры будут допытываться друзья и начальство: «что же там было?» — в ответ они могут услышать много интересного о личных переживаниях участника, но ровно ничего об игре и ее результатах. Итак, фиксация профессиональной позиции делает рефлекссию профессионально определенной, а фиксация целей делает ее рефлексией целенаправленной, ситуативной, рефлексией активного участника событий. В чем же состоят ваши цели, уважаемый Игротехник?

Чит. 3. Где это вы слышали, чтобы кто-то открыто декларировал свои цели?

Мет. Я — на каждой игре. В играх даже специально выделяется время (по игровым масштабам — немалое) для того, чтобы каждый участник и игровые группы определили свои цели. «Беда» заключается не в том, что мы имеем «закрытые», «свои» и-т. п. цели, а в том, что мы их, как правило, просто не имеем. А когда нас просят их сформулировать, оказывается, ко всему прочему, что мы этого еще и не умеем. В играх такая ситуация наблюдается постоянно. Вам, как научному сотруднику, она может быть тоже знакома по опыту составления планов и программ научно-исследовательской работы: в графы «Цели» и «Результаты» мы, как правило, просто еще раз переписываем тему работы, а на все уточняющие вопросы можем лишь «многопонимающе» улыбнуться, намекая на то, что в «настоящей» науке о «результатах» и «целях» можно говорить только выполнив исследования. Про «цели» мы потом напишем — в готовом отчете или диссертации... Так часто рисуют дети — «что получится»... В этом неумении ставить цели состоит одна из основных методологических, организационных и даже психологических трудностей перехода на программную организацию научно-исследовательской работы.

Чит. 3. Я не буду говорить за всех, но про себя я точно могу сказать, что

я всегда знаю, чего хочу, поэтому я всегда имею цели.

Мет. «Хотеть» — еще не значит иметь цели. В отличие от психологического подхода в определении целей, организационно-деятельностный подход предполагает, что цель должна быть социально «проработанной» и значимой. Поэтому мы рассматриваем игротехника не просто как «одного из игротехников» со своим частным мнением, а как представителя определенного профессионального сообщества, определенной сферы деятельности, определенного коллектива. При таком понимании целей «хочу» сближается с «должен» — не по административной обязанности, а как результат осознания своего профессионального и личного долга.

Чит. 3. А чем слабее подход психологический? Наверное, и у него есть свои преимущества?

Рук. Этот вопрос и дискуссию для желающих давайте адресуем на методологическую консультацию (такие консультации-дискуссии проводятся на ОД-играх в вечернее время и являются важной формой методологического оснащения игры). А теперь слово Игротехнику.

ИТ. У меня не одна цель. По опыту игр я знаю, что для эффективного действия на ОД-игре надо определить как минимум три группы целей: производственные, игровые и рабочие. Производственные цели я определяю с точки зрения своих профессиональных ситуаций, находящихся вне игры. В своем институте я хотел бы сделать применение игровых методов нормальной практикой коллективной работы над наиболее сложными проблемами. Сейчас, когда мы готовим программы научно-исследовательской работы на следующую пятилетку и на более далекую перспективу, необходимо определить долгосрочную стратегию развития института и отрасли. Вот где пригодилась бы игра для выдвижения и проверки основных идей, подходов! Поэтому наша игра должна продемонстрировать новый метод моим коллегам. А сам я надеюсь повысить свою игротехническую квалификацию — об этом я уже говорил. Игровые и рабочие цели относятся к «внутреннему» пространству игры. Игровую цель я для себя определил так: втянуть в игру читателей. Если этого не произойдет, наша статья будет лишь имитировать игру в коммуникации созданных Автором персонажей.

Чит. 3. А могу я в качестве игровой цели определить для себя перевод нашей беседы с игры на нормальное, деловое обсуждение? Я при этом, наверно, окажусь вне игры и должен буду если уж и играть, то против вас, Игротехник!

ИТ. Ваша цель приемлема для игры, и если вы сумеете ее удерживать — будет очень полезна для самой игры. Кстати, на первой моей игре один из участников так и заявил: «Моей целью будет сломать игру!».

Чит. 3. Его отправили с игры?

ИТ. Нет.

Чит. 3. Он вам здорово мешал?

ИТ. Он нам здорово помогал: своей жесткой критикой хода игры он натолкнул нас на интересные идеи по перестройке программы, когда мы попали в тяжелую ситуацию.

Чит. 3. Но раз вы перестроили программу, то ту, «первую», игру не сыграли и, значит, мой коллега — разрушитель — победил.

ИТ. Это красивый аргумент для вас как «разрушителя игры». Но как игротехник я знаю, что не было не только «первой», но и «второй» игры — была просто игра, которая, наткнувшись на препятствие, сумела его использовать для нового интересного продолжения. А вот программ было две: первая, разработанная до игры, была сломана, а вторая была разработана после этого на игре — как обеспечивающая продолжение работ и достижение общих целей игры. И еще одна деталь, важная для нашей подготовки к игре: программируется не игра, а рабочий процесс в игре. Поэтому в той игре **помнялось содержание работ**, а игра за счет этого **продолжалась**. Игру нельзя запрограммировать, игре необходим сценарий, который должен так задавать состав игровых позиций и возможные способы их взаимодействия, чтобы все сбило в рабочем процессе использовались для его интенсификации.

Чит. 1. Я наконец-то раскусил вашу тактику, уважаемый Игротехник! Вы каждый вопрос используете не столько для прямого ответа, сколько для подготовки нас к игре. Пока я этого не понял, мне все время хотелось вас остановить и вернуть к «делу». Теперь я могу рефлексивно оценить нашу ситуацию с вашей позицией и вижу, что с точки зрения ваших целей мы многое

успели. А что не успели? Что, по-вашему мнению, еще не сказано об ОД-игре принципиально важного?

Рук. Кстати, а куда девался Автор? Его уже очень давно не слышно. Втянул нас в этот разговор об играх, а сам помалкивает.

ИТ. Я за ним наблюдал — он уже четвертый раз переделал программу и регламент статьи, а мы ему в пятый раз все поломали.

Автор. Это действительно так. Вместо подготовки к игре — вы устроили «круглый стол» с ответами на вопросы читателей, вместо рефлексивного занятия — вы «круглый стол» продолжили. А все потому, что помнили про свои «производственные» и «игровые» цели, а про рабочие забыли даже рассказать.

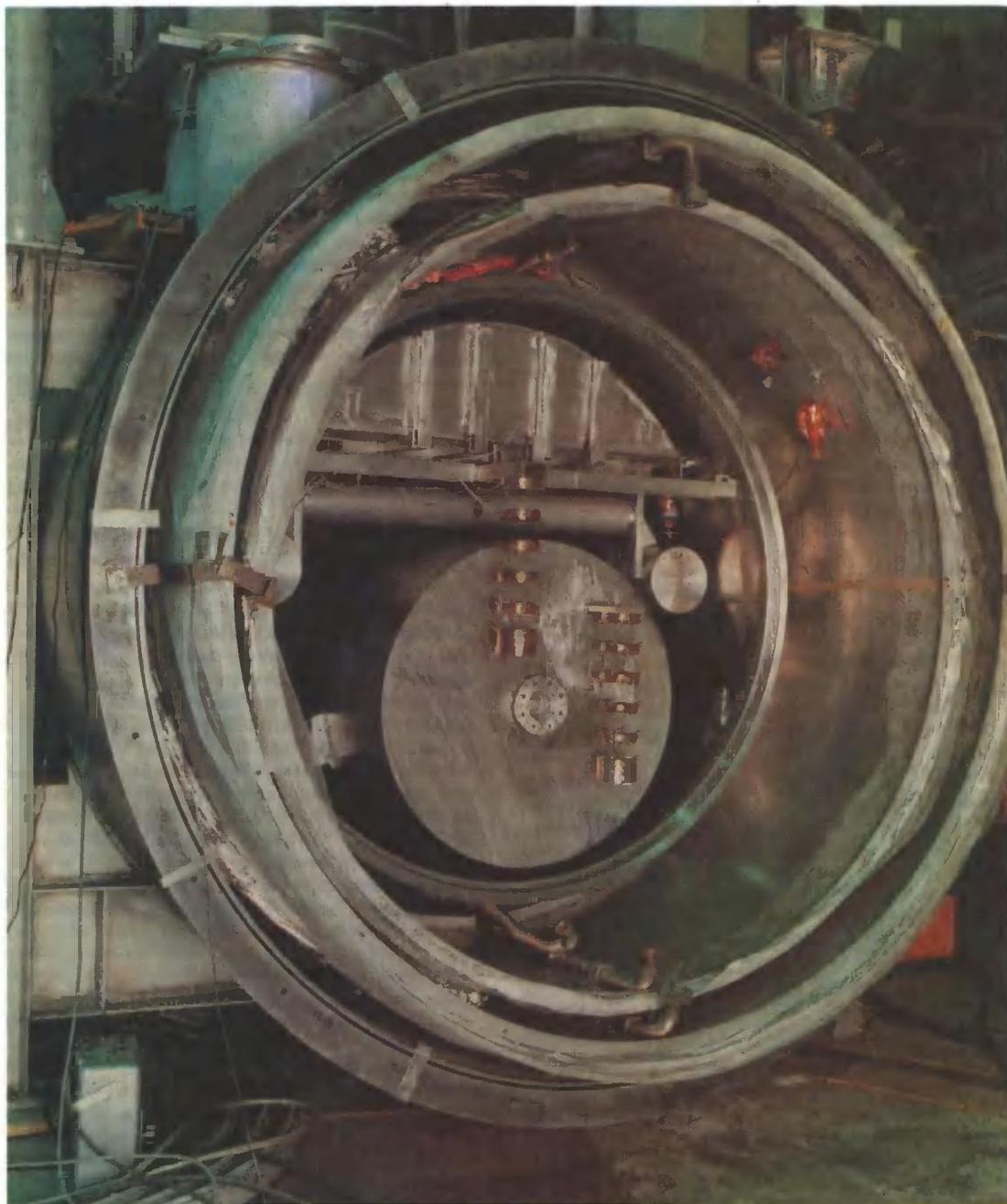
Рук. Дорогой Автор, но вы же прекрасно знаете, что первый день на играх, как правило, проходит именно так. Зато мы теперь уже немного готовы к игре, вернее, к играм. И я бы согласился с тем, что рабочих целей у нас пока и не могло быть, потому что практическую ситуацию вы нам не задали.

Автор. А почему я ее должен задавать? Впрочем, я забыл об основном игровом принципе: выступил с инициативой... Что же, у меня есть три разных предложения. Они зависят от того, удалось ли вам, Игротехник, добиться своих игровых целей и подключить к нашей игре читателей. Если да, то мы можем продолжить и, во-первых, в следующий раз в таком же составе, как сегодня, рассказать об одной из 50 больших ОД-игр, каждая из которых проводилась в конкретной проблемной ситуации. Во-вторых, мы можем продолжить теоретическое обсуждение ОД-игр, как это делается на методологической консультации.

Чит. 1. По-моему лучше...

Рук. Извините, пожалуйста. Наше время истекло. Слово теперь тем, кто сегодня молчал.

В ПОИСКАХ ГРАВИТАЦИИ



Гравитационная антенна веберовского типа (Станфордский университет). Крышка открыта. Виден торец алюминиевого цилиндра массой 5 т. Над ним в

виде сегмента — резервуар для жидкого гелия объемом 1 м³.

В наш век, близящийся уже к концу, астрономия (как, впрочем, и физика, и биология) развивалась и развивается очень бурно. Можно даже сказать, что произошла вторая астрономическая революция (первая связана с именами Коперника и Галилея). Ее основное содержание, если не касаться исследований Луны и планет, — это, с одной стороны, создание межгалактической астрономии и современной космологии с ее представлением о расширяющейся Вселенной, а с другой — превращение астрономии из оптической во всеволновую. В результате, если, скажем, до 1930 г. почти вся информация о космосе поступала к нам по довольно узкому оптическому каналу (длина волны от 0,3 до нескольких микрометров), то сейчас ситуация иная. В радиоастрономии широко используются сантиметровые, метровые, а иногда и более длинные волны. Типичный рентгеновский диапазон простирается от 10^{-2} до 10^{-4} мкм (энергия квантов от 0,1 до 10 кэВ). В γ -диапазоне принимается излучение с энергией квантов в сотни тысяч, миллионы и даже сотни миллионов электронвольт. Недавно зафиксировано космическое γ -излучение с энергией до 10^{16} эВ (ей отвечает длина волны порядка 10^{-16} мкм).

Таким образом, ширина спектра принимаемых космических электромагнитных волн за последние 50 лет возросла, грубо говоря, на 20 порядков. Правда, рентгеновский и особенно γ -диапазоны освоены пока значительно хуже, чем оптический и радиодиапазоны. Но в целом становление всеволновой астрономии уже произошло и привело к ряду замечательных открытий (радиогалактики, квазары, пульсары, рентгеновские «звезды», космические мазеры, реликтовое микроволновое излучение, γ -всплески и т. д.). Начиная с 1912 г. стал осваиваться и еще один канал — космические лучи, т. е. приходящие к Земле из космоса потоки заряженных частиц.

Все эти каналы в настоящее время широко используются в астрофизических исследованиях, хотя, к сожалению, в некоторых случаях их освоение происходит медленнее, чем хотелось бы. Особенно это относится к γ -диапазону.

Возникает естественный вопрос о резервах, о новых каналах астрономической информации. Если говорить «по большому счету», известны только два таких канала — нейтрино и гравитационные волны. Соответственно на многовековом древе астрономии несомненно разовьются две новые ветви: нейтринная и гравитационно-волновая астрономия. И хотя в настоящее время принимаются лишь нейтрино от Солнца, да и то одним детектором, но существуют проекты новых установок для приема космических нейтрино самых различных энергий — от долей электронвольта до превышающих 10^{12} — 10^{14} эВ. Надеюсь, еще до конца века мы будем свидетелями становления нейтринной астрономии.

То же можно сказать о гравитационно-волновой астрономии, которой посвящена публикуемая ниже беседа корреспондентов журнала «Природа» Н. Д. Морозовой и Ю. Н. Елдышева с известным американским физиком и астрофизиком профессором К. Торном. Комментировать эту беседу по существу нет оснований. Ограничусь тем, что подчеркну несколько моментов. Во-первых, профессор К. Торн принадлежит не к числу абстрактных теоретиков, а сочетает глубокое знание теории и высокую технику вычислений с пониманием эксперимента, его возможностей и задач. Во-вторых, К. Торн давно и тесно сотрудничает с советскими физиками, и особенно с профессором В. Б. Брагинским и возглавляемой им группой в МГУ. В-третьих, приятно отметить высокий уровень проводящихся в СССР экспериментальных и теоретических исследований в области гравитационно-волновой астрономии; этим мы в первую очередь обязаны группе В. Б. Брагинского. Для развития подобных исследований, чтобы работать с американскими физиками «на равных», нужно не так уж много. Хотелось бы, чтобы не подтвердилась (в какой уж раз!) справедливость слов: нет пророка в своем отечестве.

Задачи гравитационно-волновой астрономии осознаны, экспериментальная работа уже ведется. Будем с нетерпением ждать ее первых положительных результатов и новых астрономических открытий, которые принесут нам гравитационные волны.

Академик В. Л. Гинзбург

КОРР. Как и в связи с чем, по Вашему мнению, возникла проблема поисков и регистрации гравитационных волн? Не могли бы Вы напомнить нашим читателям историю вопроса.

К. ТОРН. Гравитационные волны предсказал еще в 1918 г. А. Эйнштейн в рамках своей общей теории относительности. Примерно до 40-х или 50-х годов считалось, что гравитационные волны выступают, скорее, как математический объект и не влияют на астрономическое и физическое понимание Вселенной. Более того, у многих исследователей возникали серьезные сомнения в том, что гравитационные волны существуют в действительности. Однако затем П. Дирак высказал предположение, что гравитационные волны можно зарегистрировать экспериментально. Примерно в 1950 г. Г. Бонди в Англии теоретически показал, что гравитационные волны — это реальный физический объект, существующий в рамках общей теории относительности.

Однако я полагаю, что главная роль в постановке этой проблемы принадлежит Дж. Веберу. До него никто не считал возможным зарегистрировать эти волны, поскольку их интенсивность чрезвычайно мала. В 1958 г. Веберу пришла в голову идея, что гравитационные волны, возможно, удастся обнаружить с помощью массивных цилиндров, играющих роль приемных антенн, и пьезоэлектрических кристаллов, регистрирующих переменное натяжение цилиндров (и как следствие — их удлинение и сокращение).

Вслед за Вебером над проблемой обнаружения гравитационных волн задумался еще один человек — профессор В. Б. Брагинский из Московского государственного университета. К 1960 г. Веберу удалось развить свою методику с использованием цилиндров. Ряд методических исследований, результаты которых можно было применить для регистрации гравитационных волн, выполнил и Брагинский. Это прежде всего относится к системам с высокими величинами добротности.



Кип Стивен Торн (Kip Stephen Thorne), заведующий кафедрой Калифорнийского технологического института (США), член Национальной академии наук США, член ученого совета НАСА. Почетный доктор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Степень доктора философии получил в 1965 г. в Принстонском университете. Специалист в области теории гравитации, астрофизики, квантовой теории измерений. Автор ряда книг, в том числе переведенной на русский язык: Гравитация (совместно с Дж. Уиллером и Ч. Мизнером). М., 1977.

В 1969 г. Вебер заявил, что ему удалось зарегистрировать гравитационные волны. Брагинский модернизировал аппаратуру, использованную Вебером, и попытался воспроизвести его результаты. Вслед за ним многие группы исследователей в различных странах мира стали развлекать эти работы, чтобы повторить результаты Вебера, однако безуспешно. Зарегистрировать гравитационные волны не удалось никому. Вот такова вкратце история вопроса.

КОРР. Как Вы сами обратились к этой проблеме?

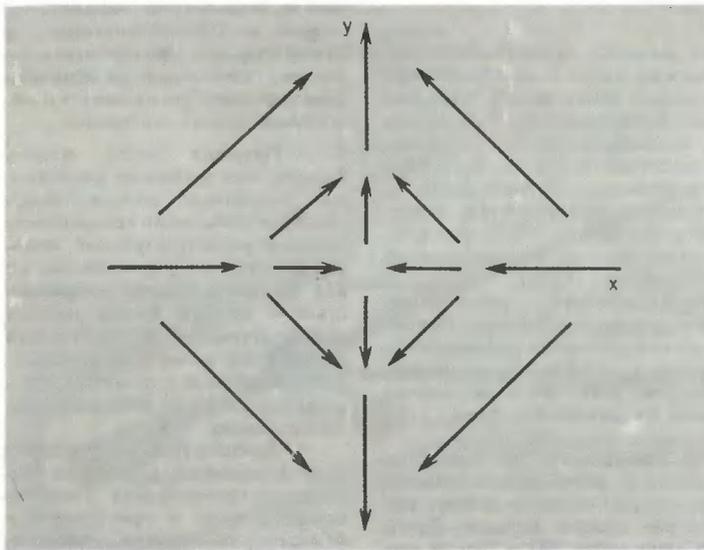
К. ТОРН. Для Вебера, я полагаю, главным было подтвердить правильность общей теории относительности. «Моя причина» также связана с точной проверкой общей теории относительности, достигнутой с помощью гравитационных волн, а также с тем, что они открывают нам прин-

ципально новый путь познания Вселенной, доставляя уникальную информацию. Убежден, что гравитационные волны сыграют в развитии наших представлений о Вселенной такую же революционную роль, какая в 40-х годах выпала на долю радиоастрономии.

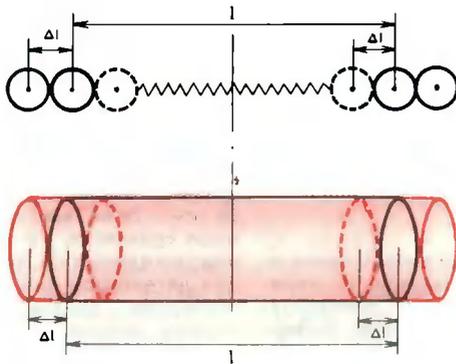
Я узнал о работах Вебера в 1963 г. До этого времени я особенно не интересовался проблемой регистрации гравитационных волн. Однако сообщение Вебера об их обнаружении вдохновило меня. Я не был близко знаком с этой проблемой, а занимался некоторыми другими теоретическими вопросами, связанными, правда, с гравитационными волнами, но в основном — с математической точки зрения. Меня интересовали в то время черные дыры. Когда выяснилось, что результаты Вебера не подтвердились, я был обескуражен, и мои планы на будущее выглядели достаточно неопределенно.

В 1968 г. я приехал в СССР и в Тбилиси на Международной гравитационной конференции познакомился с профессором Брагинским. В период с 1968 по 1975 г. мы много раз обсуждали с ним проблему регистрации гравитационных волн. Основной трудностью, как мне представлялось в то время, была огромная дистанция между достигнутым уровнем чувствительности детекторов и тем уровнем, который необходим для регистрации гравитационных волн чрезвычайно малой интенсивности. Но Брагинский убедил меня, что существуют способы значительно повысить чувствительность детектирующей аппаратуры.

В 1975 г., когда мы находились на конференции в Италии, я окончательно решил заняться проблемой детектирования гравитационных волн. В итоге, в 1977 г. в Калифорнийском технологическом институте (Калтех), расположенном в г. Пасадене, была создана группа, которая подготовила проект исследований в этом направлении, признанный удовлетворительным. В 70-е годы моя роль сводилась в основном к обсуждению теоретических вопросов с представителями группы МГУ.



Поле ускорений в плоскости XY, создаваемое гравитационной волной, которая распространяется вдоль оси Z.



Схема, иллюстрирующая изменение расстояния между двумя массами, связанными пружинкой (вверху), и удлинение или сокращение сплошного цилиндра (внизу) при прохождении гравитационной волны. Изменение длины такого пружинного маятника или цилиндра определяется выражением $\Delta l = h l$, где h — вариация метрики пространства, характеризующая изменение масштабов, или единиц длины, за счет изменения гравитационного поля. Для измеряемой в эксперименте величины Δl справедлива оценка: $\Delta l \approx \sqrt{kTz/Qm\omega}$, где k — постоянная Больцмана; T и m — температура и масса колеблющегося протяженного элемента; Q — добротность материала, из которого этот элемент изготовлен; z — время измерения; ω — частота колебаний.

Затем приобретенный мной в Москве интеллектуальный багаж экспериментатора я решил применить в Пасадене. Первоначально у нас существовали два различных плана относительно направления будущих исследований, которые рассматривались параллельно вплоть до 1979 г. Затем я сделал выбор и пригласил в Пасадену извест-

ного экспериментатора Р. Дривера из Шотландии.

КОРР. И так, в 1969 г. Вебер сообщил об обнаружении гравитационных волн. В начале 70-х годов появились сомнения в правильности его интерпретации экспериментальных данных, а к середине 70-х годов эти результаты практически были зак-

реты. Чем, по-Вашему, характеризуется последнее десятилетие?

К. ТОРН. Это десятилетие ознаменовалось заметными усилиями продвинуться сразу в нескольких направлениях. Прежде всего, наметились два новых подхода к проблеме детектирования гравитационных волн. Я имею в виду, во-первых, использование для этой цели двух далеко разнесенных масс: например, Земли и какого-нибудь искусственного спутника. Такой детектор хорош для регистрации очень низкочастотных гравитационных всплесков (10^{-1} — 10^{-4} Гц).

Во втором (наземном) варианте надежды связаны с применением чувствительных лазерных систем, предназначенных для регистрации гравитационных волн с частотами 10^2 — 10^4 Гц.

Но все-таки главным направлением оставалась борьба за повышение чувствительности наземных детекторов. Мне хотелось бы сказать несколько слов о современных достижениях в этой области. В первоначальных экспериментах Вебера чувствительность (минимальное регистрируемое относительное удлинение или сокращение цилиндра, $\Delta l/l$) составляла 10^{-15} , может быть, чуть выше 5×10^{-16} . Постепенно, в течение 1969—1975 гг. ее удалось повысить до $3 \cdot 10^{-17}$. Иными словами, за это время мы научились регистрировать колебания вдесятеро меньшей амплитуды. В пересчете на поток энергии (а в астрофизике важна именно чувствительность по энергии) выигрыш оказался еще значительно больше — в 100—1000 раз.

Мы полагаем, что для детектирования гравитационных волн необходима чувствительность порядка 10^{-20} , т. е. нужно научиться регистрировать колебания с амплитудой в 3000 раз (или с энергией в 10^7 раз) меньше. В 70-е годы для изготовления цилиндров начали использовать новые материалы, обладающие высоким значением добротности, или малым уровнем энергетических потерь. В МГУ для этой цели используют лейкосапфир, в Университете Западной Австралии

Веберовские детекторы, или антенны, представляют собой массивные цилиндры, самая низкая частота колебаний которых соответствует обратной величине ожидаемого периода гравитационной волны. Это может быть, скажем, 1 кГц или 10 кГц, т. е. длительность такого «пинка», испытываемого цилиндром, составляет 1 мс или, соответственно, 0,1 мс. Если безразмерная амплитуда h вариаций напряженности гравитационного поля или (что то же самое) метрики пространства, вызывающих изменение размеров объекта, порядка 10^{-20} , то при длине цилиндра l около 1 м надо «разглядеть» его удлинение или укорочение примерно на $\Delta l = l0^{-18}$ см ($\Delta l \approx hl$).

По различным астрофизическим оценкам, у длительных всплесков гравитационного излучения амплитуда больше. Поэтому, казалось бы, более перспективно пытаться обнаружить низкочастотные гравитационные волны, т. е. работать на низких частотах. Но, с другой стороны, на этих частотах значительно труднее изолировать антенну от различных помех (например, сейсмических).

В детекторах второго типа (лазерных), по существу ничем принципиально не отличающихся от веберовских, используются свободные массы, не связанные механически между собой и отстоящие одна от другой как можно дальше. Пусть расстояние l между массами равно, например, 100 м. Тогда при той же величине h достаточно зарегистрировать смещение Δl в 100 раз большее, т. е. ситуация заметно облегчается. Но коль скоро массы свободные, не остается ничего другого, как применить оптическую (лазерную) или радиоиндикацию их малых колебаний. Таким образом, сами измерения становятся проще, а центр тяжести проблемы регистрации гравитационных волн переносится на оптическую систему индикации колебаний. Такие детекторы получили название лазерных гравитационных антенн, хотя, пожалуй, правильнее было бы их назвать детекторами на свободных массах.

(г. Перт) — ниобий, в ряде научных центров США — новые сплавы алюминия. Лейкосапфир, из которого изготавливают детекторы в московской группе, на сегодня — рекордсмен по добротности. У него самый низкий уровень потерь, значительно ниже, чем у алюминия, с которым мы связываем свои надежды в США. Но детекторы из лейкосапфира не могут иметь очень большую массу. Физики МГУ рассчитывают изготовить резонатор из монокристалла лейкосапфира массой около 10 кг. Его чувствительность будет примерно такой же, как у алюминиевого цилиндра массой несколько тонн. Итак, предстоит выбор между детекторами сравнительно небольшой массы, изготовленными из материала с весьма высокой добротностью, и детекторами значительно большей массы, изготовленными из материала, чья добротность гораздо ниже.

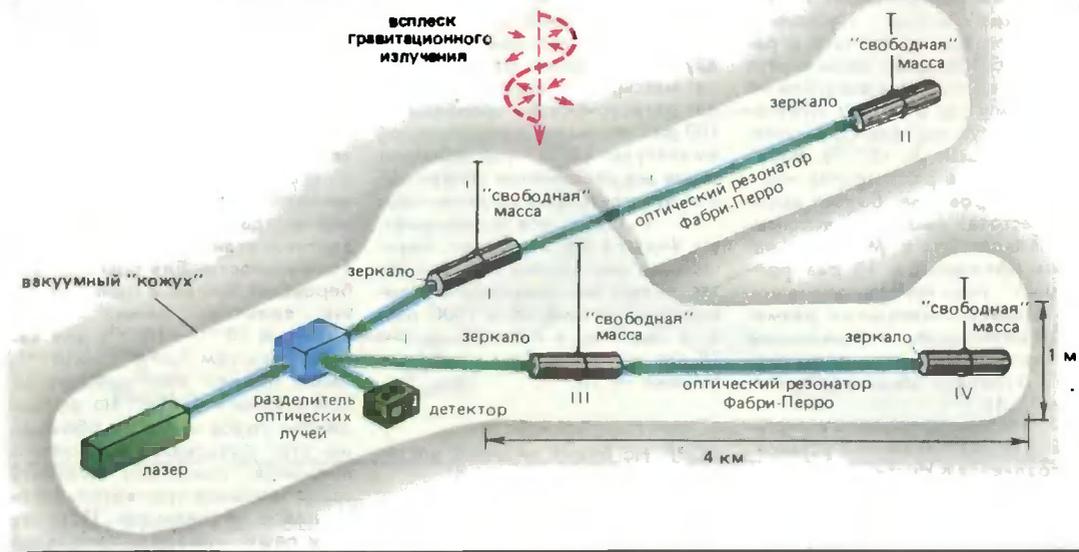
Еще один способ повышения чувствительности — переход к сверхнизким температурам. В эксперименте Вебера использовались пассивные преобразователи энергии. В них энергия колебания стержней преобразовывалась в электрические сигналы, вырабатываемые пьезоэлектрическими датчиками. Брагинский в конце 60-х годов предложил вместо пассивных использовать активные преобразователи энергии с высокой добротностью, в которых подлежащие обнаружению механические колебания модулируют поток от внешнего источника электромагнитной энергии. После этого все группы, занимающиеся проблемой регистрации гравитационных волн, перешли на использование активных преобразователей. Последнее десятилетие характеризовалось заметным совершенствованием активных преобразователей энергии. В МГУ с этой

целью используют модуляцию потока в СВЧ-резонаторах; в Станфордском университете — датчик, основанный на эффекте Джозефсона. Применяются и некоторые другие методики.

Подводя итоги, можно сказать, что истекшее десятилетие отмечено весьма энергичными попытками совершенствования регистрирующей аппаратуры (переход к системам со все более высокой добротностью и ко все более низким температурам). В результате сегодня мы можем регистрировать колебания с энергией примерно в 1000 раз меньшей, чем 10 лет назад.

Любопытно провести сравнение между развитием техники детектирования гравитационных волн и прогрессом в области оптических телескопов. Галилей начинал с телескопа, диаметр объектива которого составлял несколько сантиметров (будем считать его для определенности равным 3 см). Так вот, со времени первых экспериментов Вебера и до 1975 г. чувствительность гравитационных детекторов возросла в 100 раз. В оптической астрономии такому росту чувствительности соответствует увеличение диаметра телескопа с 3 до 30 см. Если же продолжить наше сравнение, то увеличение чувствительности гравитационных детекторов, достигнутое за последнее десятилетие, аналогично замене телескопа диаметром 30 см гигантом с диаметром объектива 9 м, т. е. в полтора раза больше, чем диаметр крупнейшего в мире оптического телескопа Специальной астрофизической обсерватории АН СССР!

Итак, мы имеем очень большой рост чувствительности приемной аппаратуры, но, к сожалению, пока еще гораздо меньший, чем необходимо для детектирования гравитационных волн. Достигнутый сегодня уровень чувствительности ($\Delta l/l$) составляет примерно 10^{-18} , и нам нужно повысить его еще примерно в 100 раз: это соответствует переходу от девятиметрового телескопа к телескопу с диаметром зеркала 900 м. В оптической астрономии подобная затея безнадежна, но мы настроены оптимистически наде-



Лазерная гравитационная антенна. Два оптических резонатора Фабри—Перро, возбуждаемые одним лазером, используются для регистрации малых относительных движений 4 масс (механических маятников) за время 10^{-2} — 10^{-3} с. Всплеск гравитационного излучения, падающий перпендикулярно плоскости, в которой расположены резонаторы, должен в свой первый полупериод сблизить массы I и II и удалить массы III и IV на величину примерно $4 \cdot 10^{-15}$ см. В следующий полупериод — наоборот. Таких установок две: в Калтехе и в МТИ.

емя осуществить наши замыслы. Поручкой тому — технологическое совершенствование инструментария гравитационно-волновой астрономии.

КОРР. Какие установки обоих типов действуют в настоящее время? В чем их отличительные особенности?

К. ТОРН. Сегодня веберовские детекторы с массивными цилиндрами действуют в Станфордском университете и ЦЕРНе. Оба детектора работают на частоте около 800 Гц, а их чувствительность близка к 10^{-18} . Эксперименты ведутся по методике регистрации совпадения событий. В области низких частот работает с неохлаждаемыми детекторами и группа китайских физиков в Гуанчжоу. Чувствительность их установок составляет $(3-5) \cdot 10^{-17}$. Этим и исчерпывается перечень установок, работающих с де-

Существует значительный резерв повышения чувствительности регистрации низкочастотных (с периодом 10^2 — 10^4 с) всплесков гравитационного излучения. Методика сводится к измерению доплеровского смещения частоты электромагнитного сигнала, ретранслируемого на Землю, например, с удаленного спутника. Регистрируемый относительный сдвиг частоты $\Delta\omega/\omega$ примерно равен амплитуде вариаций метрики пространства h , вызванных гравитационной волной. При этом минимальная обнаружимая величина h ограничена нестабильностью частоты наземного автогенератора (электромагнитных часов). В настоящее время в Лаборатории реактивного движения Калифорнийского технологического института таким способом удалось добиться чувствительности на уровне $h=10^{-13}$.

Между тем уже достигнутый уровень нестабильности частоты автогенераторов гораздо ниже: $\Delta\omega/\omega=3 \cdot 10^{-16}$. Можно предполагать, что в ближайшее время эта нестабильность не превысит 10^{-17} . Возможно, такие эталоны частоты удастся получить, используя диэлектрические кольцевые СВЧ-резонаторы из монокристаллов лейкосапфира, созданных физиками МГУ и Института кристаллографии АН СССР. В этих резонаторах достигнут так называемый фундаментальный предел потерь, наблюдаемый в идеальных кристаллических диэлектриках. Их электрическая добротность составляет около 10^8 при температуре жидкого азота и превышает 10^9 при температурах жидкого гелия.

текторами веберовского типа в настоящее время. Несколько групп должны приступить к работе в ближайшее время. Это прежде всего исследователи из университетов в штатах Луизиана (где чувствительность установки составит $2 \cdot 10^{-18}$), Мэриленд, а также ряда других научных центров. На более высоких частотах работают детекторы, созданные в МГУ. Их частота примерно в 10 раз превышает упомянутые значения, что связано с меньшими размерами цилиндров, изготовленных из кремния. Чувствительность этой установки несколько выше, чем $5 \cdot 10^{-18}$.

Теперь о лазерных системах. Большая лазерная установка создается в Институте физики и астрофизики им. М. Планка под Мюнхеном. Ее чувствительность составит $4 \cdot 10^{-18}$ при рабочей частоте в 1 кГц. Предусмотрена также возможность перехода на частоту 10 кГц. При этом чувствительность снизится примерно на порядок, так что установка МГУ остается рекордсменом по чувствительности в области высоких частот (килогерцы). Установка Калтеха имеет чувствительность 10^{-17} и рабочую частоту 1 кГц (предусмотрена возможность снизить ее до 500 Гц). Она сможет также работать на частотах в несколько килогерц, но при этом чувствительность снизится до $5 \cdot 10^{-17}$. В целом ее параметры пока хуже параметров западногерманской системы примерно в 2—2,5 раза.

Лазерная установка создается также в университете г. Глазго (Шотландия), но она по своим параметрам уступает установке Калтеха. Совсем небольшая лазерная система строится в Массачусетском технологическом институте (МТИ), в ней свободные массы размещены на расстоянии 1 м. Длина базы установок в Мюнхене — 30 м, в Пасадене — около 40 м, в Глазго — 10 м.

Но эти установки — всего лишь прототипы будущих детекторов следующего поколения. Уже выделены средства для создания двух больших антенн в Калтехе и МТИ. Они будут иметь размер 4 км — в 100 раз больше, чем самая большая из ныне действующих. Иными сло-

вами, при той же чувствительности, с которой фиксируется изменение расстояния между двумя зеркалами, наклеенными на массы, эти антенны позволят регистрировать колебания в 100 раз меньшей относительной амплитуды ($\Delta l/l$), что означает такое же увеличение эффективной чувствительности детектора.

С 1975 г. все эксперименты ведутся по методике регистрации совпадения событий. За это время чувствительность повысилась примерно в 1000 раз, и, я надеюсь, в ближайшие 5—10 лет мы достигнем заветного рубежа — 10^{-20} .

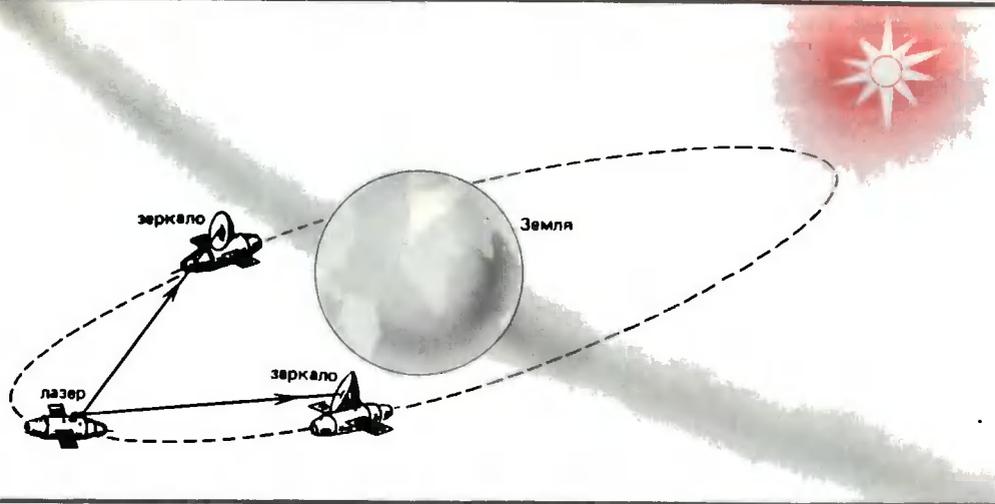
КОРР. Но будет ли этого достаточно?

К. ТОРН. Конечно, сегодня мы не знаем точно, какая чувствительность аппаратуры нужна, чтобы зарегистрировать гравитационные волны. Мое личное мнение — они будут обнаружены где-то между 10^{-20} и 10^{-22} . Я убежден, что значення 10^{-22} будет вполне достаточно, и значительно менее уверен, что этой величиной окажется 10^{-20} . Где именно в этом диапазоне мы сумеем зарегистрировать гравитационные волны, пока сказать нельзя. Причина подобной неопределенности сама по себе очень важна, и на ней следует остановиться. Дело в том, что гравитационные волны слишком непохожи на обычные электромагнитные волны (свет, радиоволны, рентгеновское и γ -излучения), хотя и те, и другие испускаются веществом. Привычные нам электромагнитные волны представляют собой, как правило (по крайней мере, в астрономии), результат некогерентного излучения множества отдельных атомов или молекул вещества. Гравитационные же волны вызваны когерентными колебаниями огромных масс вещества. Они могут, например, зародиться в недрах сверхмассивных звезд. Так что источники излучения электромагнитных и гравитационных волн слишком сильно различаются, и поэтому с одинаковыми мерками к этим двум типам волн подходить не стоит.

КОРР. Где же предел повышения чувствительности детектирующей аппаратуры? Существует ли он в принципе и чем определяется?

К. ТОРН. В принципе чувствительность детекторов гравитационных волн, конечно, ограничена. Существует так называемый фундаментальный, или стандартный квантовый, предел чувствительности. Для обычных веберовских систем с цилиндрами эта величина лежит где-то в районе 10^{-20} — 10^{-21} ; для лазерных систем — 10^{-23} — 10^{-24} . Такой предел был предсказан Брагинским в 1967 г. Но вплоть до 70-х годов никто не обращал на это предсказание особого внимания, поскольку получить такое значение чувствительности казалось нереальным. Поэтому квантовый предел выглядел практически недостижимым. Когда же появилась надежда значительно повысить чувствительность, предсказание Брагинского приобрело особую актуальность — ведь этот предел мог решить судьбу всей проблемы. Вот тут-то исследователи стали задумываться над тем, нельзя ли «обойти» это препятствие.

Природа стандартного квантового предела связана с квантовомеханическим принципом неопределенности Гейзенберга. Дело в том, что прибор, регистрирующий движение цилиндров, передает им некоторый импульс, минимальное значение которого отлично от нуля. Избежать этого нельзя. Преобразователи колебаний приемных цилиндров, используемые сегодня, не в силах преодолеть квантовый предел. Но в 70-е годы Брагинский с коллегами в МГУ и мы в Калтехе независимо предложили новый тип преобразователей, в которых квантовый предел преодолим. Суть предложения чрезвычайно проста. Каждое колебательное движение можно разложить на две составляющих: синусоидальную и косинусоидальную. Так вот, стандартный квантовый предел накладывает ограничение на одновременное измерение амплитуд обеих составляющих. Если же мы измеряем лишь одну из них, скажем косинусоидальную, и не интересуемся вто-



В проекте LAGOS [Laser Gravitational Observatory in Space — лазерная гравитационная космическая антенна] предполагается вывести на орбиту вокруг Земли с радиусом около $2 \cdot 10^9$ м три спутника. Период их обращения примерно равен земному году [таким образом, они в течение долгого времени не будут менять своей ориентации по отношению к удаленным звездам]. На центральном спутнике будет размещен стабильный лазер, пучок излучения которого делится на два симметричных пучка, направляемых к двум другим спутникам, где установлены зеркальные отражатели. Отразившись от зеркал, пучки лазерного излучения возвращаются на центральный спутник, где регистрируется создаваемая ими интерференционная картина. При расстояниях между спутниками около 10^6 м ожидается, что такая система двух лазерных интерферометров, действующая как гравитационная антенна, сможет обнаружить «всплески» гравитационных волн с длительностью от 10 до 10^1 с, приводящие к вариациям метрики на уровне $3 \cdot 10^{-20}$ — 10^{-21} . Предполагаемое время осуществления проекта — первое десятилетие XXI в.

рой, то ограничение не действует. Уже имеются практические разработки преобразователей новой конструкции. Исследования в этом направлении развиваются, например, в Рочестерском университете (США) и в Университете Западной Австралии. Специалисты, которые занимаются вопросами повышения чувствительности детекторов, планируют замену существующих преобразователей новыми.

У лазерных систем порог чувствительности находится гораздо ниже — из-за значительно большего расстояния между приемными массами. В обычных детекторах веберовского типа это расстояние составляет около 1 м, а в лазерных достигает 4 км. Соответственно и предел уменьшается примерно в 4 тыс. раз благодаря ослаблению квантового «шума». Конструкции будущих лазерных систем выглядят весьма привлекательными. Их чувствительность на низких частотах (50—

100 Гц) должна составить 10^{-19} . В принципе в таких системах можно тоже попытаться «обойти» квантовый предел. Но пока этим еще никто не занимался. Проблема очень интересная и серьезная; она ждет своего решения, но, по-видимому, в более отдаленном будущем.

КОРР. Какая группа, по Вашему мнению, имеет больше шансов обнаружить гравитационные волны, точнее, какой из методов наиболее перспективен?

К. ТОРН. Сегодня обычные системы веберовского типа имеют чувствительность выше, чем лазерные. Я думаю, это преимущество сохранится до начала 90-х годов, когда должны заработать большие лазерные установки. Если гравитационные волны удастся обнаружить раньше, это станет триумфом обычных детекторов, но после ввода в строй больших лазерных систем конкурировать с ними будет трудно. Иными словами,

если гравитационные волны окажутся достаточно интенсивными, вполне возможно, впервые их удастся обнаружить с помощью традиционных детекторов; если же их амплитуда окажется примерно в 100 раз меньше (т. е. $\Delta l/l$ составит 10^{-21} — 10^{-22}), обнаружение гравитационных волн отложится до 90-х годов, когда начнут действовать большие лазерные системы.

КОРР. Почему, несмотря на пока отрицательный результат экспериментов, у специалистов нет сомнений в реальности гравитационных волн, более того, работы по этой проблеме развиваются все шире?

К. ТОРН. На этот вопрос ответить, пожалуй, не так просто. С теоретической точки зрения нет сомнений в существовании гравитационных волн. Это бесспорно, даже если неверна общая теория относительности. Основное положение специальной теории относительности (в



правильности которой сегодня уже никто не сомневается) гласит, что скорость любых физических сигналов не может превышать скорости света. В этом смысле гравитационные сигналы (флуктуации гравитационного поля, или вариации метрики пространства-времени) — не исключение. Их скорость также ограничена, и передаются они в виде гравитационных волн — возмущений гравитационного поля, распространяющихся со скоростью, равной скорости света. Причина же большого энтузиазма во всем мире в связи с возможностью их регистрации, да и не только энтузиазма, а весьма серьезного отношения к этой проблеме (на создание лазерных систем в США выделено 60 млн долл., в Великобритании — 12 млн), мне кажется, в том, что в случае успеха результат будет выдающимся. Как я уже отмечал, гравитационные волны предоставят нам поистине

уникальную информацию о Вселенной, в корне отличающуюся от той, которую поставляют излучения всех других видов. Даже если бы вероятность успеха в результате освоения отпущенных средств составляла всего несколько процентов, эта очень нелегкая работа, думаю, была бы оправданной. Я же оцениваю вероятность успеха примерно в 90 % и считаю, что у нас имеются все основания для оптимизма — мы можем ожидать этого замечательного открытия где-то в середине 90-х годов.

КОРР. От каких же источников следует в первую очередь ожидать достаточно мощных гравитационных волн?

К. ТОРН. Я думаю, что первым будет открыт источник, о котором мы даже не подозреваем. Я имею в виду тот факт, что информация, добытая с по-

мощью электромагнитных волн, очень скудна. Так что первый же открытый с помощью гравитационных волн объект, я полагаю, будет сюрпризом. Мы, конечно, вправе задать вопрос, каким может быть этот сюрприз, однако пока даже приблизительно не в состоянии на него ответить.

Существует много источников, которые мы надеемся обнаружить детекторами, вступающими в строй в 90-х годах (например, большими лазерными системами второго поколения). Это, прежде всего, вспышки сверхновых звезд и гравитационный коллапс звездных ядер в ходе таких вспышек; и то и другое происходит на расстояниях, сравнимых с расстояниями до далеких скоплений галактик. Вполне разумно предполагать возможность регистрации таких событий, однако это не означает, что мы уверены в них, поскольку еще очень

Монокристаллы сапфира и кремния, выращенные для высокочастотных веберовских детекторов (Рочестерский университет). Масса каждого кристалла около 10 кг.

плохо известно, насколько интенсивны гравитационные волны, испускаемые в таких процессах.

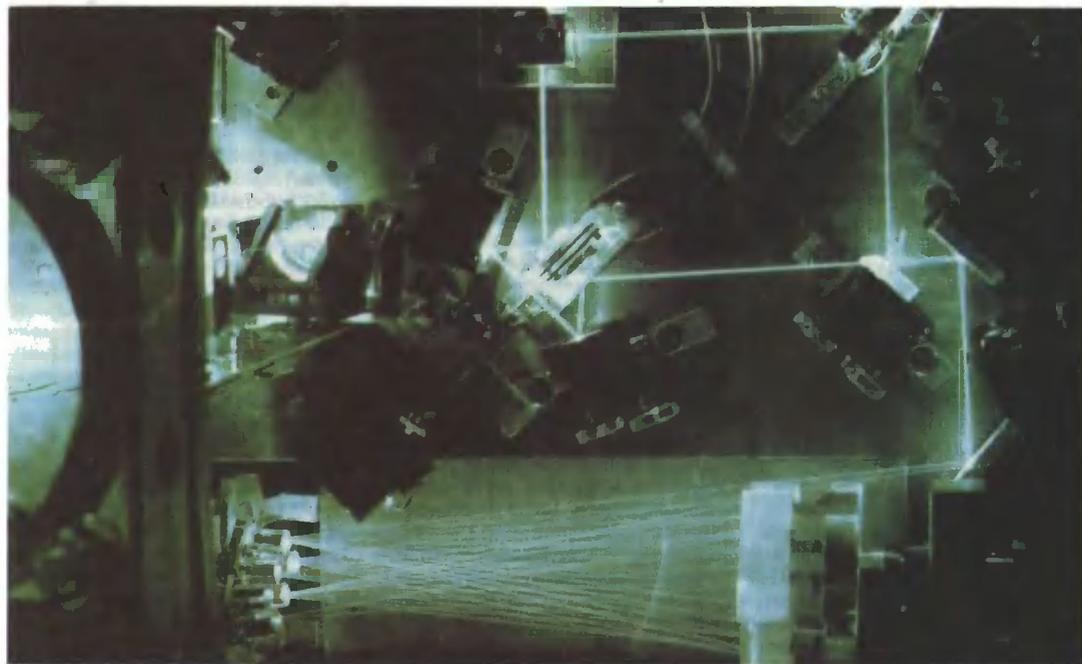
Мы знаем, что в нашей Галактике существует по крайней мере одна система из двух нейтронных звезд, вращающихся друг относительно друга; это так называемый двойной пульсар. В принципе можно подсчитать, сколько подобных систем находится во Вселенной. Такие оценки показывают, что если мы будем прощупывать Вселенную до расстояний в 300 млн св. лет, то увидим, что несколько раз в год в подобных двойных системах нейтронные звезды, двигаясь по спирали, сближаются, вплоть до слияния. Излучение, испускаемое в самые последние минуты сближения нейтронных звезд и в процессе их слия-

ния, имеет достаточно высокую интенсивность, чтобы его можно было обнаружить теми детекторами, о которых я говорил, т. е. детекторами 90-х годов. Но сегодняшние детекторы такие «всплески» обнаружить, конечно, не в состоянии.

Подобно этому могут существовать и двойные системы, состоящие из черных дыр. Чувствительности проектируемых больших лазерных антенн вполне хватит, чтобы детектировать гравитационное излучение, возникающее на последних стадиях сближения движущихся по спирали одна относительно другой черных дыр с массами, скажем, в десять солнечных и при их слиянии в любой точке Вселенной, пусть даже отстоящей от нас на расстояние, равное ее размеру (13—14 млрд св. лет). Мы не знаем, как много таких



Малый прототип лазерной гравитационной антенны Университета г. Глазго. Размер установки около 1 м.



двойных систем существует во Вселенной, но возможны такие оценки. Возраст Вселенной примерно 10^{10} лет, в ней имеется около 10^{10} галактик с размерами больше, чем Большое Магелланово Облако. Даже если в каждой из галактик слияние двух черных дыр происходит лишь однажды за всю историю Вселенной, то в целом такое событие будет происходить раз в год. И обнаружить его можно в любой части Вселенной, где бы оно ни происходило, что весьма важно для астрофизиков.

Другая очень серьезная возможность детектирования гравитационных волн — поиски излучения нейтронных звезд, на поверхности которых имеется что-то вроде гор или какие-нибудь другие отклонения от сферической симметрии.

Еще одно необычное направление поисков — попытаться обнаружить гравитационные волны, образовавшиеся в самом начале расширения Вселенной в ходе таких экзотических процессов, как фазовые переходы, формирование космических струн и их вибрация. Как показал Я. Б. Зельдович много лет назад, взаимодействие гравитационных волн с горячим веществом так слабо, что гравитационные волны, возникшие в самые ранние моменты жизни Вселенной (в так называемые планковские времена, $t \leq 10^{-43}$ с), совершенно беспрепятственно доходят до нас, испытывая ни поглощения, ни рассеяния в веществе. Это очень любопытное обстоятельство, благодаря которому, детектируя такие гравитационные волны, мы можем заглянуть непосредственно в самое раннее «детство» Вселенной, т. е. получить информацию о том, о чем иными способами узнать невозможно. Однако нельзя забывать, что вероятность таких процессов пока весьма неопределенная, поэтому мой последний пример следует рассматривать скорее как некие теоретические рассуждения, а не как постановку задачи для экспериментаторов.

КОРР. Имея в виду, что гравитационные волны распространяются практически свободно, почти не испытывая взаимо-

действия, можно ли сказать, что они подобны нейтрино?

К. ТОРН. Да, но они гораздо «лучше» нейтрино. Нейтрино, испущенные при Большом Взрыве, взаимодействовали с веществом на самой ранней стадии расширения Вселенной столь сильно, что, регистрируя их, мы можем узнать лишь о состоянии Вселенной по прошествии нескольких секунд после Большого Взрыва. А гравитационные волны, как я уже говорил, взаимодействовали с веществом лишь при планковских временах (10^{-43} с), т. е. на самом начальном этапе существования Вселенной.

Другой пример: нейтрино, испускаемые ядром сверхновой, многократно рассеиваются, прежде чем дойдут до нас. Гравитационные же волны от взрыва сверхновой приходят, не испытывая практически никаких взаимодействий.

КОРР. Чем объяснить то обстоятельство, что, наряду с проблемой обнаружения гравитационных волн, вы столь же интенсивно занимаетесь и исследованием черных дыр, вопросами их электродинамики? Что связывает эти две проблемы?

К. ТОРН. Как и каждый теоретик, я занимаюсь одновременно разными проблемами, которые, впрочем, связаны между собой. В настоящий момент меня особенно интересуют гравитационное излучение черных дыр и колебания нейтронных звезд, а также квантовая теория измерений. Но все же главное внимание я уделяю гравитационным волнам и черным дырам.

Сегодня мы можем утверждать, что черные дыры существуют с высокой степенью вероятности. Они служат мощными источниками энергии, когда взрываются в центральных областях галактик, превращаясь в квазары. Конечно, у нас нет 100%-ной уверенности, но мы можем судить об этом достаточно определенно. И все же прямого экспериментального подтверждения существования черных дыр до сих пор нет. Я убежден, что первое такое подтверждение мы получим с по-

мощью гравитационных волн, которые расскажут, в частности, о взаимодействии и слиянии черных дыр. В ближайшем будущем теоретикам предстоит серьезно потрудиться, чтобы заложить основы динамического описания такого процесса. Думаю, для этого понадобятся самые мощные современные суперкомпьютеры. Расчеты такого типа уже выполняют Ч. Эванс из нашей группы и Дж. Вилсон из Ливерморской лаборатории при Калифорнийском университете.

Надо сказать, что подобные расчеты сами по себе очень трудны, поскольку в этом случае мы имеем дело с чрезвычайно сложной физикой. Ведь черные дыры «состоят» из одной гравитации, вещества в них вообще нет. Это единственный объект такого рода во Вселенной. Вычисления на компьютерах требуют высокой точности закладываемой в них информации, а о черных дырах мы пока знаем очень мало и описывать их можем только качественно. Тем не менее, если окажется, что результаты наших расчетов согласуются с экспериментальными данными, это позволит, вопервых, с высокой точностью подтвердить существование черных дыр, а во-вторых, проверить правильность общей теории относительности для случая сверхсильных гравитационных полей. Для меня возможность проверки правильности наших представлений о динамике черных дыр — пожалуй, самый волнующий аспект применения гравитационных волн. Именно этой проблеме уделяется основное внимание в деятельности теоретиков из нашей группы в Калтехе.

КОРР. Предположим, мы сумели зарегистрировать гравитационные волны. Но как мы узнаем, откуда они пришли, каким объектом испущены?

К. ТОРН. Действительно, угловое разрешение детекторов гравитационных волн не слишком хорошее. В зависимости от ситуации оно может меняться от 20° (при одиночном сигнале) до нескольких угловых минут (при регистрации периодического излучения, скажем, от

пульсара). Определять направление на источник сейчас умеют по-разному; в частности пользуются методом времени пролета или модуляцией принимаемых сигналов при вращении Земли и т. д. Но я надеюсь, что разрешение в несколько минут окажется вполне достаточным. Вообще, это довольно типичное значение величины разрешения в астрономических наблюдениях.

В принципе, для получения точной информации о местонахождении объекта надо использовать одновременно данные наблюдений как с помощью детекторов гравитационных волн, так и обычных радиотелескопов. Как показывают оценки, наиболее точно определить направление на объект позволяет его электромагнитное излучение. Большие надежды связаны с возможностью поставить в будущем эксперименты «на совпадение», в которых гравитационные волны станут регистрироваться вместе с электромагнитными.

Чтобы понять это, целесообразно воспользоваться сравнением с рентгеновской астрономией. Возьмем, например, переменный рентгеновский источник Лебедь X-1. Он был открыт с помощью специализированного рентгеновского спутника «Ухуру». И в тот момент положение этого источника на небесной сфере было определено с точностью всего лишь в 1 угловую минуту (т. е. угловое разрешение было очень невысокое). Тем не менее, когда в дальнейшем удалось зарегистрировать радиоизлучение от Лебедя X-1, его положение было определено с гораздо большей точностью (порядка 1 угловой секунды), поскольку в радиоастрономии угловое разрешение выше.

Таким образом, рентгеновские лучи принесли нам важную физическую информацию (в данном случае — о наличии мощного источника рентгеновского излучения), которая отсутствовала в других диапазонах спектра, а радиоволны позволили уже с высокой точностью установить, где находится источник этой информации и каковы его размеры. Кроме того, необходимо отметить, что на-

блюдается прекрасное временное согласование результатов, полученных при регистрации рентгеновского излучения и радиоволн. Поэтому я надеюсь, что, объединив данные наблюдений, которые будут вестись с помощью гравитационных и радиоволн, мы сумеем добиться вполне приемлемого углового разрешения.

КОРР. Не могли бы Вы привести примеры принципиально новых сведений, которые мы вправе ждать от гравитационной астрономии?

К. ТОРН. В гравитационно-волновой астрономии источниками излучения могут быть, как я уже говорил, весьма необычные астрономические объекты, часть свойств которых укладывается в рамки наших представлений, а некоторые из этих свойств сильно отличаются от уже известных. Существуют два типа источников, которые можно привести в качестве примеров, иллюстрирующих это утверждение.

К первому относятся уже упомянутые сверхновые, которые порождают вспышки электромагнитного излучения, а если форма этих звезд при коллапсе отличается от сферической, то они испускают и гравитационные волны, распространяющиеся также со скоростью света. Поэтому с помощью гравитационных волн мы можем «увидеть» момент взрыва оболочки сверхновой, тогда как в оптическом канале эта информация запаздывает на несколько часов, необходимых для развития взрыва, после чего он наблюдается как вспышка яркости звезды. Иными словами, если мы регистрируем гравитационные волны, а затем (примерно в течение дня) — световую вспышку, это позволит с большой вероятностью утверждать, что зарегистрированное излучение действительно связано со взрывом сверхновой. Кроме того, такая задержка на пути в 50—100 млн св. лет подтвердила бы, что гравитационные волны и свет распространяются с одинаковой скоростью; причем точность сопоставления была бы беспрецедентной (10^{-10} — 10^{-11}).

Второй пример связан с

проверкой теоретических предсказаний, которые относятся к нейтронным звездам, вращающимся с очень большой скоростью (период их вращения составляет около 1 мс). Согласно современным представлениям, при этом возникают неустойчивости, проявляющиеся в виде колебаний поверхности такой звезды и сопровождающиеся испусканием гравитационных волн, которые, тем самым, могут рассказать о динамике подобных неустойчивостей. Быстро вращающиеся нейтронные звезды должны испускать гравитационные волны периодически вследствие деформации поверхности звезды, приводящей также к модуляции интенсивности ее рентгеновского излучения. Правда, эти модуляции невелики, что свидетельствует о сравнительно малости деформаций — примерно 10^{-3} . В США сейчас разрабатываются детекторы рентгеновского излучения с большой площадью регистрирующей поверхности, которые планируется использовать для изучения этого интересного явления, в частности, для наблюдения за источником рентгеновского излучения Скорпион X-1. Мы надеемся, что, регистрируя слабые модуляции интенсивности гравитационных волн с помощью специальных детекторов, предназначенных для приема периодического излучения, удастся обнаружить период изменений, который совпадает со значением, полученным из рентгеновской астрономии. Такая возможность сейчас широко обсуждается как один из пунктов программы исследований с помощью гравитационных волн на 90-е годы. А программа эта очень насыщенная, так что впредь нас ждут самые неожиданные открытия.

КОРР. Благодарим Вас, профессор Торн, за содержательную беседу. Надеемся, что в недалеком будущем мы продолжим ее, рассказав нашим читателям о новых достижениях на пути к обнаружению гравитационных волн или даже о самом этом выдающемся для всей науки событии.



СРЕДНЕАЗИАТСКАЯ КОБРА В КАРШИНСКОЙ СТЕПИ

Д. А. Бондаренко

Институт медицинской паразитологии и тропической медицины
им. Е. И. Марциновского
Москва

Среднеазиатская кобра (*Naja oxiana*) — одна из самых ядовитых змей в нашей стране — включена в «Красную книгу СССР» и «Красную книгу МСОП». Ее яд, как и яды других змей, используется в медицине, биохимии, поэтому особенно важно знать ее распространение и численность.

В СССР ареал кобры охватывает южные районы Средней Азии — Туркменистан, Узбекистан и Таджикистан. Несмотря на разнообразие биотопов (кобра приспособилась жить в безводной пустыне, в горах, по долинам рек и среди осво-

енных земель, численность ее почти везде невысока: орошение и освоение пустынных территорий изменили естественные ландшафты, сократились площади, пригодные для жизни змей.

В Каршинской степи (Узбекская ССР) кобра была добыта еще в прошлом веке Л. С. Барщевским. С того времени эту змею находили здесь всего несколько раз, и по немногим находкам нельзя было составить представление о ее численности. Последние два десятилетия плодородные земли Каршинской степи были освоены, построен маги-

стральный канал, и амударьинская вода оросила не только сухую дельту реки, но и обширные пустынные массивы подгорной равнины. Сумела ли приспособиться кобра к столь изменившимся условиям или предпочитает лишь незатронутые участки?

Во время полевых работ 1978—1985 гг. автор заметки провел ревизию кобры в Каршинской степи. Оказалось, что кобра обитает не только в пустынных землях, но сохранилась и в зоне орошения. В неосвоенной глинистой пустыне правобережья р. Кашкадарья змея встречается по пологим склонам



Типичный биотоп кобры. Норы большой песчанки — хорошее укрытие для змей.

Развалины древнего городища — место обитания кобры в орошаемой части Каршинской степи.



с редкой полынно-солянковой растительностью, плотно заселенным большой песчанкой. Норы этих грызунов — надежные укрытия не только для самой кобры, но и для других мелких позвоночных, особенно ящериц, которыми она питается. В песчаной пустыне, в районе г. Мубарек и к юго-востоку от г. Нишан, мне не удалось обнаружить кобру, хотя в 50—60-х годах зоологи ее здесь находили. На орошаемой территории она встречалась чаще всего на участке между городами Корши и Касан — на опустыненных землях, где сохранились древний ирригационный рельеф, курганы и кладбища. Здесь растительный покров разрежен и состоит преимущественно из злаков, верблюжьей колючки, мимозки. Но кобра не избегает и населенных человеком мест: двух змей я поймал

в небольшом поселке, причем одну из них — в жилом доме.

Популяции кобры сохранились в культурной зоне потому, что эта осторожная змея, ведущая скрытный образ жизни, длительное время проводит в укрытиях, а основу ее рациона составляют многочисленные земноводные и пресмыкающиеся. Именно поэтому змеи часто встречаются вблизи русла реки и отходящих от нее арыков, изобилующих озерной лягушкой.

И все же, несмотря на приспособленность к обитанию в антропогенных условиях, кобра встречается редко: за 8 лет наблюдений я обнаружил всего 17 особей. По мере освоения Каршинской степи численность кобры, скорее всего, будет снижаться. Сокращение площади пригодных для нее террито-

рий — основная, но не единственная причина снижения численности. Змеи гибнут во время мелиорации и под колесами автомашин на дорогах, при случае их уничтожает местное население (из 17 обнаруженных кобр четырех я нашел убитыми). Хотя плотность населения кобры в Каршинской степи даже несколько выше обычной (0,06—0,2 особи на гектаре, вместо 0,01—0,05 для других частей ареала), для защиты этого вида необходима пропаганда охраны среди населения среднеазиатских республик.



К 70-летию Великого Октября

МАГИСТРАЛЬ среди живых гор

В. П. СОЛОНЕНКО



Вулкан Чепе. Массивный вулканический конус диаметром 2,5 км (вверху) и его кратер диаметром 150 м (внизу).

15-23

АПРЕЛЯ 1985 г. первый поезд с участниками выездной сессии Научного совета Академии наук СССР по проблемам Байкало-Амурской магистрали совершил сквозной проезд по трассе БАМа. Однако до движения обычных, а не специальных сквозных поездов строителям еще предстоит трудиться не один год.

Невозможно недооценить самоотверженный, подчас героический труд строителей БАМа. Их с легкой руки журналистов, из лучших побуждений погрешивших перед этимологией, именуют «первопроходцами». Отдавая дань их трудовому подвигу, все же нельзя забывать о действительных первопроходцах этого труднейшего пути, пройденного изыскателями по бездорожьям громадной дикой и нетронутой горной, таежной и болотной пустыни.

В истории изысканий трассы БАМа можно выделить три генерации «первопроходцев». Каждая из них решала свои задачи, преодолевала свои трудности. Но наибольшего признания заслуживают самые первые. Их возглавляли полковник Генерального штаба Н. А. Волошинов и его дублер, инженер путей сообщений Л. А. Прохаска. В 1889 г. за один полевой сезон, фактически без карт, они нашли возможный путь от Лены до Муи, но пришли к единственно верному для своего времени выводу, что, хотя северный вариант Транссибирской железной дороги короче южного, строить его экономически нецелесообразно, технически невозможно.

Вторая генерация «первопроходцев», приступившая к изысканиям трассы в 30-е годы, была качественно иной. Кстати, ветераны этого периода Э. А. Норман и



Виктор Прокопьевич Солоненко, член-корреспондент АН СССР, заведующий лабораторией сейсмогеологии Института земной коры Сибирского отделения АН СССР. Окончил Иркутский государственный университет в 1940 г., аспирантуру в 1943 г. под руководством С. В. Обручева. Автор многочисленных работ по сейсмогеологии, сейсмическому районированию, инженерной геологии, полезным ископаемым. Неоднократно печатался в «Природе».

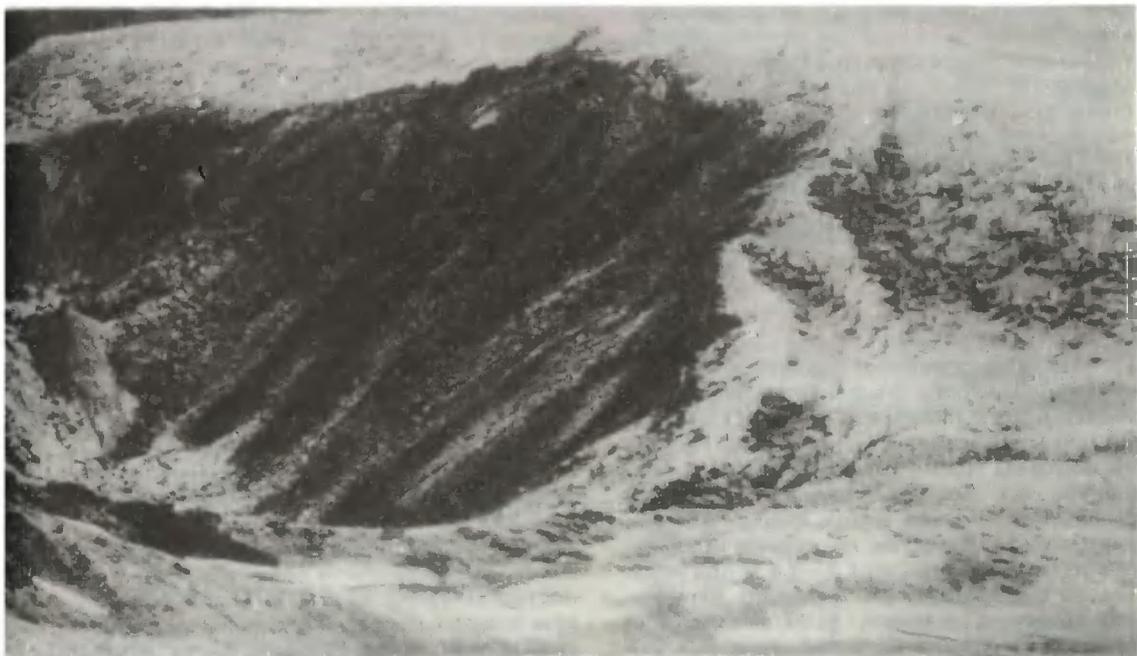
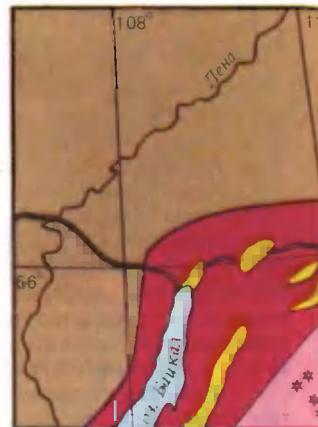


Схема сейсотектоники зоны БАМа. С запада на восток дорога пересекает практически асейсмичную Сибирскую платформу; Байкальскую рифтовую зону наибольшей сейсмической активности; Забайкальскую зону кайнозойского горообразования с умеренными движениями коры; Алдано-Охотскую зону, в которой выделяю Джугджуро-Становую подзону интенсивных восходящих движений и четвертичного вулканизма [I], Удско-Зейскую подзону слабых движений [II], Тукурингра-Джагдинскую подзону умеренных движений [III]; участок Думбейской платформы; Дальневосточную зону, состоящую из Баджало-Буреннской подзоны восходящих движений [I], Нижнеамурской подзоны слабых движений [II], Сихотэ-Алинской подзоны умеренных восходящих движений [III].



М. Н. Петрусевич были почетными пассажирами первого сквозного поезда в 1985 г. В ней были уже специалисты разного профиля, но не было еще среди них сейсмологов и сейсмогеологов: по существовавшим в то время представлениям, зона трассы БАМа считалась асейсмичной. В проекте, по которому строительство дороги началось перед Великой Отечественной войной, сейсмичность даже не упоминается. Однако в 1956 г. был сделан прогноз о высоком сейсмическом потенциале Байкало-Олекминской горной страны, по осевой части которой должна была проходить дорога. Через полгода прогноз подтвердился Муйским 10—11-балльным землетрясением. Эпицентр его лег на линию запроектированного перехода железной дороги из Муйской в Чарскую впадину, от которого пришлось отказаться. Поэтому не случайно, что третий этап изысканий в 1961 г. начали сейсмогеологи. Уже вскоре выяснилось, что трасса пройдет среди «живых», растущих гор и опускающихся впадин, т. е. через зону высокой тектонической активности и, следовательно, высокой сейсмичности. Она сочетается с весьма неблагоприятными инженерно-геологическими условиями.

В условиях вечной мерзлоты и высокой сейсмичности ранее была построена только одна Аляскинская железная дорога. При землетрясении 27 марта 1964 г., сила которого на территории дороги была 7—9 баллов, из 860 км трассы полностью было выведено из строя около 200 км, разрушено 110 мостов, несколько километров пути опустилось на 1,2—2,4 м под воды Тихого океана, а 65 км — в зону затопления во время приливов. Была выведена из строя и притрассовая автодорога. Все это

в значительной мере было обусловлено тем, что при проектировании и строительстве дорог не были учтены особенности проявления землетрясений в условиях вечной мерзлоты. Не были учтены также вертикальные движения земной коры, охватывающие при сильных землетрясениях площади в десятки и сотни тысяч квадратных километров.

В результате исследований, проведенных Институтом земной коры Сибирского отделения АН СССР в зоне трассы БАМа, стало очевидным, что она по сложности инженерно-геологических условий не имеет себе равных в мировой практике железнодорожного строительства. Протяженность дороги в три раза больше Аляскинской, сейсмичность ее части, проходящей по Байкальской рифтовой зоне, выше, чем на Аляске. Кроме того, на БАМе предстояло построить 7 туннелей общей протяженностью в несколько десятков километров.

Результатом многолетней работы геологов и сейсмологов стало районирование сейсмогеологических условий территории, примыкающей к трассе железной дороги, и ее сейсмичности. Схематично это районирование представлено на наших рисунках.

Байкало-Амурская магистраль проходит по трем сейсмогеологическим областям: практически несейсмоактивной Сибирской платформе (310 км), Байкальской рифтовой зоне (310—1475 км) с наибольшей сейсмической активностью и Южно-Дальневосточной орогенической (горной) системе с умеренной сейсмической активностью (1475—3145 км). На 200-километровом участке последней дорога выходит на краевую активизированную часть Дунбей-

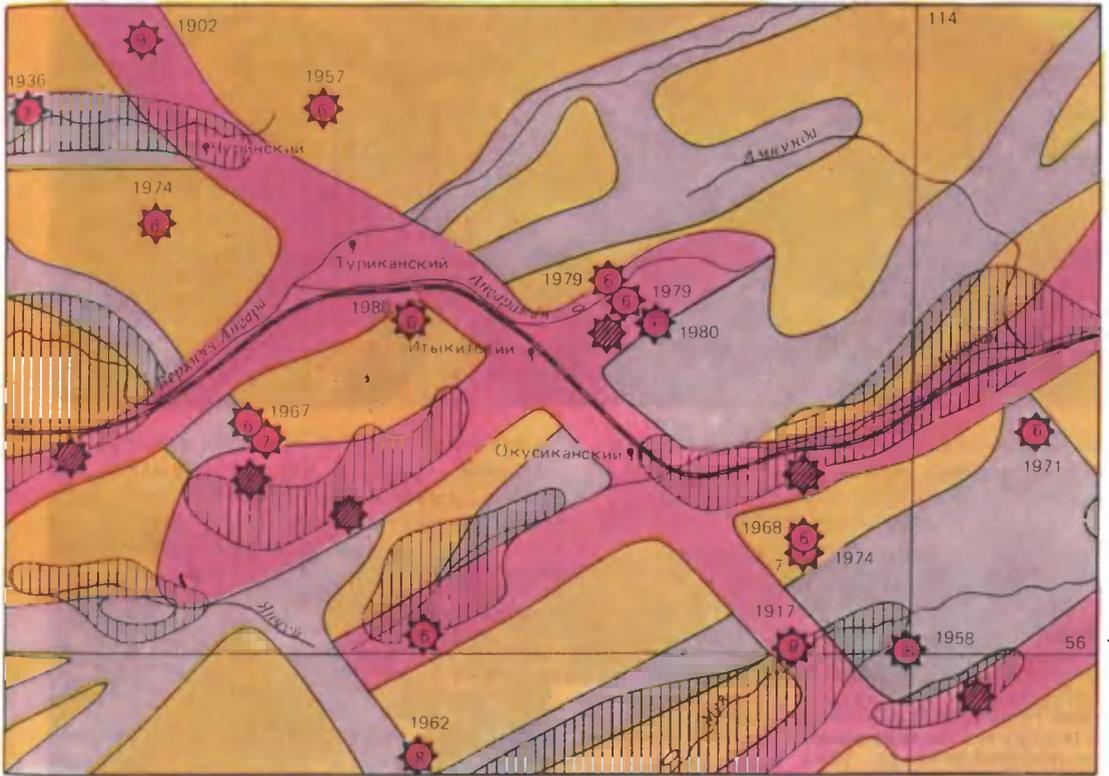
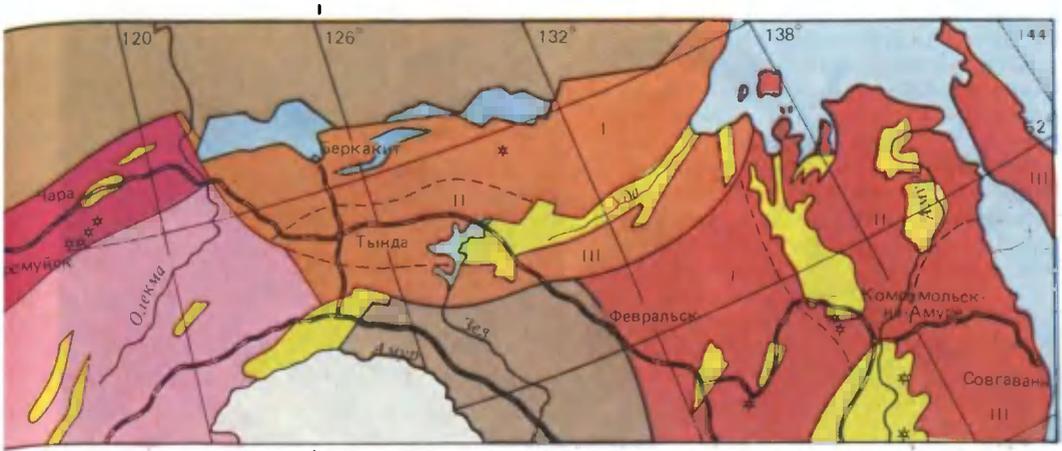


Схема возможных сейсмотектонических деформаций коры в районе Северо-Муйского туннеля при землетрясениях различной силы.

- Остаточные деформации коры при землетрясениях силой:
-  до 9 баллов
 -  9 баллов (вертикальные смещения по разломам до 1–1,2 м)
 -  10 баллов (сбросо-сдвиги с амплитудой до 5–7 м)

-  Рифтовые впадины
- Эпицентры землетрясений:
 -  по инструментальным данным (6–9 баллов)
 -  по палеосейсмологическим данным (9–10 баллов)
-  Термальные источники



Муйско-Чарская горная перемычка (Довачанская сейсмогенная структура). Гранитный массив расколот разломами (вверху) и зарождающимся рифтом — Центральным грабеном (внизу).

ской платформы. Каждая из перечисленных областей включает различные геологические структуры со своими особенностями геологической жизни.

От р. Лены железная дорога около 200 км проходит по стабильной части Сибирской платформы, где нет местных очагов землетрясений. Однако восточнее она пересекает ее часть, где тектоническая

активность более высока под воздействием горообразовательных процессов в Байкальско-Становом поясе. Здесь уже появляются местные очаги слабых (менее 7 баллов) землетрясений, а сила транзитных (со стороны Байкала) потрясений достигает 8 баллов.

Далее более тысячи километров дорога тянется через осевую часть одной



Горный блок — гора Зарод, поднимающаяся на 500 м на краю Чарской впадины над ледниково-аллювиальной равниной. У подножия — озеро Малый Байкал.



Ангараканское озеро. На заднем плане — обвальная плотина.

из наиболее активных внутриконтинентальных сейсмических зон Земли — Байкальскую рифтовую систему (рифт — узкая протяженная впадина, ограниченная разломами земной коры).

Рифтовые впадины в Восточной Сибири начали формироваться около 25 млн лет назад, но расширение старых и образование новых идет на наших глазах. Они образуют эволюционный ряд: зарождающиеся — эмбриональные — зрелые.

РИФТОВЫЕ ВПАДИНЫ И СЕЙСМИЧНОСТЬ

Зарождающиеся впадины начали возникать всего несколько тысяч лет назад при провале вершин сводово-глыбовых поднятий — горных перемычек между крупными рифтовыми долинами.

В зоне трассы БАМа наиболее активно развивается такая впадина в централь-

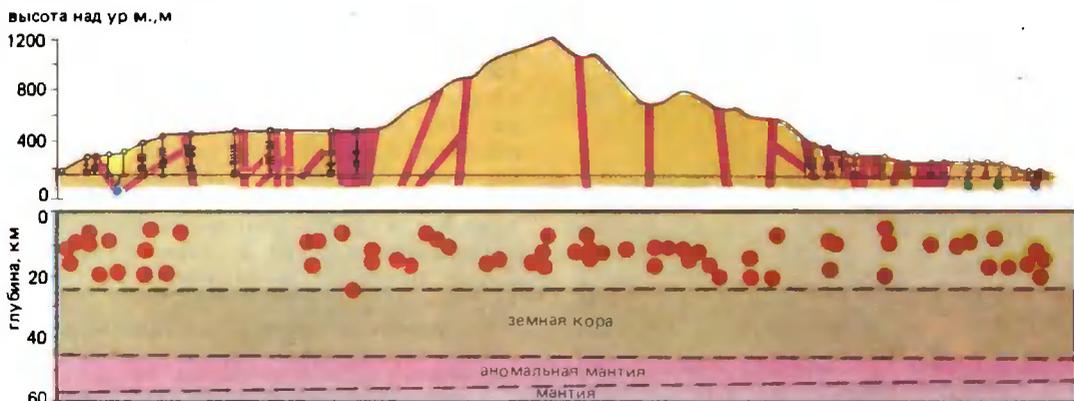
ной части Довачанского массива — горной перемычке между Муйской и Чарской котловинами. Протяженность впадины — 12 км, ширина — до 0,8 км, глубина — до 100 м. Разбитый многочисленными разломами Довачанский массив находится, как принято говорить у сейсмогеологов, в перенапряженном состоянии; оно проявляется в массе землетрясений — до нескольких десятков в сутки с глубиной очагов почти от поверхности земли до 25—30 км.

Массив буквально разваливается на глазах. Так, с вертолета удалось увидеть, как обвалился горный склон на протяжении 2,5 км. За один день на наших глазах произошло два обвала (один очень крупный). Разломы, возникшие при сильных землетрясениях, поглощают обломочный

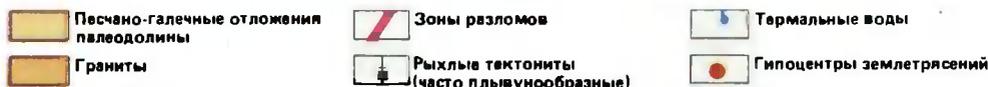
материал, сползающий со склонов, в том числе громадные плиты гранитов, образующие в трещинах нечто похожее на гребень гигантского динозавра.

Эмбриональные впадины начали формироваться примерно 500 тыс. лет назад и чрезвычайно активно опускаются в настоящее время. Их длина — до нескольких десятков километров, ширина — до 5 км. Эпицентры почти всех сильнейших землетрясений в зоне БАМа приурочены к таким впадинам.

27 июня 1957 г. в Намаракитской эмбриональной впадине произошло 10—11-балльное Муйское землетрясение — единственное на территории СССР с 1911 г. вошедшее в каталог «Мировые сейсмические катастрофы» (по энергии, а не катастрофическим последствиям). Эпицентр его был в 30 км от тогда еще не существовавшей станции Куанда и в 60 км от Кодарского туннеля. Оно ощущалось на площади более 2 млн км². Обвалы и оползни наблюдались на площади более 150 тыс. км².



Схематический геолого-геофизический разрез через Северо-Муйский массив длиной около 17 км.



При землетрясении впадина опустилась на 5—6 м и сдвинулась к западу, а прилегающая часть хребта Удокан поднялась на 1—1,5 м и сдвинулась к востоку. Возникла сложная система разрывов и трещин (сейсмодислокаций) протяженностью более 30 км. Во впадине образовалось озеро Новый Намаракит. На расстоянии 500 км существенно изменился режим подземных вод. С этим землетрясением связывают образование Торейских озер площадью 817 км² на юге Забайкалья в 750 км от эпицентра. Таким образом, деформации земной коры произошли на громадной территории.

За этим в январе и сентябре 1958 г. последовали два других сильных 9-балльных землетрясения — Нюкжинское и Олекминское. Они произошли в Имангра-Чебаркасской эмбриональной впадине, пересекающей р. Олекму, и ощущались на площади 800—900 тыс. км².

Эпицентры последующих землетрясений стали смещаться к юго-западу, и 18 января 1967 г. в 50—55 км от эпицентров 1958 г. произошло более сильное (9—10 баллов) Тас-Юрхское землетрясение. Оно ощущалось на площади порядка 1,3 млн км² на расстоянии более 1100 км от эпицентра, причем в Чите и Благовещенске (в 675 и 850 км от эпицентра) пострадали здания даже современной постройки. Сейсмическое «ускорение» в центре землетрясения превысило земное притяжение: на пологих участках глыбы

объемом до 30—40 м³ взлетали, перевортывались и падали в свои «гнезда».

Ясно, что напряжения земной коры, вызывающие сильные землетрясения, не ограничиваются площадью впадин. Свидетельство тому — не только региональная деформация земной коры, как это установлено для Муйского землетрясения, но и прямые признаки сейсмодислокации — зоны крупных разрывов и трещин, протягивающиеся на десятки километров.

Зрелые впадины — это крупные рифтовые долины, по четырем из которых — Северобайкальско-Кичерской, Верхнеангарской, Муйской и Чарской — проходит БАМ. Они формировались в течение миллионов лет и активно разрастаются в настоящее время. Амплитуда вертикальных смещений фундамента впадин колеблется от 2 до 7 км, мощность осадочных пород в них от 0,5 до 2—3 км, а в Северобайкальско-Кичерской — до 4,5 км. Наиболее сейсмичны в зрелых впадинах краевые части, в которых они взаимодействуют с воздымающимися горами.

Последнее сильное землетрясение в зрелых впадинах в зоне БАМа произошло 6 августа 1931 г. на севере Байкала. Часть дельты Верхней Ангары при землетрясении опустилась на 2—2,5 м. Поселок Дагара оказался на уровне Байкала, а часть его домов была затоплена до окон.

От зрелых рифтов разрастаются их сателлиты, по своему режиму — аналогичные эмбриональных впадин. Они с разных

сторон врезаются в межпадинные горные перемычки. Здесь концентрируются блоки земной коры с разнонаправленным движением, поэтому горные перемычки — самые сейсмически активные морфоструктуры в рифтовой зоне.

Об одной из них — Муйско-Чарской — уже сказано выше. Наиболее детально изучена Верхнеангарско-Муйская перемычка, через которую строится Северо-Муйский туннель протяженностью более 15 км. Перемычка — часть Ангаро-Витимского гранитного массива, именуемого батолитом.

СЕВЕРО-МУЙСКИЙ МАССИВ

Здесь «сходятся» разные геологические структуры — пять сбросов с амплитудой вертикального смещения до 2—2,5 км и четыре рифтогенные впадины — эмбриональные и сателлиты, врезающиеся в горный массив. Все эти структуры соединены поперечным Перевальным разломом, вдоль которого строится туннель.

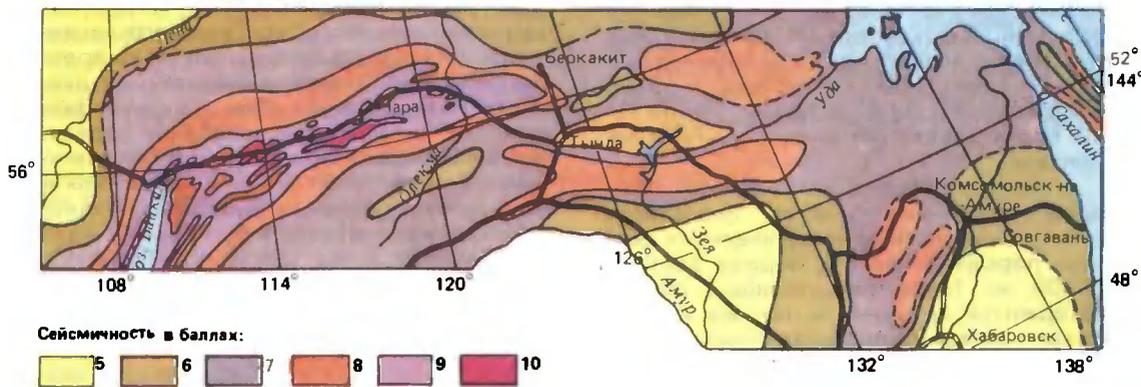
Сейсмическая активность Северо-Муйского массива в три раза выше средней активности Байкальской рифтовой зоны. В зоне туннеля в среднем регистрируется около 1250 толчков в год. Кроме многих слабых и умеренных землетрясений, здесь инструментально зарегистрировано 22 сильных. По палеосейсмогеологическим данным выявлены эпицентры 7 мощных землетрясений, при которых по разломам блоки земной коры смещались по вертикали на 3—7 м.

Массив расчленен на отдельные блоки. По геодезическим наблюдениям за год они смещаются вверх и вниз на 40 мм, причем блоки наклоняются до 0,4°. Такие наклоны опасны для туннелей, они могут вызвать деформацию их крепления.

Несколько необычен район и по своему глубинному строению. Мощность земной коры (46 км) здесь на 5—6 км больше, чем на соседних участках. Так называемая аномальная размягченная мантия выходит непосредственно под земную кору и к востоку быстро «выклинивается». Необычен здесь и термический режим грунта: из-за постоянного трения блоков, пропитывания горячими глубинными водами и газами в зонах разломов отсутствует вечная мерзлота, хотя по расчетам мощность ее при температуре грунтов ниже — 9,5° должна достигать здесь 1000 м.

Граниты перемычки необычайно обводнены. При вскрытии в них зон разломов в горные выработки прорываются мощные потоки воды и грунта с расходом до 5—6 тыс. м³/ч, а когда строители добрались до Ангараканского размыва, в считанные секунды под громадным давлением прорвалось 12 тыс. м³ воды, песка и камней.

В связи с высокой сейсмичностью на массиве происходят мощные обвалы. Например, на левом борту Ангараканской долины обрушился блок гранитов объемом 10—12 млн м³, из них около 5 млн м³ — в русло реки, образовав обвальную плотину. Возникло живописное, но селеопасное Ангараканское озеро. Оно находится в 9 км от туннеля и поселка Туннельного и лежит на 150 м выше их.



Мы своевременно предлагали варианты безтуннельного перехода перевала или предварительного дренирования массива «пионерными» туннелями. К сожалению, наши рекомендации не были учтены. Инженерно-геологическая разведка была проведена по сокращенной программе, а центральная часть туннеля (7 км) вообще не была разведана.

Исходя из инженерно-сейсмогеологических условий, мы пришли к заключению, что плановый срок завершения строительства туннеля (1984 г.) нереален. Поэтому 14 сентября 1978 г. на выездной сессии Научного совета АН СССР по проблемам БАМа была обоснована необходимость строительства обходного пути. В 1981—1983 гг. этот путь построен.

Обвалы, подобные Ангараканскому, не редкость в зоне БАМа. Например, грандиозный сейсмогенный обвал произошел на Верхнеангарском хребте: 250—300 млн м³ грунта обрушилось в верховьях р. Кичеры, перекрыв две долины, в которых образовались озера.

Буквально на наших глазах растут здесь горы. Так, между Кодарским хребтом и Чарской впадиной в долине р. Апсат на высоту 3 км над фундаментом впадины (более полукилометра над ледниково-аллювиальной равниной) поднялся блок гранитов длиной около 4 км. Он со всех сторон «обрублен» разломами, по которым поднимаются теплые воды (источники их хорошо видны зимой, когда кругом разливается гигантская наледь).

Не менее удивительным кажется феноменальное явление: скалистый гребень узкого хребта, поднятого на 1200 м над Апсатской долиной (на 3,5 км над фундаментом впадины), состоит из юрских угленосных отложений, сохранившихся среди поля гранитов. Обычно горные гребни сложены как раз более прочными горными породами. Юрские осадки на гранитном фундаменте вознеслись столь стремительно, что денудация не успела с ними «расправиться». Но естественно, что на левом борту хребта образовался гигантский оползень.

На протяжении 3 км, напротив горы Зарод, обрушился участок Кодарского склона, сложенный кристаллическими горными породами. Высота обрыва достигает 400 м. Такие сейсмогенные обвалы повторяются на одних и тех же местах, так как при землетрясениях в горных массах образуются трещины — заколы, подготавливающие склоны к обрушению при следующем сильном подземном ударе.

О напряженной жизни гор вокруг Чарского рифта свидетельствует и недавняя вулканическая деятельность в хребте Удокан. В 1961—1962 гг. в этом районе мы обнаружили целый район молодых вулканов возрастом около 2 тыс. лет, часть из которых еще живет и сегодня¹.

Остаточные вулканические процессы проявляются в виде частых землетрясений с очагами на глубине до 25—27 км, а главное, как показали исследования наших сейсмологов, в очагах еще существует магма. Не случайно поперечные сейсмические волны, которые не распространяются в жидких и высокопластичных средах, под вулканами «затухают». Здесь обнаружены и многочисленные фонтанирующие минеральные источники, свидетели вулканической деятельности.

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ СЕКТОР БАМа

В Южно-Дальневосточном орогеническом (горном) поясе сейсмическая опасность в зоне дороги быстро снижается. В зависимости от интенсивности сеймотектонической активности здесь выделяется четыре участка.

Тукурингра-Становое межгорное понижение — часть Удско-Зейской области слабых движений земной коры. На протяжении 350 км оно разделяет хребты Становой и Тукурингра. Далее дорога проходит по обширной лесоболотной Верхне-Зейской впадине. Здесь возникают местные землетрясения не более 6—7 баллов. Более сильные сотрясения приходят из очагов Байкальской рифтовой зоны.

Тукурингра-Джагдинская горная цепь ограничена Северо- и Южно-Тукурингским глубинными разломами — элементами гигантского Монголо-Охотского линеймента. Для гор характерны хотя и умеренные, но резко дифференцированные движения горных блоков. Так, в районе Зейской ГЭС установлены колебания отдельных блоков даже при слабых землетрясениях. Еще в 1950 г. мы предполагали, что Тукурингские разломы активны. Прогноз их сейсмичности был подтвержден нами в 1967 г. по сейсмогеологическим признакам. Действительно, с 1969 по 1977 г.

¹ Солоненко В. П. Землетрясения и вулканы Станового нагорья // Природа. 1964. № 9. С. 102—110.

здесь произошло несколько сильных землетрясений и одно из них — 8-балльное с эпицентром около проектировавшейся железнодорожной станции Ижак.

Железная дорога проходит через Деп-Огоронскую тектоническую депрессию, пересекающую Тукурингра-Джагдинскую горную цепь. Здесь на протяжении около 120 км дорога может оказаться под воздействием сильных землетрясений (до 8—9 баллов).

Между хребтами Джагды и Турана БАМ около 200 км проходит по окраине Амура-Зейской плиты **Дунбейской платформы**. В современную геологическую эпоху (кайнозойскую) она устойчиво поднимается. Но отдельные блоки фундамента платформы движутся с разной скоростью, что обуславливает проявление большого количества слабых землетрясений. Поэтому сейсмическая активность достигает необычно высоких для платформенных структур значений, сопоставимых с активностью Байкальской рифтовой зоны. Тем не менее ожидать здесь землетрясения силой более 5—6 баллов пока нет оснований.

За Амура-Зейской равниной БАМ снова входит в область современного горообразования, попадая в **Буреинско-Баджальскую горную страну**. Дорога пересекает Туранский и Буреинский хребты, Буреинскую межгорную впадину и далее по долине р. Амгуни, Эворонской озерно-болотной впадине огибает Баджальский хребет и выходит на Среднеамурскую аллювиальную равнину у Комсомольска-на-Амуре. На этом участке трасса пересекает около десяти крупных разломов, с которыми связаны все наиболее сильные землетрясения. Наибольшее внимания заслуживает система разломов, ограничивающая с востока Буреинский массив. Эта система — северное продолжение высокоактивной зоны разломов Тан-Лу. На территории Китая к ней приурочены 10-балльные землетрясения 1969 и 1975 гг., а ранее случались 11—12-балльные.

Сейсмичность Буреинско-Баджальской горной области почти не изучалась. Было обследовано лишь Баджальское землетрясение, происшедшее в августе 1970 г. Эпицентр его находился на северо-западном склоне Баджальского хребта, в 25—30 км от железной дороги, в долине р. Амгунь. Сила его была определена в 7 баллов, но, по-видимому, оно было более мощным.

Баджальское землетрясение связано с разломом. На юго-западном его продолжении в долинах рек Баджал и Талид-

жак обнаружены грандиозные обвалы, а в долине Омот-Макит амплитуда вертикальных подвижек в верхнемеловых вулканических породах составляет 5 м. В верховьях речки обвал объемом порядка 50 млн м³ перекрыл долину и образовалось озеро. Сам разлом еще окончательно не «закрылся» и поглощает обломочный материал, поступающий со склона.

Эпицентры землетрясений установлены и в других местах этой горной страны. Так, в долине р. Амгунь, непосредственно около трассы, Амгунский разлом при 8—9-балльном землетрясении был вскрыт на участке протяженностью около 3 км, и при этом произошел обвал скальных пород объемом около 15 млн м³.

На юге Баджальской горной страны в бассейне левых притоков р. Кукан по одной из ветвей краевого шва — Курскому разлому — при сильном (порядка 9 баллов) землетрясении образовалась трещина, хорошо выраженная на протяжении 7 км. К ней, кроме обвалов и оползней, на склоне хребта приурочены экзотические формы рельефа — западины диаметром от 70 до 400 м и глубиной до десятков метров.

*

Мы познакомились только с отдельными страницами бурной жизни «живых» гор, среди которых проходит БАМ.

Здесь сошлись многие противоположные строителям силы природы: высокая сейсмичность и сложнейшая вечная мерзлота с толщами ископаемых льдов, громадные наледы, подвижные россыпи, течение грунтов, селевые потоки и лавины, разрушающиеся на глазах скальные склоны, горные породы с жильными льдами, граниты, переродившиеся в пльвуны, и т. д. И все же за 10 лет строители протянули путь от Лены до Амура, но еще много предстоит сделать, чтобы обеспечить и поддерживать бесперебойную работу магистрали.



ПРОИСХОЖДЕНИЕ БОЛЬШОЙ ПАНДЫ

Кто этот странный зверь с клыками хищника
и привычками вегетарианца — медведь
или енот!

А. В. Шер,
кандидат
геолого-минералогических наук
Институт эволюционной морфологии
и экологии животных
им. А. Н. Северцова АН СССР
Москва

В 1869 г. известный французский миссионер и естествоиспытатель Арман Давид прислал в Парижский музей первое краткое описание, шкуру и скелет диковинного зверя, названного им *Ursus melanoleuca* — медведь черно-белый. За изучение «пестрого медведя» тут же принимаются два ведущих французских зоолога и палеонтолога. А. Мильн-Эдвардс обнаруживает в строении черепа и зубов зверя признаки, отличающие его от медведей и сближающие с другим обитателем горных лесов Юго-Восточной Азии — пандой (*Ailurus fulgens*) и с американскими енотами. Мильн-Эдвардс описывает новый род *Ailuropoda* и относит его к семейству енотовых (*Procyonidae*). Одновременно его коллега П. Жерве по форме головного мозга устанавливает родство нового вида с медведями (семейство *Ursidae*).

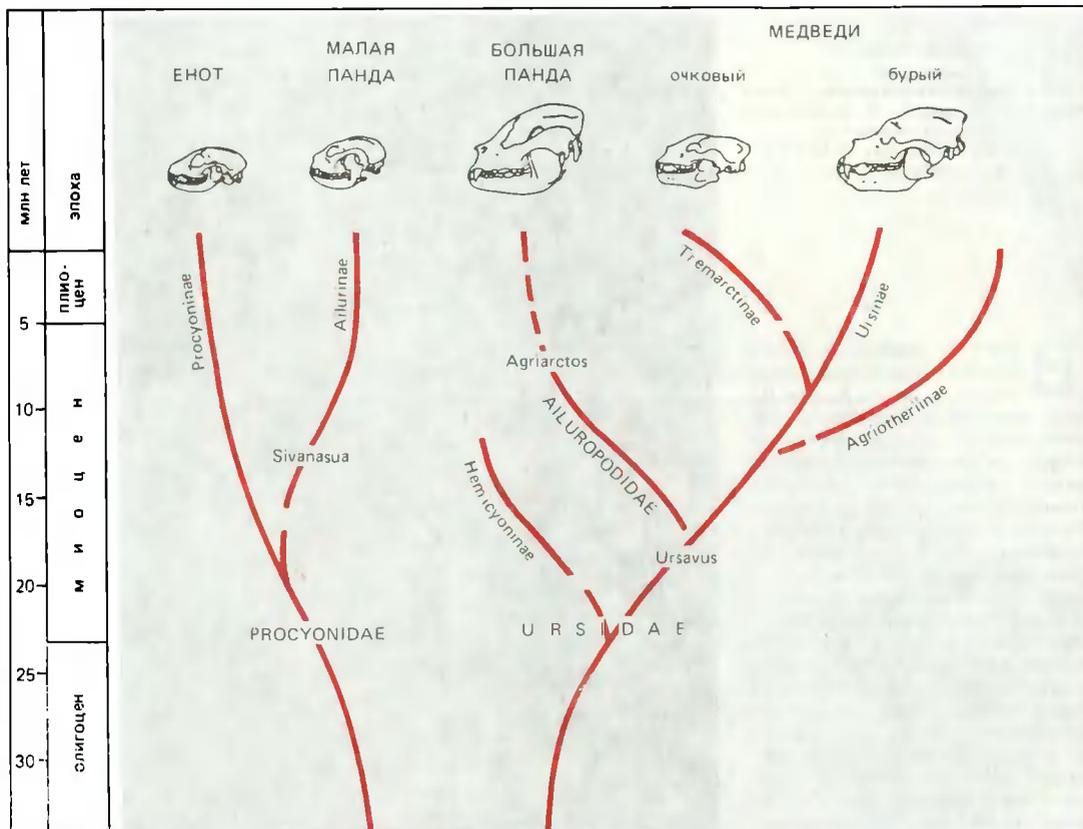
Так возникает спор, не разрешенный и поныне. Сторонники родства «пестрого медведя» с пандой с 1901 г. называют его большой пандой, а панду с тех пор называют малой. Никто не сомневается в том, что большая и малая панды — самостоятельные роды *Ailuropoda* и *Ailurus*. Почти ни у кого нет сомнений и в том, что малую панду следует относить к семейству енотовых. Но на этом единомышленники расходятся.

Кто же в действительности большая панда — странный медведь или странный енот? И связана ли родством большая панда с малой?

По манере двигаться и внешнему облику (укороченно-

Бамбуковые заросли — типичный биотоп большой панды.





Филогенетическое древо енотов, малой и большой панд, медведей, построенное по палеонтологическим материалам. (По: Thénien E. // Z. geol. Wiss. 1982. Н. 7. S. 1029—1042.)

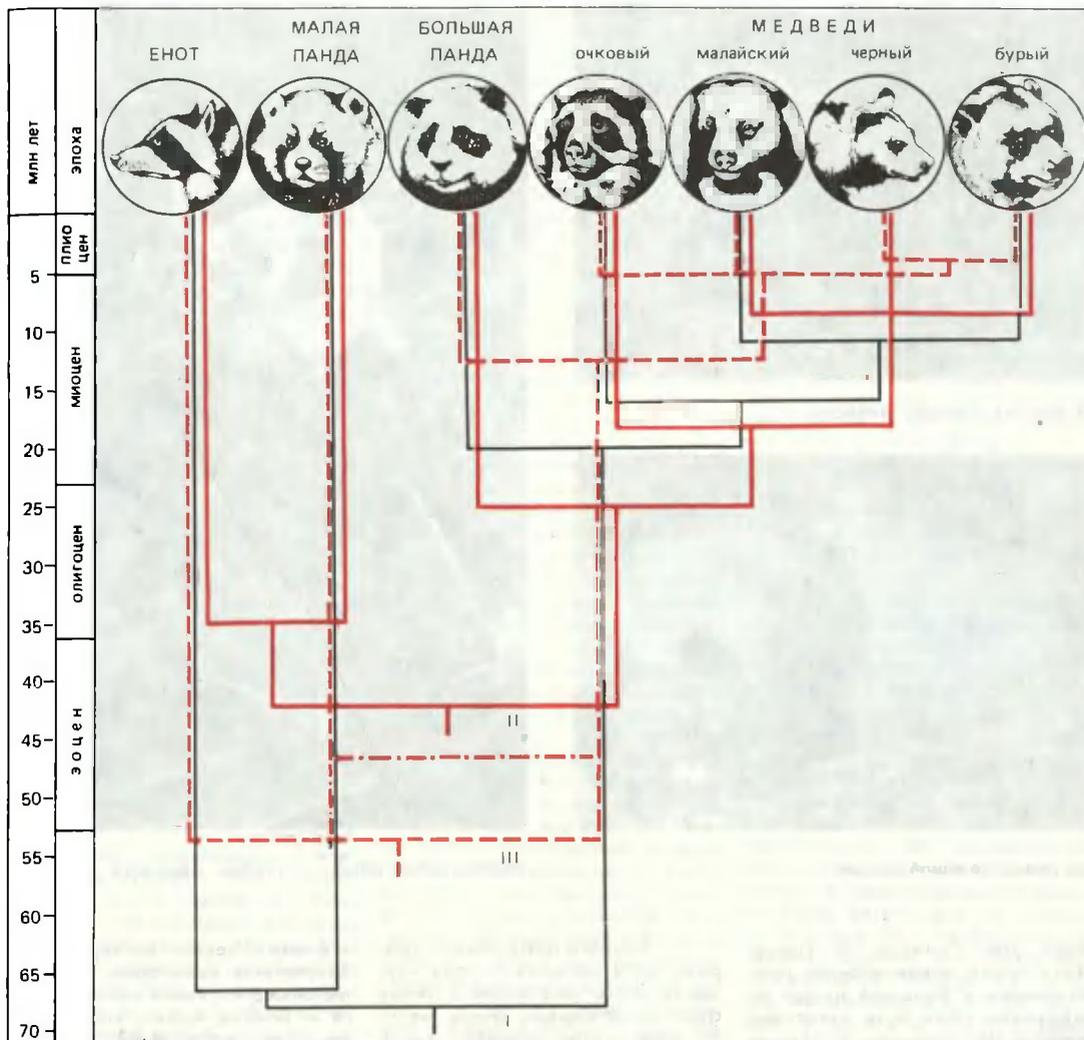
му массивному телу длиной 120—170 см, коротким стопоходящим конечностям, массивной голове) большая панда скорее всего напоминает медведя. Весит взрослая панда 100—150 кг. Благодаря густому пушистому меху необычайно контрастной окраски (плечевой пояс, конечности, уши и «очки» вокруг глаз черные, остальное тело и голова белые) этот зверь больше похож на игрушечного медведя, чем на настоящего. Отличает его от медведей и хвостик длиной 12—13 см. Местное название большой панды — бэй-шун (белый медведь); иногда ее называют бамбуковым медведем за пристрастие к побегам и корням бамбука, впрочем она питается и другими растениями, а иногда и мелкими позвоночными, около половины суток затрачивая на кормежку. Хотя большая панда и

умеет лазать по деревьям, но живет преимущественно на земле. Подобно медведям Юго-Восточной Азии (малайскому и губачу), большая панда не впадает в спячку. Из-за труднодоступности мест ее обитания и скрытного образа жизни зоологи впервые увидели этого зверя в природе лишь полвека спустя после его описания.

Малая панда по внешнему виду не похожа ни на медведей, ни на большую панду. По сравнению с большой пандой малая — карлик, массой 3—5 кг, с вытянутым телом, с длинным пушистым хвостом. Формой тела и головы, окраской морды и хвоста она действительно скорее напоминает енота. Тем не менее как в анатомическом строении, так и в образе жизни и питания обеих панд много общего. У них весьма своеобразный жевательный аппарат,

сходное строение черепа и нижней челюсти. У большой панды совершенно уникально устроена передняя лапа: лучевая sesamoidная кость разрослась в своего рода шестой активно действующий палец. У малой панды он развит слабее, хотя в целом строение лапы у большой и малой панд сходно. Наконец, исключительно своеобразная морфология пениса, не имеющего аналогий среди других млекопитающих, также сближает этих животных.

Большая панда обитает в горных лесах Центрального Китая, в основном на западе провинции Сычуань, на высоте 2—3,5 тыс. м над ур. м. Ареал малой панды немного шире: кроме восточных склонов Тибета (провинции Сычуань и Юнь-нань) он охватывает южные склоны Гималаев от Непала до Ассама, а также север Бирмы.



Филогенетические деревья енотов, малой и большой панд, медведей, построенные по результатам молекулярной гибридизации ДНК (I), по сравнительному анализу 50 гомологичных генов, ответственных за синтез изоферментов (II), по результатам исследования сывороточных белков (III). Видно, что все три дерева отражают значительное родство большой панды с предками медведей, а малой — с предками енотов. (По С. О'Брайену, с сокращениями.)

Если сравнить результаты исследований Тениуса и О'Брайена, видно, что они не только хорошо согласуются между собой, но примерно совпадает даже время отделения линии большой панды от линии медведей.

Основной биотоп малой панды также составляют горные бамбуковые леса на крутых склонах.

Итак, малая панда Юго-Восточной Азии — родственница енотов. Все остальные енотовые живут в Америке: широко известный енот-полоскун, акклиматизированный во многих странах Европы и в СССР, и его менее известные родичи — ка-

комицли, носухи, кинкажу, олинго, населяющие в основном Центральную и Южную Америку. По общему мнению, малая панда отделилась от енотов Нового Света очень давно и приобрела многие своеобразные признаки. Поэтому чаще всего ее помещают в самостоятельное подсемейство *Ailurinae* в семействе енотовых. А поскольку

большую и малую панд роднят многие важные морфологические признаки, ее тоже надо включить в это подсемейство и относить к енотовым. Так, вот уже более ста лет, рассуждают сторонники родства большой панды с енотами. Среди них такие авторитеты прошлых и наших дней, как Р. Лайденкер, У. Грегори, Э. Кол-



В поисках молодых побегов.



Детеныш большой панды.



Излюбленная пища — стебли молодого бамбука.

берт, Дж. Симпсон, Ж. Пивто. Хотя среди приверженцев происхождения большой панды от медведей тоже есть известные ученые (М. Шлоссер, У. Мэтью, А. Ромер), первая версия все же пользуется, пожалуй, большей популярностью. Почти безраздельно господствует она и в отечественной литературе. Точку зрения о родстве большой панды с малой и с енотами не смогли поколебать ни указания на ее сходство с примитивными медведями, ни иммунологическая близость ее с современными медведями, ни даже обстоятельнейшее сравнительно-анатомическое исследование американского зоолога Д. Дэвиса, сделавшего вывод, что большая панда по каждому изученному морфологическому признаку не что иное, как высокоспециализированный медведь.

Зоологи продолжали спорить, хотя материалов для изучения этого редчайшего зверя было по-прежнему очень мало. В 60-е годы начало расти число зоопарков — счастливых обладателей больших панд. Благодаря внешней привлекательности этого зверя и окружающему его ореолу загадочности стремительно росла и его популярность. В 1963 г. в Пекинском зоопарке появился первый детеныш большой панды, родившийся в неволе. Многие, вероятно, помнят, с каким оживлением обсуждался исход встречи московского самца Ань-Ань с лондонской Чи-Чи, встречи, оказавшейся, к сожалению, безрезультатной. Оживились и научные исследования большой панды. Чи-Чи, так и не ставшая матерью, стала зато первым объектом комплексных физиологических, гистологических

и биохимических исследований. Результаты некоторых из них, например изучения липидов мозга и белков крови, снова указали на возможное родство большой панды с медведями. И все же главная проблема — таксономическое положение большой панды — оставалась нерешенной.

Очередной штурм этой проблемы предпринял в 1979 г. австрийский палеонтолог Э. Тениус¹. Он проанализировал накопленные к тому времени разнообразные сведения по морфологии, биохимии, питанию и поведению большой панды и пришел к выводу, что по 16 характеристикам этот зверь тяготеет к медведям и лишь по пяти — к малой панде и дру-

¹ The nius E. // Z. Säugetierkunde. 1979. Bd. 44. № 5. S. 286—304.

гим енотам. Вместе с тем 12 характеристик отличают большую панду и от тех, и от других. Особенно большое внимание Тениус уделит морфологии и эволюции зубов обеих панд и их предполагаемых вымерших предков.

В ископаемой летописи больше повезло малой панде. Древнейшая форма, которая может считаться ее предком, известна из раннего миоцена (бурдигала) Испании. Это означает, что уже 20 млн лет назад линия малой панды развивалась независимо от линии американских енотов. В среднем миоцене предполагаемые предки малой панды известны уже и из Европы, и из южной Азии. Вместе с бурдигальскими формами их объединяют в род *Sivanasua*. В плиоцене (русцинии), около 4 млн лет назад, формы, очень близкие к малой панде, но, по-видимому, не являющиеся ее непосредственными предками, были широко распространены в Европе (на территории современных Англии, ФРГ, Италии, Румынии, Чехословакии), а недавно их остатки обнаружены в отложениях близкого возраста в Северной Америке. Зверь из русцинии, относимый к роду *Parailurus*, в некоторых отношениях более специализирован, чем современная малая панда, и представляет, по-видимому, боковую ветвь этой линии. Можно думать, что непосредственный предок малой панды еще с конца миоцена жил в Юго-Восточной Азии. Ископаемые остатки самой малой панды лишь изредка встречаются на юге Китая в отложениях второй половины плейстоцена (последние 200—300 тыс. лет).

С большой пандой дело обстоит совсем иначе. Ее ископаемые остатки весьма многочисленны, но все они лишь из отложений конца плиоцена и плейстоцена (последние 2 млн лет), причем в основном из области современного обитания, хотя и с более обширной территории (из Центрального Китая, Бирмы). Более древние формы, с которыми можно было бы связать большую панду, неизвестны.

В поисках возможного предка большой панды Тениус

обращает внимание на основные тенденции развития зубов миоценовых предков медведей. На протяжении миоцена от основной линии эволюции медведей не раз отделялись aberrантные ветви. Так, еще в раннем миоцене наряду с мелкими и примитивными *Ursavus*, которых большинством исследователей считает исходной формой для всех более поздних медведей, существовали весьма своеобразные медведесобаки (подсемейство *Hemicyoninae*), впоследствии вымершие. Такие ответвления происходили и позже, уже на уровне *ursavus*. В одном из них Тениус усматривает тенденцию к формированию характерных зубов большой панды, в частности верхнего хищнического зуба. Уже давно отмечено, что хотя у большой и малой панд этот зуб внешне сходен, но некоторые его бугорки у большой панды не гомологичны сходным элементам зуба малой панды, что свидетельствует о различных путях его эволюции у каждой из панд. Зуб, устроенный по тому же плану, что и у большой панды, обнаружен Тениусом в сборах из позднемиоценовой фауны Собла (Франция). Тениус предполагает, что этот зуб принадлежит aberrантной форме семейства медвежьих из верхнего миоцена Венгрии, более 40 лет назад описанной венгерским палеонтологом М. Крецом под названием *Agriarctos*. Таким образом, по строению зубов *agriarctos*, существовавший в Европе около 7 млн лет назад, рассматривается как промежуточное звено между примитивными медведями (*Ursavus*) и большой пандой.

В итоге Тениус приходит к выводу, что родственных связей большой панды с малой пандой и енотами не существует. Большая панда — очень древнее ответвление медвежьего ствола. Совокупность морфологических, анатомических, серологических, кариологических и этологических признаков заставляет, по его мнению, рассматривать большую панду вместе с ископаемым *Agriarctos* как самостоятельное семейство *Ailuropodidae* (такое семейство было выделено Р. Пококом еще в 1921 г.).

Последнее слово по проблеме происхождения большой панды принадлежит группе исследователей из Национального зоопарка и Национального ракового института США². Для выяснения родственных связей большой и малой панд, медведей и енотов эти исследователи использовали целый комплекс молекулярных методов. Степень генетической и иммунологической разобщенности этих животных была изучена с помощью гибридизации ДНК, сравнительного анализа более чем 50 гомологичных генов, отвечающих за синтез изоферментов, а также исследования свороточных белков.

По результатам каждого из трех анализов С. О'Брайен и коллеги, основываясь на гипотезе «молекулярных часов», построили филогенетическое древо этой группы хищных. Все три древа оказались похожими друг на друга и отразили значительное родство большой панды с предками медведей, а малой — с предками енотов. Чтобы представить хронологию предполагаемого филогенеза, те же три вида анализов были проведены для большой группы высших приматов, родословная которых изучена гораздо лучше. Построенное по аналогичной методике филогенетическое древо человекообразных обезьян было датировано по имеющимся для них палеонтологическим данным и абсолютному возрасту. Исходя из того, что «молекулярные часы» хищных и приматов «идут» примерно с одинаковой скоростью, американские исследователи определили временной масштаб полученного древа хищных по аналогии с датированными событиями того же ранга в эволюции высших приматов.

В результате этого большого и весьма кропотливого исследования О'Брайен и его коллеги пришли к выводу, что отделение ветви малой панды от енотовых должно было произойти почти сразу после дивергенции медвежьих и енотовых — в интервале между 50 и 30 млн

² O'Brien S. J. et al. // Nature. 1985. Vol. 317. No 6033. P. 140—144.

лет назад (в эоцене — первой половине олигоцена). Ветвь большой панды отделилась от медвежьего ствола, причем много позднее, непосредственно перед обособлением основных групп современных медведей. Авторы предполагают, что дивергенция большой панды и остальных медведей произошла около 25—18 млн лет назад, т. е. в первой половине миоцена.

Эти выводы подтверждаются кариологическими исследованиями, проведенными той же группой ученых. Кариотипы малой панды и енотов незначительно отличаются от наиболее примитивных вариантов, известных у хищных млекопитающих, в то время как кариотип медведей испытал существенные перестройки в процессе эволюции и почти не сохранил примитивных черт. Обособление большой панды также сопровождалось значительными хромосомными перестройками, характер которых скорее позволяет установить связь ее кариотипа с медвежьим, но никак не с енотовым и не с кариотипом малой панды.

Полученные результаты, считают американские исследователи, показывают значительную обособленность большой панды, что должно найти отражение в системе хищных. Наиболее целесообразным представляется им выделить подсемейство больших панд *Ailuropodinae* (с единственным родом и видом) в семействе медвежьих.

Мы видим, таким образом, что результаты исследований группы О'Брайена хорошо согласуются с построениями Тениуса. Примерно совпадает даже предполагаемое время отделения линии большой панды от медвежьего ствола — первая половина миоцена, 15—20 млн лет назад. И Тениус, и О'Брайен с соавторами считают, что весьма своеобразные, хотя и немногочисленные признаки морфологического сходства большой и малой панд отражают не общее происхождение, а параллельное сохранение предковых признаков. Австрийский палеонтолог, вслед за Д. Дэвисом, добавляет к этому конвергенцию, проявля-

ющуюся благодаря сходному типу питания и местообитаний.

Эти объяснения представляются весьма правдоподобными. В Юго-Восточной Азии живут многие эндемичные формы млекопитающих, морфологически сильно отличающиеся от своих ближайших северных родичей. Отличия, как правило, заключаются в том, что звери Юго-Восточной Азии, с одной стороны, сохранили большое число примитивных признаков, а с другой — приобрели своеобразную, зачастую очень узкую специализацию. Таковы, например, малайский медведь и губач в семействе *Ursidae*, хорьковые и воюющие барсуки среди куньих и многие другие. Предки большой панды, очевидно, были обитателями лесов, близких к субтропическим (и миоценовые остатки агриарктосов, и плиоценовые находки большой панды всегда связаны с «лесной» фауной). Первоначально их область обитания была более широкой и охватывала, возможно, юг Европы и Азии, но в связи с нараставшей сухостью климата умеренного пояса во второй половине миоцена значительно сократилась. Можно думать, что вследствие этого предки большой панды (в те времена еще не так сильно отличавшиеся от примитивных медведей) оказались в Юго-Восточной Азии, этом своеобразном питомнике эндемиков, как на большом лесном «острове», отрезанном от остального материка аридной зоной.

То же самое происходило и с примитивными енотами Старого Света — предками малой панды. Правда, родичи и тех и других еще некоторое время удерживались на юге Европы — агриарктосы до конца миоцена, а паранурусы до середины плиоцена. Последние, видимо, неплохо приспособились к условиям более северных лесов умеренного пояса, судя по тому, что они не только достигали Британских островов, но и смогли с одной из последних волн миграции лесных животных через Берингскую сушу попасть в Северную Америку. Однако уже 2,5—3 млн лет назад и они, как раньше агриарктосы, вымерли, не оставив после себя потомков.

Судьба же предшественников обеих линий, нашедших убежище в Юго-Восточной Азии — и странных медведей, и странных енотов, — оказалась до удивления сходной. Приспособление к одним и тем же биотопам, к тому же весьма специфическим, не могло пройти бесследно. И большая и малая панды, унаследовав от своих предков тенденцию к всеядности, пошли по почти идентичному пути сужения пищевой специализации, дав еще один пример удивительной конвергенции, которыми так богата живая природа.

Будет ли после работ Тениуса и О'Брайена с соавторами, давших по существу идентичные результаты, полученные совершенно независимыми методами, поставлена, наконец, точка в столетнем споре? Это покажет время. Пожалуй, окончательно решить спор о происхождении большой панды смогут лишь более полные ископаемые находки форм типа агриарктоса в отложениях конца миоцена — начала плиоцена. А пока две только что вышедшие крупные сводки продолжают давнюю традицию. Популярная «Энциклопедия млекопитающих» под редакцией Д. Макдональда помещает и большую и малую панд в семейство енотовых, а авторы сводки по систематике млекопитающих под редакцией С. Андерсона и Дж. Джонса, следуя Тениусу, относят большую панду к медвежам, правда, в качестве подсемейства *Ailuropodinae* в семействе *Ursidae*. Принимая во внимание работу О'Брайена и его коллег, вышедшую позже этой сводки, такое решение автору этих строк представляется на сегодняшний день наиболее целесообразным.

ПОЛЯРНАЯ ДЫМКА

И. И. Цигельницкий,

кандидат географических наук
Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт
Государственного комитета СССР по гидрометеорологии
и контролю природной среды
Ленинград

Явление, о котором пойдет речь, принято именовать полярной дымкой. Назвать его вновь открытым нельзя. Еще в начале 50-х годов, когда возобновились исследования высоких широт Северного полушария с помощью дрейфующих станций «Северный полюс», метеорологи и полярные летчики нередко замечали, что небо покрыто полупрозрачной пленкой, отдаленно напоминающей свойственные арктическим районам тонкие слоистые облака. Но эта пленка была слишком тонка, чтобы считать ее облачностью. Днем она лишь несколько затушевывает яркую голубизну неба, придавая ему еле заметный серо-белесоватый оттенок. Полярной ночью через нее прекрасно просматриваются звезды, полярные сияния, лунный диск. Туманом эту пленку тоже не назовешь, ибо туман либо распространяется до самой поверхности морского льда, либо слегка приподнимается над ней на незначительную, до нескольких десятков метров, высоту — так называемый «приподнятый» туман. Эта же прозрачная пелена располагается гораздо выше.

Во время полета дымка казалась летчиком более плотной и осязаемой и значительно затрудняла ориентацию при посадке самолета. Было также замечено, что она наблюдается чаще в зимнее и весеннее время, в условиях ясной и морозной погоды, свойственной областям

высокого атмосферного давления — антициклонам.

В то время этому явлению не придавали особого значения. Правда, синоптики стали учитывать возможность ухудшения видимости, связанного с дымкой, в авиационных прогнозах погоды. Страсти вокруг непонятной пелены разгорелись значительно позже, в 70-е и 80-е годы. Теперь уже заговорили не просто о дымке, а об антропогенной полярной дымке, т. е. о явлении, вызванном хозяйственной деятельностью человека. Выходит, существует два вида дымки. Так ли это на самом деле?

Да, действительно, последние исследования с помощью новейших методов — взятия проб воздуха с самолета и исследования физического состояния и химического состава содержащихся в нем взвешенных частиц — показали, что в полярной дымке в большом количестве содержатся промышленные отходы. Представлены они главным образом частичками сажи, продукта сгорания органического топлива — нефти, угля и газа; соединениями серы, фосфора и тяжелых металлов, а также частицами почвы и морских солей. Частицы эти, образуя довольно плотную пелену, могут распространяться от источника их попадания в атмосферу на большие расстояния, располагаться на различных высотах и занимать при высокой

степени концентрации значительное пространство.

Тогда-то и забили тревогу. Оказалось, что полярная дымка не только затрудняет условия работы воздушного транспорта; выпадающие из нее вредные промышленные отходы загрязняют поверхность снега и льда и при летнем таянии, попадая в почву и морские воды, пагубно воздействуют на флору и фауну. В довершение всего полярная дымка способна существенно изменять тепловой и радиационный баланс в системе суша — ледяной покров — океан — атмосфера. Какова же причина образования дымки?

По определению, содержащемуся в последнем метеорологическом словаре, дымка — это слабое помутнение атмосферы, вызываемое присутствием мельчайших, неразличимых глазом, капелек воды или кристалликов льда. Дымка придает воздуху синеватый или серый оттенок. Однако в 1984 г. в Гамбурге на 17-й Генеральной ассамблее Международной ассоциации метеорологии и физики атмосферы (МАМФА) была отмечена связь европейского «смога», ставшего подлинным бедствием для крупных промышленных центров, с образованием полярной дымки. Это и послужило основанием считать основной причиной образования полярной дымки промышленное загрязнение арктического воздуха.

Анализ данных метеорологических наблюдений за последние 50 лет, выполненный сотрудниками Арктического и Антарктического научно-исследовательского института Л. П. Буровой и Н. Н. Брызгиным, свидетельствует о том, что антропогенное загрязнение воздуха — не единственная, а тем более не основная причина возникновения полярной дымки².

¹ Хромов С. П., Мамонтова Л. И. Метеорологический словарь. Л., 1974.

² Брызгин Н. Н. Облачная пелена в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. Л., 1961. Вып. 9. С. 75—80; Бурова Л. П. Влагодобор в атмосфере Арктики. М., 1983.

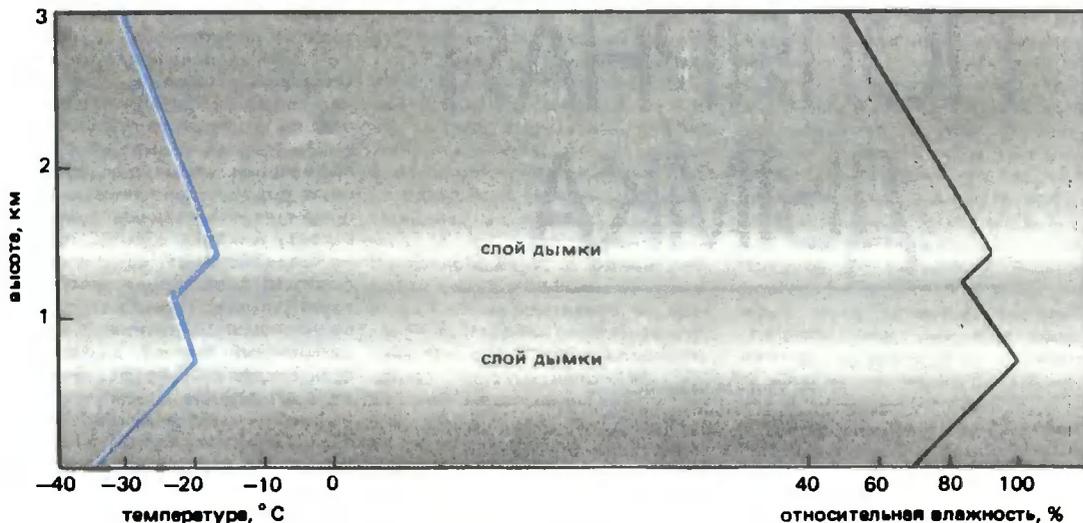


Схема образования полярной дымки в нижнем слое антарктической атмосферы. Дымка приурочена к слоям температурной инверсии и наибольшей относительной влажности.

атмосферы. Дымка приурочена

Образование, развитие и разрушение полярной дымки зависит от действующих на больших площадях термодинамических процессов, свойственных арктической атмосфере. Они обеспечивают возможность перехода воды из газообразного состояния в жидкое — в виде мельчайших капелек воды (т. е. процесс конденсации) — или сразу в твердое состояние — кристаллики льда (процесс сублимации). Одновременно с этими макромасштабными процессами в образовании дымки принимают участие и микрофизические процессы, действующие внутри самой дымки, связанные с особенностями строения капель и кристаллов.

Принято различать два основных вида полярной дымки — радиационную и адвективную. Известно, что в высоких широтах радиационный баланс подстилающей поверхности в среднем за год, и особенно в зимние месяцы, отрицательный. Иными словами, земная поверхность получает тепла значительно меньше, чем излучает сама при радиационном выхолаживании.

В случае радиационного выхолаживания общее содержание влаги в атмосфере Арктики не изменяется, только

часть парообразной влаги переходит в сконденсированную — это и есть радиационная дымка. Когда же тепло и влага поступают из более низких широт (этот процесс называется адвекцией), количество парообразной влаги резко изменяется и по мере охлаждения воздуха сопровождается конденсацией и сублимацией. В чистом виде радиационная или адвективная дымка наблюдается редко. В большинстве случаев оба эти вида проявляются одновременно.

Воздух в полярных областях часто бывает перенасыщенным водяным паром, поступающим из умеренных широт при очень высоких температурах. Но, как это ни странно, конденсации за счет охлаждения не происходит вследствие исключительной чистоты воздушных масс и недостатка в нем ядер конденсации — твердых микрочастиц природного и антропогенного происхождения. И стоит лишь таким частицам появиться, как в перенасыщенном водяным паром воздухе начинается образовываться полярная дымка. Отсюда ясно, что антропогенное загрязнение не служит первопричиной, а лишь ускоряет образование дымки.

Работы австрийского гео-

физика А. Вегенера и шведского геофизика Ф. Мальмгрена, выполненные в 20-е годы нашего столетия, связанные с исследованием перенасыщения арктического воздуха водяным паром, а также более поздние исследования сотрудницы нашего института З. М. Прик позволили выявить районы вероятного распространения полярной дымки³. В северной полярной области на большей части огромной территории площадью 25 млн км², к северу от 65° с. ш., с декабря по март наблюдается устойчивое перенасыщение водяным паром. Кратковременные периоды перенасыщения бывают и в другие месяцы года, за исключением двух — июля и августа, когда преобладает процесс испарения влаги. В южной полярной области процессы перенасыщения свойственны всей внутриматериковой области антарктического материка, занимающей около 9,5 млн км².

Таким образом, удалось установить, что основным условием образования полярной дымки следует считать наличие водяного пара в состоянии пере-

³ Прик З. М. // Тр. Аркт. и Антаркт. н.-и. ин-та. 1969. Т. 287. С. 98—100.

Характеристики инверсионных слоев над Северным Ледовитым океаном (по многолетним данным)*

| Характеристики | Приземная инверсия | | | | | Приподнятая инверсия | | | | |
|---|--------------------|--------|------|---------|------------------|----------------------|--------|------|---------|------------------|
| | Январь | Апрель | Июль | Октябрь | В среднем за год | Январь | Апрель | Июль | Октябрь | В среднем за год |
| Содержание влаги в инверсионном слое, мм | 0,44 | 1,02 | 2,95 | 0,66 | 1,10 | 0,65 | 0,71 | 1,08 | 0,33 | 0,83 |
| Толщина инверсионного слоя, км | 1,16 | 1,09 | 0,61 | 0,62 | 0,81 | 0,91 | 0,55 | 0,42 | 0,32 | 0,53 |
| Перепад температуры в инверсионном слое, °С | 11,7 | 9,1 | 4,2 | 8,1 | 7,6 | 5,8 | 3,0 | 3,0 | 2,2 | 3,4 |
| Число инверсионных слоев | 28 | 21 | 14 | 28 | 243 | 9 | 23 | 21 | 25 | 263 |

* По Л. П. Буровой.

насыщения и ядер конденсации, способствующих образованию капелек и ледяных кристаллов. Подобные условия постоянно имеются и в Арктике, и в Антарктике. Можно считать, что условия возникновения этого явления выяснены. Но в самом начале говорилось еще, что полярная дымка — это тонкая пелена и может распространяться на большие расстояния. Проведенные на самолетах экспериментальные исследования подтверждают это и показывают, что дымка может быть многослойным образованием. Что же определяет ее положение в пространстве?

Прежде всего — постоянство структуры полей температуры и влажности воздуха в нижних слоях атмосферы полярных областей по вертикали на протяжении сотен и даже тысяч километров. К этому следует добавить еще одно свойство полярной атмосферы — ее резко выраженную слоистость. Она определяется термической неоднородностью нижних слоев воздуха, и поэтому одним из основных факторов распределения полярной дымки в пространстве служит приземная и приподнятая инверсия температуры (т. е. ее повышение с высотой вместо обычного понижения в других районах). Инверсия является самой характерной чертой термического режима нижней атмосферы полярных областей⁴.

Приземная инверсия температуры воздуха влияет на вертикальное распределение влаж-

ности, скорость и направления ветра, а следовательно, определяет и динамическое состояние нижних слоев атмосферы. По расчетам Л. П. Буровой, в инверсионных слоях содержится треть всей влаги, приходящейся на 8-километровый слой атмосферы. Влага здесь скапливается очень быстро, что приводит к образованию ледяных кристаллов при совершенно ясном небе. Обычно больше всего влаги на высотах от 400 до 1000 м (примерно в два-три раза больше, чем у поверхности). Что же мешает ее равномерному перемешиванию?

Главным препятствием служит пониженная турбулентность слоя приземной инверсии. Вследствие того что над самыми нижними холодными слоями в приземной инверсии располагаются более теплые, термическое состояние всего приземного слоя становится динамически устойчивым и вертикальный обмен теплом и влагой в нем затрудняется. Расчеты показали, что величина коэффициента турбулентности в нижнем слое толщиной 300 м над Северным Ледовитым океаном и антарктическим материком составляет лишь 1,5—2 м²/с, что на порядок меньше, чем в умеренных широтах над океанической поверхностью. Благодаря пониженной турбулентности и происходит накопление влаги в верхней части инверсии.

В полярных областях над приземной инверсией очень часто располагаются один или несколько приподнятых инверсионных слоев, в которых также может происходить накопление влаги, ее конденсация и сублимация, сопровождающиеся

образованием капелек и ледяных кристаллов. Вот почему полярная дымка может наблюдаться в виде нескольких ярусов, расположенных один над другим. А поскольку слоистая структура полей температуры и влажности воздуха сохраняется на больших площадях, то и дымка может распространяться на расстояния в сотни и тысячи километров.

Немалую роль в распространении полярной дымки играют струйные воздушные течения нижней атмосферы, скорость которых достигает 30—40 м/с⁵. Они способствуют дальнейшему распространению дымки на большие расстояния.

Таким образом, с большой долей уверенности можно сказать, что физические процессы, протекающие в нижней атмосфере полярных областей, способствуют как образованию дымки естественного, природного происхождения, так и накоплению продуктов промышленной деятельности человека, увеличивающему вероятность возникновения антропогенной полярной дымки.

Исследования условий образования, физического состояния и химического состава полярной дымки, ее повторяемости и вероятности возникновения в конкретных районах Арктики и Антарктики продолжают. Они помогут оценить степень ее влияния на климат полярных областей и разработать методы борьбы с ее опасными последствиями.

⁴ Цигельницкий И. И. Воздушный буфер Антарктиды // Природа. 1984. № 11. С. 78—81.

⁵ Цигельницкий И. И. Воздушные реки // Природа. 1986. № 10. С. 70—75.

ЧЕТЫРЕ ГОДА РЯДОМ СО СТРИЖАМИ

Г. Д. СЕРОВ

Новосибирск



В полет.

Литература о поведении стрижей скудна, надо полагать, из-за трудности наблюдений за ними. Гнездятся стрижи в малодоступных для этого местах — дуплах старых деревьев, расщелинах и пустотах скал, под арками мостов и в щелях высоких городских зданий. Но часто они занимают и скворечники. Это-то и помогло мне, неспециалисту, увидеть в поведении стрижей то, что было скрыто от глаз орнитологов.

Стрижи устроили гнездо на балконе в трех метрах от моего письменного стола в раскошемся скворечнике, который прежде служил жильем для скворцов. Я прикрепил скворечник к перилам, а рядом с домиком установил сухую ветку и привинтил к ней кормушку, а в крыше скворечника сделал отверстие для наблюдений за птицами. Чтобы взглянуть к ним и сделать запись в дневнике, а при удаче и сфотографировать, мне нужно было лишь запастись терпением и проявить максимум осторожности, по нескольку раз днем и ночью выходя на балкон.

Вот уже четыре года подряд живет в этом скворечнике семья черного стрижа (*Apus apus*) — нередкого летнего гостя Академгородка под Новосибирском. В самом же Новосибирске часто гнездится белобрюхий стриж (*A. melba*). Хотя мои пернатые соседи и называются черными, их оперение скорее коричневого оттенка, а горлышко совсем светлее; черные глаза спрятаны в вальном углублении. Стриж, птица с коротким клювом и большим разрезом рта, доходящим до уровня глаз, внешне похож на ласточку, но с более длинными, чем у нее, крыльями. Тонкие, в полете похожие на серп, у сидящего стрижа они складываются подобно испорченным ножницам. Хвост короче ласточкиного, но на конце тоже раздвоен. Короткие четырехпалые ноги с очень цепкими, направленными вперед когтями одеты, как у хищников, в чулочки из мелких перьев. Такими короткими пальцами стрижи не могут схватить ветку, чтобы сесть на нее, не способны ни бегать, ни прыгать, как те или иные птицы, а могут только ползать, цепляясь когтями за

кору дерева, шероховатости скальной стены или стены дома. Мне приходилось видеть, как птенцы в месячном возрасте часто коротали время на неоструганных стенках скворечника, как птенец полз вверх по настенному ковру, опираясь то хвостом, то крыльями.

Как же стрижи со столь непропорционально длинными крыльями и короткими лапами взлетают? Взятый стрижа, положить его на землю и сфотографировать момент взлета я не

планктон» для сидящей на кладке самки или появившихся птенцов, стрижу приходится то совершать крутые виражи, то мгновенно пикировать и тут же внезапно подниматься свечой, охотясь за мелкими насекомыми. Полет стрижей не только стремителен, но и точен, кажется, что они умеют рассчитывать расстояние. Мне приходилось видеть, как стриж, не замедляя скорости, с которой он носился в воздухе, влетел в 12-сантиметровую щель под перилами бал-



Портрет моего пернатого соседа.

решился. Помог случай. Однажды стриж, влетая в скворечник, соскользнул с летка и упал на пол. Чтобы сделать снимок, я положил птицу возле балконной щели и ожидал, что стриж подползет к ней и ринется вниз. А он расправил крылья, чиркнул ими по полу и мгновенно исчез через 10-сантиметровую щель, то ли подпрыгнув, то ли оттолкнувшись крыльями и опершись на хвост. Значит, стрижи способны взлетать с земли, хотя никогда на нее не садятся.

Стриж — истинный покоритель пятого океана, способный пролететь 1000 км со скоростью более 100 км в час. На лету он добывает пищу — комаров, стрекоз, тлей, пауков, поднятых ветром и потоками прогретого за день воздуха. Чтобы накопить в зобе «воздушный

континент», круто развернувшись, так же быстро вылетел обратно: На большой скорости, так что не успеваешь заметить, стрижи залетают и в леток скворечника. Я испортил сотни кадров, пытаясь заснять стрижей в полете; удалась лишь немногие снимки летящего стрижа, но и на них концы крыльев оказывались смазанными (даже при экспозиции в $\frac{1}{125}$ — $\frac{1}{250}$ с) из-за очень высокой частоты колебаний крыльев и маховых перьев. Может быть, высокую скорость полета стрижей обеспечивают не только крылья, но и выгодная аэродинамическая форма тела? Возможно, что они могут даже изменять ее, попеременно топорща перья то на одной, то на другой части туловища и создавая некое подобие волны, проходящей по корпусу. Этот эффект

можно сравнить с волновым движением кожи у дельфина, с помощью которого он устраняет возникающие в воде вихревые потоки. Не потому ли и профиль стрижа так похож на дельфиний? Кстати, возможно также, что, поднимая перья, стриж может и гасить скорость — на снимке с изображением подлетающего к летку стрижа это хорошо видно.

Стриж — перелетная птица. Предвестник лета, в наших краях он появляется с наступлением погожих дней. Сначала, как это бывало не один год, прилетает стриж-разведчик. Пролетит с визгом на крутом вираже мимо скворечника, из которого вот-вот должны вылететь скворцы-слетки, и унесется, чтобы через 5—6 дней вернуться вместе со стаей.

Каждая пара обычно возвращается в свое прошлогоднее гнездо, и уже через неделю в нем появляется белого цвета яйцо. Оба родителя поочередно начинают насиживать его, не дожидаясь пока через 3—4 дня будет снесено второе, а за ним, как правило, третье. Птица плотно сидит на кладке, изредка меняя положение и подправляя яйца клювом. Пройдет 19—20 дней, прежде чем проклюнется первое яйцо. За 5—6 суток до появления птенца стрижи выстилают лоток перьями, отловленными в воздухе. Голый, с глазами, затянутыми тонкой кожицей, сквозь которую чернеют глазные яблоки, птенец еле-еле поднимает голову. Скорлупу родители сразу же выносят прочь. С тем же разрывом, с которым были отложены яйца, из них выводятся второй и третий птенцы.

Как-то на моем балконе поселилась не одна, а две пары стрижей: по непонятной причине второй скворечник, в котором скворцы обычно выводили потомство, они в тот год не заняли, а прилетали только к кормушке, сначала одни родители, а потом вместе со своим выводком. Первая пара стрижей заняла свой домик как обычно, а вторая поселилась в другом скворечнике на три недели позже, дождавшись, когда прекратятся визиты скворцов. У каждой пары в кладке было по три яйца, но вывелись только два птенца. У одной



Коготкам помогают крылья и хвост.



Разница в возрасте — неделя.



Разница все незаметнее.

пары третье яйцо оказалось неоплодотворенным, и птицы не насиживали его, выкатив из лотка, у второй пары яйцо имело в центре надкол с расходящимися трещинами. Вскрыв яйцо, я обнаружил, что начавший развиваться зародыш погиб, а содержимое высохло. Вряд ли стрижи могли случайно повредить его, может быть, яйцо было надколото преднамеренно из-за позднего завершения кладки? Ведь даже первых птенцов родители выкармливали еще около двух недель после того, как колония стрижей покинула наши места. Может быть, это — способ регулировать численность популяции?

Кормят птенцов, как и насиживают яйца, оба родителя, добывая корм в любую погоду. Мне довелось наблюдать за кормлением только что вылупившегося птенца. В домик, не обращая на меня, заглядывающего в отверстие крыши, никакого внимания, залетел стриж с раздувшимся от пищи зобом, прикоснулся к голове сидящей на кладке самки, и та отползла в сторону. Только после этого самец буквально сел на крошечного трехсантиметрового птенца и где-то под собой стал кормить его. Пока птенцы не оперятся, родители доставляют им пищу через каждый час (другие мелкие птицы обычно кормят чаще), а потом и того реже — 7—8 раз в день. Птенцы выпрашивают пищу у кормящего родителя, тербя его перья на голове и шее, а тот раздает корм, наказывая нетерпеливого легким ударом крыла. В жаркие дни птенцы сидят с широко раскрытыми клювами, но обходятся только той водой, что содержится в корме. А пьют ли вообще стрижи воду? Мне ни разу не приходилось видеть, чтобы они летали над водой и захватывали ее клювом, как это делают ласточки.

Пока птенцы в гнезде — в нем чисто и сухо, помет почти до самого их вылета поедают родители. Соблюдать чистоту гнезда очень важно, и каждый вид по-своему поддерживает ее: клесты — так же, как стрижи, птенцы ласточек высовывают хвостики из гнезда, а скворцы и сороки выносят помет в клюве.

Несмотря на редкое кормление, птенцы растут быстро: на 5—7-й день они открывают глаза, к этому же времени у них вырастают перышки на спине, а затем появляются «пеньки» на крыльях и хвосте. Месячные стрижи почти сравниваются в размерах с родителями, начинают выглядывать из летка, трепещут крыльями. Сколько времени птенцы находятся в гнезде, зависит от погоды, с которой у стрижей так связано наличие летающего корма. Видимо, поэтому орнитологи указывают разные сроки пребывания птенцов в гнезде. По моим наблюдениям, слетки покидали домики через 37 и 42 дня. Правда, были птенцы, вылетевшие через 50 суток, но то был особый случай. В начале августа внезапно похолодало и взрослые стрижи улетели. Заглянув в скворечник, я обнаружил птенцов без признаков жизни и принес их в комнату. Однако, присмотревшись, заметил, что они дышат и даже приоткрыли глаза. Я вернул птенцов в гнездо, поскольку вряд ли мне удалось бы выкормить их дома, но, по счастью, через неделю вернулись родители и все обошлось благополучно.

Обычно птенцы мелких птиц раньше молодых стрижей покидают гнезда. Более долгое пребывание стрижей в гнезде связано, по-видимому, с тем, что они должны быть уже достаточно сильными и зрелыми, чтобы хорошо летать и самостоятельно добывать корм. Не совсем ясно, как они обучаются этому, может быть наблюдая за взрослыми из гнезда? Многие птицы долгое время опекают своих слетков, даже ласточки, и те больше недели кормят вылетевших из гнезда птенцов, когда они садятся на провода, балконы. Ничего подобного у стрижей я не видел, вылетов из гнезда, слетки никогда больше в него не возвращались.

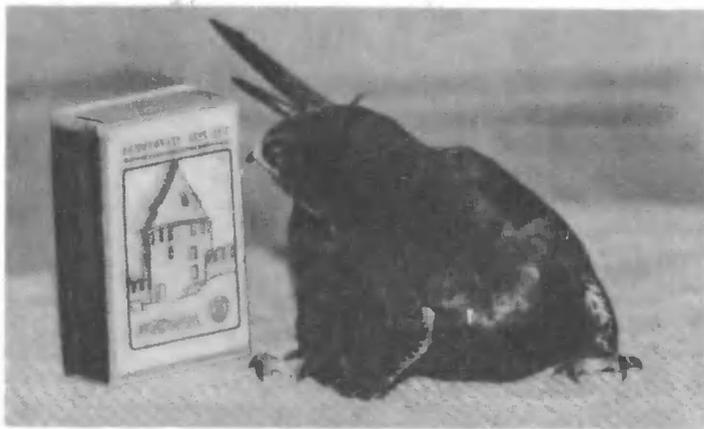
Стрижи — стайные, довольно «болтливые» птицы. Они перекликаются в полете, когда во второй половине летнего дня большими группами носятся высоко в небе, «переговариваются» с сородичами, сидящими на кладке или выкармливающими птенцов. В это время взрослые стрижи особенно любопытны:



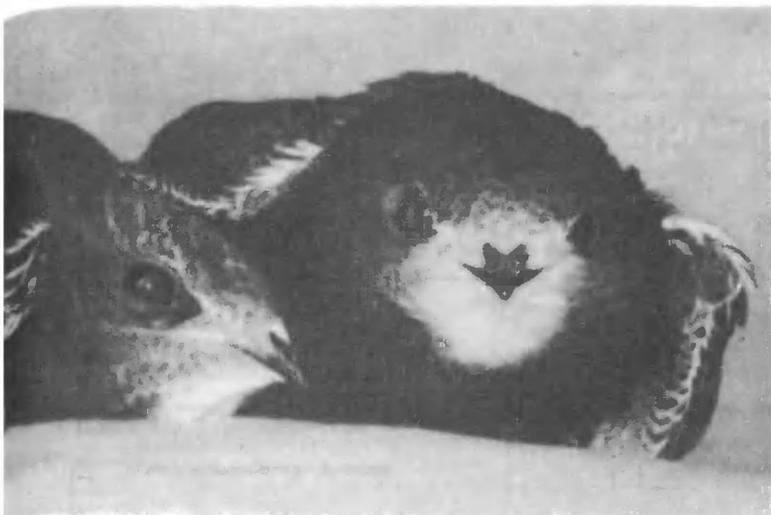
Через 5 дней они покинут свой дом.



В ожидании зоологических измерений.



Путешествие по дивану.



летают по кругу над летком и заглядывают внутрь домика. Не успеет улететь один стриж, как другой буквально садится ему на спину, чтобы заглянуть самому. Один раз чужой стриж даже покормил птенцов. На громкий крик взрослых откликаются и молодые, более высоким и тихим, но все же хорошо слышимым голосом.

Как относятся стрижи к человеку? Видимо потому, что им никогда не приходится сталкиваться с ним, они его не боятся и даже как будто не замечают. Все снимки я делал в полутора метрах от птиц и не замечал их беспокойства, когда заглядывал к ним в скворечник: они просто переставали заниматься своими делами и глядели в мой глаз без паники и криков. Более того, стрижи никогда не делали попыток высвободиться, если я брал их в руки, это совсем необычно для диких птиц. Однако птенцы все же пугаются: когда я пытался обмерить их, через несколько секунд у них развивалась «медвежья» болезнь.

Стрижи улетают первыми из перелетных птиц — с первых чисел августа. Причина столь раннего начала миграции непонятна, ведь дни в это время стоят, как правило, теплые, в воздухе много насекомых и птицы могли бы еще безбедно кормиться. Например, в 1985 г. в конце лета была масса стрекоз, но все равно стрижи улетели как обычно. Ласточки тоже добывают корм в воздухе, а улетают из наших краев только во второй декаде сентября.

Летом на моем балконе скворечники по-прежнему не остаются без пернатых обитателей и я надеюсь на новые интересные встречи.

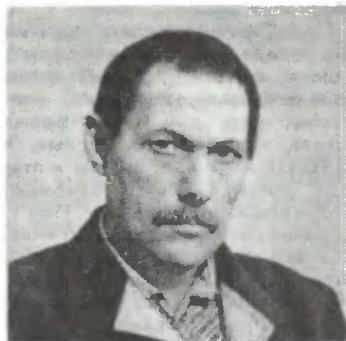


УРОВЕНЬ КАСПИЯ глазами древних греков

С.Н.МУРАВЬЕВ

Что иногда значительная часть материков затопляется, а потом обнажается, это допустить следует.

Страбон



Сергей Никитич Муравьев, специалист в области классической филологии. Занимается историей античной философии (Гераклит), историей древних письменностей народов Кавказа, исторической географией древнейших государств на территории СССР.

На основании анализа ряда античных географических текстов автор этих строк пришел к выводу, что в IV—II вв. до н. э. жители прикаспийских территорий были свидетелями необычного явления: стремительной трансгрессии Каспийского моря, во время которой, на рубеже IV и III вв. до н. э., уровень его зеркала достиг небывалой для исторического (в отличие от геологического) времени отметки +10/+20 м абс. (т. е. выше уровня Мирового океана). К сожалению, наблюдавшие это явление многочисленные прикаспийские народы не имели письменности, а устные их предания до нас не дошли. Имевшие же свою письменность греки (а позднее и римляне) наведывались в эти края крайне редко и ненадолго. Поэтому они в лучшем случае могли лишь фиксировать то состояние моря, которое заставали, быстрые же изменения этого состояния остались ими незамеченными. Тем не менее некоторые древнегреческие сообщения, если отнестись к ним с большим доверием, чем то, которого они доселе удостоивались, красноречиво свидетельствуют о современном им — и весьма отличном от известного нам — уровне вод Каспия (напомним, что в настоящее время он равен —28 м абс.). Ниже пойдет речь только о тех из них, которые отражают состояние, по-видимому, весьма близкое к максимуму трансгрессии, а именно: о карте Кавказской Албании Клавдия Птолемея (II в. н. э.) и о ряде сведений о Каспии, которые сохранены нам Страбоном (рубеж н. э.), но восходят к Эратосфену (III в. до н. э.) и к Каспийской экспедиции Патрокла (нач. III в. до н. э.). В заключение мы поделимся некоторыми наблюдениями над географическим распределением археологических памятников времени трансгрессии на обширных пространствах Прикаспия.



Карта Алуании, по Птолемию [География. 5, XI]. В карту внесены исправления, указанные в таблице 1. 1, 2, 3, 4, 5 — условные зоны.

--- Граница Кавказской Албании

X Перевал Албанские ворота

КАВКАЗСКАЯ АЛБАНИЯ (АЛУАНИЯ) КЛАВДИЯ ПТОЛЕМЕЯ

Кавказской Албанией (в отличие от Балканской) принято называть древнее государство, существовавшее в античную эпоху и в начале средневековья на территории нынешней Азербайджанской ССР. Более точное ее название — Алуания, которым будем пользоваться и мы, поскольку оно не только точнее, но и удобнее: отпадает необходимость в добавлении «кавказская».

Рассмотрим карту этого государства, построенную на основании текста «Географии» Птолема и всех приведенных в ней координат. «География» состоит из теоретического введения и детального описания — регион за регионом, страна за страной — составленной им самим (на основании всевозможных картографических и литературных источников, а также — отдельных астрономических измерений) карты населенного мира («ойкумены») — от Канарских о-вов до Китая. Птолемей использует координатную сетку, предполагающую, что 1 градус = 400 стадиям по Родосской параллели (в действительности он равен 700 стадиям), причем нулевой меридиан у него проходит через Счастливые (Канарские) о-ва, а Александ-

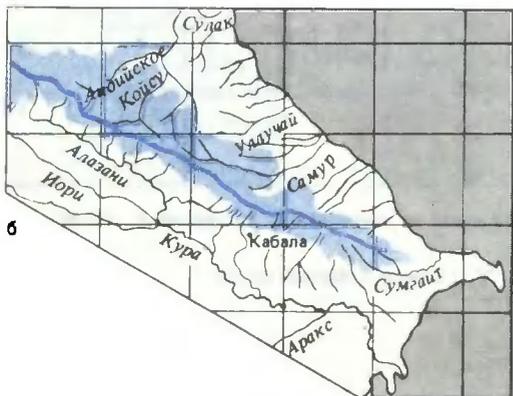
рия помещена на долготу 60°30'. Описание каждой страны обычно состоит из указания координат: крайних точек ее границ и горных цепей; истоков, поворотов и устьев рек; перевалов, островов и прочих примечательных мест; прибрежных населенных пунктов (что дает некоторое представление об очертании побережья), а затем и прочих населенных пунктов. Многие средневековые рукописи, дошедшие до нас текст «Географии» (известно около 45 списков), снабжены картами, относительно которых до сих пор не установлено, восходят ли они к Птолемеевским оригиналам или построены (как и наша) на основании текста, от указаний которого они, как правило, не отклоняются¹.

Вкратце карта может быть описана следующим образом. На севере, почти в широтном направлении, тянется Большой Кавказский хребет. С его южного склона в южном или юго-восточном направлении стекают пять рек. Самая западная из них впадает еще в одну реку, текущую с запада, — Кюр. Остальные реки,

¹ Все древние источники цитируются по изданиям оригиналов в переводе автора. Полный текст XI гл. 5 кн. «Географии» и всю филологическую «кухню» см. в статье: Муравьев С. Н. Птолемеева карта Кавказской Албании и уровень Каспия // Вест. древней истории. 1983. № 1. С. 117—174.



а



б

Орографическая и гидрографическая типология: а — Алуании, по Птолемию; б — современного Восточного Кавказа.

в том числе и сам Кюр, вливаются в Гирканское море. Алуанское побережье этого моря имеет общее направление западо-юго-запад — востоко-северо-восток (от устья Кюра до устья Соаны). Кроме моря Алуания ограничена: на севере — Большим Кавказом (точнее: 47-й параллелью), на западе — Иберией, а на юге — Кюром. Реки, спускающиеся с Кавказа — безымянная, Албан, Кайсий, Герр и Соана, — делят ее на 5 зон, на территории которых отмечены соответственно (с запада на восток) пять, двенадцать, семь, три и два (а всего 29) населенных пунктов. Города Гайтара, Албана, Гелда и Телайба, входящие соответственно во 2-ю, 3-ю, 4-ю и 5-ю зоны, стоят у морского побережья. Кроме географических координат всех населенных пунктов Птолемей указал координаты всех морских устьев, крайних точек восточной части Большого Кавказа, а также перевала Албанские ворота. Все остальные составляющие карты суть картографические интерполяции, допускающие более или менее значительные отклонения (это замечание касается в первую очередь очертания побережья и рек, а также местоположения истоков последних).

Поскольку совершенно несомненно, что «гора Кавказ» есть Большой Кавказ-

ский хребет (восточная часть его), «Гирканское море» — Каспий, «Кюр» — Кура, «Иберия» — Восточная Грузия (Картли), а «Великая Армения» — Армения в тех границах, которые она имела на рубеже новой эры, карта Алуании Птолема изображает Восточное Закавказье и прилегающие к нему районы, зажатые между Большим Кавказом и Курой. Однако даже беглого взгляда достаточно, чтобы обнаружить три поразительных несоответствия между системой «Алуания Птолема» и системой «орография и гидрография современного Восточного Закавказья».

1. Большой Кавказ тянется не в широтном направлении, а в направлении северо-запад — юго-восток.
2. Все реки, стекающие с его южного склона, кроме двух (Пирсагата и Сумгаита), впадают не в море, а в Куру², а все реки, стекающие с него в море, кроме тех же двух, берут начало не на южном, а на северном его склоне.
3. Направление каспийского побережья к северу от дельты Куры — отнюдь не западо-юго-запад — востоко-северо-восток, а сперва (до Апшерона) юго-юго-запад — северо-северо-восток и затем юго-восток — северо-запад.

Согласовать между собой разные типологии этих систем невозможно, не пожертвовав какими-то существенными деталями одной из них. Поскольку же строение современного Закавказья налицо, так сказать, «в оригинале», и, стало быть, бесспорно, а «карта Птолема» есть лишь весьма несовершенная графическая модель этого оригинала, построенная два тысячелетия тому назад, жертвовать вроде бы можно лишь деталями последней.

До сих пор пытались это делать, принимая, что либо реки, обозначенные у Птолема как текущие с южного склона и впадающие в море, на самом деле текут с северного склона, либо они на самом деле впадают не в море, а в Куру. И в том, и в другом случае, разумеется, ориентация береговой линии и ориентация Большого Кавказа у Птолема отбрасывались как ошибочные.

Допустим, мы избрали первое решение: реки текут с северного склона и впадают в море. Немедленно вслед за этим мы должны подобрать из числа рек, впадающих в Каспий севернее устья Куры (каковых превеликое множество), те, которые лучше всего бы соответствовали

² В настоящее время воды некоторых из них не достигают Куры, так как разбираются на орошение.



Аллуания Птолемея на современной картографической основе. Очертание берега соответствует уровню моря +10/+20 м абс. Локализованные древние топонимы представлены своими (несомненными или предполагаемыми) современными эквивалентами, не локализованные опущены.

 Границы Каспия при уровне зеркала —28 м абс.

 Границы Каспия при уровне +10/+20 м абс.

птолемеевым Албану, Кайсию, Герру и Соане. Кроме того, нам также нужно найти реку, стекающую с Кавказа в Куру где-то между Грузией и Каспием (таковых тоже немало), с которой можно было бы отождествить безымянную реку Птолемея. Наконец, необходимо локализовать помещенные между этими реками древние населенные пункты.

Но если в отношении рек у нас большой выбор, локализацию городов и селений следует признать принципиально невозможной. Действительно, единственный несомненно опознанный город из птолемея списка Хабала, т. е. Кабала (Кабалака Плиния, Капалак армянских источников, Кабала арабских), раскопки которой ведутся уже много лет азербайджанскими археологами, находится между Турянчаем и Геокчаем, или, иначе, между Алджиганчаем и Гирдыманчаем, рядом с деревней Чухуркабала. Но все названные реки впадают в Куру, а у Птолемея Хабала помещена между Албаном и Кайсием, которые оба впадают в море и должны были бы (в соответствии с избранной гипотезой) течь с северного склона! Но если столь неверно локализована Кабала у Птолемея, можно ли надеяться на сколько-нибудь правильную локализацию им остальных 28 пунктов?

Тем не менее большинство исследователей как прошлого, так и нынешнего века исходили именно из этой гипотезы, но они значительно расходятся между собой не только относительно идентифи-

кации городов и селений (здесь царит полный разнобой), но и относительно идентификации рек.

По другому пути — реки Птолемея текут с южного склона — пошел еще в первой половине прошлого века русский путешественник А. Яновский. Он пренебрег только одним — правда, весьма существенным — моментом: впадением рек в Каспий. Кроме Соаны (Сумгаита), утверждал он, все остальные реки Птолемея впадают в Куру³.

Типологические преимущества этой точки зрения (разделяемой в наше время С. Т. Еремянном) очевидны: впадающие в Куру реки текут, как у Птолемея, с одного и того же южного склона Кавказа; они текут более или менее параллельно, к югу или юго-востоку, что тоже хорошо согласуется с птолемеевой схемой... К сожалению, Яновский недостаточно последовательно провел эту точку зрения, пренебрег некоторыми указаниями Птолемея и слишком увлекся фонетическими сходствами, что не помешало ему, однако, сделать несколько удачных отождествлений топонимов. Но ахиллесовой пятой его подхода было отсутствие ответа на следующее веское возражение: «Если реки, текущие в Шеки, с одной стороны, лучше могли служить к более

³ Яновский А. О древней Кавказской Албании // Ж. Мин-ва народного просвещения. 1846. Ч. 52. Отд. II. С. 97—136, 161—203.

достоверному определению по ним положения местностей Албании, упомянутых древними писателями, то пришлось бы предположить, что Птолемей и Плиний очень ошиблись, говоря, что упомянутые реки впадают в море. Но это в высшей степени неправдоподобно»⁴.

Это возражение, видимо, приходило на ум и самому Яновскому, равно как и единственно возможный ответ на все вопросы, ибо в одном месте он мимоходом замечает: «Форма моря обрисована на ландкарте Птолемея неверно, и скорее можно допустить эту неверность, нежели изменения его в натуре»⁵.

⁴ Дорн Б. Каспий. О походе русских в Табаристан. СПб, 1875. С. 330.

⁵ Яновский А. Цит. соч. С. 134, прим.

А ведь разгадка в том как раз и состоит, чтобы признать «изменение моря в натуре»! Карта Птолемея изображает Восточное Закавказье, каким оно было бы (и по всей видимости, действительно когда-то было), если бы уровень Каспия весьма отличался от нынешнего и большая часть Кура-Араксинской низменности находилась под водой. При таком допущении все кричащие противоречия между картой Птолемея и картой современного Восточного Закавказья снимаются и правильность подхода Яновского становится очевидной. Чтобы в этом убедиться, достаточно сравнить карту Алуании Птолемея с картой Левобережного Азербайджана, каким бы он был, если бы воды Каспия заливали нынешнюю Кура-Араксинскую низменность. На ней обнаруживаются даже

Таблица 1

Топонимы Алуании, по Птолемею (А — лучшая рукописная форма, Б — реконструированная первоначальная форма, В — современный эквивалент)

| А | Б | В |
|------------------|----------------|-----------------|
| ГИДРОНИМЫ | | |
| 1. Безымянная | | Алазани (Ганых) |
| 2. Албан | | Алджиганчай |
| 3. Кайсий | | Геокчай |
| 4. Герр | | Пирсагат |
| 5. Соана | | Сумгаит |
| ОЙКОНИМЫ | | |
| Зона № 1 | | |
| Тагода (см.10) | | |
| 6. Бакхиа | Бакриа/Бакуриа | Бакур-цихе |
| 7. Сануа | Санора | Цнори |
| 8. Деглане | Дзигаане | Джугаани |
| 9. Нига | Нага | (Дзвели) Анага |
| Зона № 2 | | |
| 10. Тагода | Лагода | Лагодехи |
| 11. Мосега | Мосега | Мацех (и) |
| 12. Адиабда | Алиаб(а)да | Алиабад |
| 13. Иобула | Иобула | Алибейли (?) |
| 14. Иуна | Иуна | Джунут |
| 15. Осика | Ссака | Шаки (Шеки) |
| 16. Аблиала | Аблиала | А(б)лияр |
| 17. Барука | Баруда | Варта-шен |
| 18. Мамехиа | Маллехиа | Малых |
| 19. Самунис | Самухис | Самух |
| 20. Сиода | Сиода | Суда-гилан |
| 21. Гайтара | Гайтаура | Мин-гечаур |
| 22. Эблайа | Эблайа | Евлах |

А

Б

В

Зона № 3

| | | |
|-------------|---------|-------------------|
| 23. Хадаха | Халаха | Халхал |
| 24. Хобота | Холмаза | Хачмас (Хачмаз) |
| 25. Мисиа | Низиа | Нидж |
| 26. Хабала | Хабала | Чухур-Кабала |
| 27. Аламос | Заламос | Залам |
| 28. Албана | Албана | Араб?/Албан-дере? |
| 29. Бозиата | ? | Варданлы? |

Зоны № 4 и 5

| | | |
|--------------|----------|-------------------|
| 30. Тиауна | Тиауна | (ср. Тион-ети) |
| 31. Табилака | Таклабия | Таглабиян |
| 32. Гелда | Гелда | Гейлар Даг/Гягяли |
| 33. Тилбис | Тилбис | (ср. Тбилис-и) |
| 34. Телайба | Телайба | (ср. Телав-и) |

ПРОЧИЕ ТОПОНИМЫ

35. Албанские ворота
36. Болотистые острова

Хачмасский перевал
Возвышенности у оконечностей
хребта Харамы и Алятской
гряды (к в. от Али-Байрамлы)

Примечания. 1. У Птолемея пункт 10 находится в зоне № 1 (ошибочное нанесение верховьев Алазани), пункты 12, 15, 17, 19, 22 помечены топонимами, принадлежащими соответственно пунктам 19, 22, 12, 15, 17 (смещение по кругу), а пункты 23 и 26 — топонимами пунктов 26 и 23 (взаимная перестановка).

2. Дешифровка топонимов 2, 5, 16, 19 и 35 принадлежит А. Яновскому, 15 — А. Е. Крымскому, 20 — С. Т. Еремяну.

3. Картвельские (грузинские) топонимы пунктов 30, 33 и 34, возможно, попали на карту Алуани по ошибке, но могут отражать и бывшее присутствие древнекартвельского населения.

оба острова, которые Птолемей помещал в море против Телайбы! Приняв это допущение, мы легко можем локализовать либо достоверно, либо с большой степенью вероятности все реки и 26 из 29 ойконимов. Полученные результаты обобщены в табл. 1⁶.

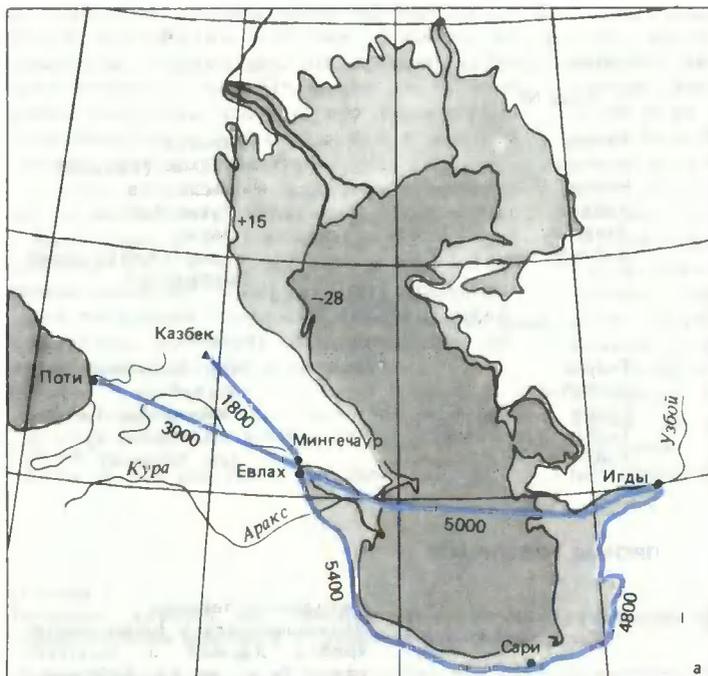
Итак, карта Птолемея изображает Алуанию, соответствующую той части современного Советского Азербайджана, которая лежит между Нижней Курой и Большим Кавказом, но без Ширванской равнины, которая практически целиком залита водами Каспия. Устье Куры на ней находится где-то в районе г. Евлаха. Это позволяет установить приблизительную отметку изображенного уровня моря: урез Куры в Евлахе стоит на отметке +15 м абс. Но когда же могла произойти эта внушительная трансгрессия (более чем на 40 м

превышающая нынешний уровень)? При самом Птолемею или раньше?

Конечно, раньше, и вот почему. Во-первых, о том, что Албан и Кайсий (Касий) вливаются в море, уже писал веком раньше Плиний Старший (23/24—79 гг.). Во-вторых, также веком раньше, появляются сообщения о соединении Аракса и Куры, что предполагает уровень, никак не превышающий отметки — 12 м абс. А поскольку по еще более древним свидетельствам Аракс первоначально впадал в море, эта перемена могла явиться следствием понижения уровня последнего⁷. Следовательно, если трансгрессия действительно имела место, она произошла намного раньше соединения русел Аракса и Куры. Когда

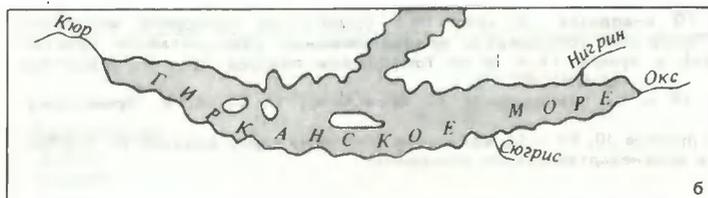
⁷ Ср.: Аристокл (у Арриана. Поход Александра. VII, 16, 3); Страбон. XI, 4, 2; 1, 5; 14, 3 и 13; Плутарх. Помпей. 34; 35; Плиний. Ест. ист. VI, 26; Птолемей. Геогр. VI, 12,3; Аппиан. Войны Митридата. 103 (480).

⁶ Подробнее см.: Муравьев С. Н. Указ. соч. С. 130—142.



Форма Каспийского моря: а — при уровнях +10/+20 м абс. и -28 м абс., с обозначением размеров [Южного] Каспия и Кавказского перешейка, сообщаемых Патроклом и Эратосфеном; б — по Пойттингерской дорожной карте мира.

-  Форма Каспия при уровне -28 м абс.
-  Форма Каспия при уровне +10/+20 м абс.
-  Расстояния, по Патроклу и Эратосфену



же? Ответ нам дает Эратосфен (ок. 275—194 гг. до н. э.), великий математик, географ и филолог из Кирены. Соответствующие его высказывания нам сохранили Страбон (64/63 г. до н. э.— после 21 г. н. э.) и Плиний, а сам Эратосфен, по-видимому, опирался на результаты экспедиции Патрокла (между 285 и 281 гг. до н. э.).

КАСПИЙ И КАВКАЗ СОГЛАСНО ПАТРОКЛУ И ЭРАТОСФЕНУ

Благодаря Страбону мы располагаем пятью свидетельствами, более древними, чем «География» Птолемея и, стало быть, от нее независимыми, которые также предполагают высокий уровень Каспийского моря, сопоставимый с тем, который мы вывели из карты Алуани.

Свидетельство № 1: протяженность Южного побережья Каспия, по Патроклу. Согласно Эратосфену (Страбон XI, 6, 1), известная эллинам часть побережья Каспийского моря «имеет протяженность: вдоль албан и кадусиев — 5400 стадиев, вдоль анариков, мардов и гиркан до устья реки Окс (Амударьи, с которой в древности отождествляли ныне высохший Узбой.— С. М.) — 4800, а оттуда до Иаксарта (Сырдарьи, впадавшей, по единодушному мнению древних, в Каспий.— С. М.) — 2400». Сопоставление этого текста с двумя другими (Страбон XI, 7, 1; 11, 5) убеждает, что эти числа восходят к Патроклу, возглавлявшему экспедицию, специально снаряженную Селевком I для исследования Каспия. А из плиниевского пересказа того же сообщения Эратосфена (Естественная история, VI, 36) ясно, что речь идет о южном побережье.

$5400 + 4800 = 10\ 200$ стадиев, или

1606,5 км. Современная протяженность южного берега от устья Куры до сухого устья Узбоя по изогипсе — 28 м равна лишь примерно 1100 км; протяженность изогипсы 0 м (уровень океана) между деревней Назирли на Куре и точкой пересечения Узбоя с 56-м меридианом равна примерно 1400 км. Поскольку, с другой стороны, Каспий не может (и вряд ли мог 2300 лет тому назад) подняться выше отметки +25 м абс. (максимальная высота дна Кума-Манычской впадины, т. е. каспийско-черноморского водораздела), ясно, что измеренная Патроком протяженность южного побережья Каспия предполагает уровень моря, промежуточный между отметками 0 м и +25 м абс.

Свидетельство № 2: максимальная ширина (Южного) Каспия, по Эратосфену. В том же тексте, но немного раньше, Эратосфен сообщал, что Каспий достигает своей максимальной ширины, а именно «что-то около 5000 стадиев», в самом конце залива, т. е. напротив южного берега. Даже если это число не восходит к Патроклу — а восходит оно к нему почти несомненно, — оно отражает географическую ситуацию, но очень отличную от той, которую Патрокл наблюдал: «География» Эратосфена была написана спустя

лишь полстолетия после экспедиции. 5000 стадиев = 787,5 км. Нынешняя максимальная ширина Южного Каспия — 554 км (по оси залива Кирова — Бендер-шах); нынешнее расстояние между устьями Куры и Узбоя и того меньше — 350 км; а кратчайшее расстояние между нулевыми отметками на Куре и на Узбое — 750 км (обходя более высокие участки суши). Итак, если сообщение Эратосфена (Патрокла) верно, такая ширина моря тоже предполагает уровень его зеркала, промежуточный между отметками 0 и +25 м абс.

Свидетельство № 3: ширина Кавказского перешейка, по анонимному источнику Страбона и Плиния. У Страбона (XI, 1, 5) читаем: территория Танаиса (имеется в виду Северный Кавказ) ограничена «с юга — пространством от устья Кюра до Колхиды, протяженностью в 3000 стадиев от моря и до моря, через земли албан и иберов, так что речь идет о перешейке». А у Плиния (Ест. ист. VI, 31): «По некоторым, между Понтом и Каспийским морем — не более 375 миль». (Остальные приведенные этими авторами и приписанные Клитарху, Посидонию и Непоту числа не имеют никакого отношения к действительности.) 3000 стадиев = 375 миль = 472 км. Таково примерно рас-

Таблица 2

Сопоставление данных Патрокла и Эратосфена с современными при уровнях Каспийского моря: +10/+20 м абс, и —28 м абс.

| Географическая характеристика | По Патроклу и Эратосфену | | При уровне* +10/+20 м абс. | При уровне —28 м абс. |
|--|--------------------------|--------|----------------------------|--------------------------------|
| | стадии | км | км | км |
| 1. Длина южного берега Каспия (у. Кюра — у. Окса) | 10 200 | 1606,5 | 1 500 | 1 150 (у. Куры — п-ов Челекен) |
| в том числе западный участок | 5 400 | 850,5 | 800 | 650 (Бабольсар — у. Куры) |
| восточный участок | 4 800 | 756,0 | 700 | 500 (Бабольсар — п-ов Челекен) |
| 2. Ширина Каспия (у. Кюра — у. Окса) | 5 000 | 787,5 | 850 | 390 (у. Куры — Красновод. з-в) |
| 3. Ширина Кавказского перешейка (г. Фасис — у. Кюра) | 3 000 | 472,0 | 470 | 670 (г. Поти — у. Куры) |
| 4. Расстояние гора Каспий — у. Кюра | 1 800 | 283,5 | 305 | 537 (Казбек — у. Куры) |

* Устья Кюра и Окса условно локализовались нами на изогипсе +15, т. е. вблизи г. Евлаха (на Куре) и урочища Игды (на Узбое), соответственно.

стояние по прямой от Поти до Евлаха: 470 км. Следовательно, такое расстояние предполагает, что устье Кюра находилось чуть ниже Евлаха, т. е. что уровень Каспия достигал отметки, близкой к $+15$ м абс.

Свидетельство № 4: расстояние от горы Каспий до устья Кюра, по Эратосфену. Гора Каспий «находится у перевала из Колхиды к Каспийскому морю», — пишет Страбон (II, 1, 39), цитируя Гиппарха. Речь может идти только о Сурамском перевале и о Казбеке. В другом месте Страбон сообщает, что по Эратосфену расстояние между горой Каспий и Кюром (т. е. его устьем) — «примерно в 1800 стадиев» (XI, 8, 9). 1800 стадиев = 283,5 км. Если отложить такое расстояние по прямой от вершины Казбека в направлении Нижней Куры, оно приведет нас в Мингечаур, т. е. в такое место, где урез Куры слегка превышает отметку $+15$ м абс. Следовательно, и это расстояние предполагает уровень Каспийского моря, близкий к отметке $+15$ м абс. (см. табл. 2).

Свидетельство № 5: форма (Южного) Каспия, по Эратосфену. Вот как ее описывает Эратосфен (у Страбона: XI, 6, 1): «Залив (один из главных выводов экспедиции Патрокла был, что Каспий не озеро, а залив Северного океана. — С. М.) при входе в него из океана в южном направлении сперва довольно узок, а по мере продвижения внутрь расширяется, причем всего более в конце...» Немного далее (XI, 7, 1) Страбон добавляет: «...море разливается вширь, пока не упрется в Мидийские и Армянские горы (Эльбурс. — С. М.). Последние имеют подножье месяцевидной формы, которое, дойдя до моря, образует конец залива». А вот что пишет на этот счет Плиний (Ест. ист. VI, 48): «Оно (Каспийское море. — С. М.) вклинивается (в сушу из Скифского океана — С. М.) узким и длинным проливом, и там, где оно начинает простирается в ширину, оно изгибается месяцевидными рогами (далее следует испорченное, увы, место, которое можно восстановить так: как бы спускаясь к устью Кюра, влево, от Окса. — С. М.): наподобие серпа, по выражению Марка Варрона». А. Херрманн, к сожалению без ссылки на источник, приписывает Варрону и другое сравнение: с широким наконечником копья⁹.

Чтобы понять, какую именно форму имеют в виду все эти описания, достаточно взглянуть на изображение моря по Пойтингерской таблице — римской дорожной карте населенного мира, оригинал которой датируется V в. н. э., а источники, конечно, были намного древнее⁹. Если такое очертание не было чистой выдумкой древних, оно должно было отображать реальную форму Южного Каспия, ту самую, которую он должен был принять вследствие подъема морских вод до уровня $+10/+20$ м абс. Именно такой уровень придает ему вид лежащего лунного серпа, один рог которого совпадает с устьем Куры, а другой — с устьем Узбы (где-то в районе урочища Игды).

Напрашивается вывод: все приведенные свидетельства — совершенно несомнимые с нынешней ситуацией — в полном согласии между собой рисуют достоверный образ той самой трансгрессии, которую мы усмотрели на карте Птолемея. Итак, этот высокий — и скорее всего наивысший в историческое время — уровень Каспия был реальностью в начале III в. до н. э.

СВИДЕТЕЛЬСТВО АРХЕОЛОГИИ

Оно, конечно, может и должно сыграть решающую роль. В идеале следовало бы составить карту с указанием всех памятников периода от VII в. до н. э. до II в. н. э. с максимально точными их датами и высотными отметками. К сожалению, этот идеал недостижим, во-первых, из-за плохой археологической изученности некоторых прикаспийских областей (Западный Туркменистан, Мангышлак); во-вторых, из-за недостаточной точности датировок памятников других областей (Азербайджан); в-третьих, из-за узости низменной полосы берега некоторых регионов (Дагестан, Северный Иран); но, главное, из-за недоступности топографических карт, указывающих рельеф местности с необходимой точностью. Тем не менее анализ большого числа археологических публикаций позволил установить следующее:

1. До сих пор не было открыто ни единого памятника, относящегося к периоду от V до II вв. до н. э., ниже нулевой

⁹ Herrmann A. Kaspisches Meer // Realencyclopädie der klassischen Altertumswissenschaft. 1919. Bd. X. S. 2284.

⁹ Необходимо иметь в виду, что эта карта сильно «сплюснута», т. е. имеет в широтном направлении гораздо более крупный «масштаб», чем в меридиональном.

изогипсы на территории Азербайджана, будь-то в Кура-Араксинской низменности или на Апшероне.

2. Памятники, относящиеся к четырем кочевническим культурам, обнаруженным на громадных пространствах полупустынной Прикаспийской низменности, простирающейся от Ногайских степей до Мангышлака, распределяются во времени и пространстве таким образом:

савроматская культура (VIII—V вв. до н. э.) — памятники обнаружены на всей территории низменности, но: а) не отмечено ни одного кургана этого периода ниже нулевой изогипсы (зато сотни курганов выше ее) и б) все отмеченные ниже этой отметки памятники суть либо случайные находки, либо обнаружены на выдувах и дюнах сильно поврежденными, скорее всего, вследствие их пребывания под водой;

раннесарматская, или прохоровская, культура (IV—II вв. до н. э.) — ни единого памятника не обнаружено между нынешними берегом и нулевой изогипсой (зато десятки на некотором расстоянии выше ее);

среднесарматская культура (II в. до н. э.—I в. н. э.) — ни одного памятника ниже отметок — 10/ —15 м абс., но огромное множество курганов (иногда очень богатых) выше их;

позднесарматская культура (II в. н. э. и позже) — большое число памятников хорошей сохранности на всей территории, в том числе и у самого берега.

Эти данные не только свидетельствуют о реальности трансгрессии, отражение которой мы обнаружили в античных трудах по географии. Вместе с некоторыми другими «ориентирами» они еще и позволяют нам приступить к построению примерной кривой изменений уровня моря в данный период. Разумеется, эта кривая еще далека от совершенства, которое предполагает исчерпывающую обработку всего археологического материала и максимальное уточнение пространственно-временных параметров каждого памятника (не говоря о возможных поправках, требуемых другими геоморфологическими переменными — накоплением осадков, тектоническими движениями и т. п.).

ПРОБЛЕМА СОГЛАСОВАНИЯ

У читателя, несомненно, возникает вопрос: а как автор согласует свои,

основанные на литературных источниках, выводы с позицией геологов и палеогеографов; до сих пор не обнаруживавших каких-либо следов столь близкой по времени трансгрессии Каспия?

В рамках историко-географической науки гипотеза трансгрессии работает, и работает превосходно. Она «одним ударом» устраняет множество крупных и мелких трудностей, связанных с толкованием древних географических текстов, удостоверяет и примиряет эти (казавшиеся ошибочными и несовместимыми) тексты как между собой, так и с наблюдаемой реальной гипсометрией Восточного Кавказа; наконец, позволяет ответить на ряд частных исторических вопросов, которые, казалось, не имели никакого отношения к палеогеографии.

Вот их краткий перечень: привязка к местности и почти стопроцентная дешифровка карты Алуани Птолемея; объяснение большинства грубых расхождений между античными и современными данными о размерах Кавказа и Каспия и о форме последнего; согласование между собой противоречивых сведений древних о взаимоотношении Аракса и Куры; истолкование ряда других, здесь опущенных, свидетельств о Каспии и впадающих в него реках; наконец, установление происхождения удивительно стойкого представления древних (начиная с III в. до н. э.: многочисленные свидетельства, как будто относящиеся к более отдаленным временам, ненадежны) о том, что Каспий был заливом Северного океана. Из числа чисто исторических вопросов упомянем: причину незаселения в V—II вв. до н. э. наиболее низких частей Прикаспийской, Кура-Араксинской и, судя по всему, Западно-Туркменской низменностей, а также всего Апшерона; причину миграции сарматов Южного Приволжья на запад и юго-восток (рубеж IV и III вв. до н. э.); причину миграций каспиев из Каспианы (совр. Ленкоранская низменность) и утиев из Отены-Утика (совр. Мильская и Карабахская равнины) на север и на юго-восток; появление «на пустом месте» алуанских городов в районе среднего течения Геокчая, Ахсу и Гирдыманчая (IV—III вв. до н. э.) и т. д.

Каждый сколько-нибудь знакомый с теорией вероятности легко убедится, что подобную ситуацию никаким случайным стечением обстоятельств объяснить нельзя: Птолемей (его источник) мог ошибаться; Эратосфен и Патрокл — тоже; могли ошибаться и Плиний, и Страбон, и Плу-

тарх, и Арриан, и другие, писавшие об Араксе и Куре. Но каждый в отдельности и каждый по-своему. Ошибиться же все, не сговариваясь, так, чтобы создалось ложное впечатление, будто море стояло высоко на рубеже IV/III вв. до н. э., а затем постепенно опустилось, они не могли. А если допустить (что вполне возможно), что и Птолемей, и Эратосфен все свои сведения почерпнули у Патрокла, то и тогда, во-первых, этого нельзя утверждать относительно сообщений об Араксе и некоторых других свидетельства, а во-вторых, и сам Патрокл не мог так ошибиться, чтобы вопреки действительности все измеренные им расстояния согласовались между собой и притом совместно указывали на уровень +15 м абс.; даже пожелай он этого, он не смог бы намеренно так исказить факты, чтобы создалось обманчивое впечатление о высоком уровне; не говоря о нелепости и бессмысленности такого обмана, без знания гипсометрии региона он был бы попросту неосуществимым и бесплодным.

Перед лицом этих данных (подкрепляемых и фактами археологии) убедителен ли аргумент «от отсутствия» подтверждающих геологических данных?

Ну, а все-таки, чем объяснить это отсутствие? Автор — не геолог, не геоморфолог, не палеогеограф и не вправе что-либо утверждать. Но он может задавать вопросы. Например такие:

Искались ли вообще кем-либо когда-либо следы этой трансгрессии?

Не могли ли они наложиться на следы более ранних и куда более мощных и продолжительных трансгрессий, в частности верхнехвалынской (ок. 12 тыс. лет назад)?

Существуют ли, помимо раковин *Cerastoderma lamarcki* (= *Cardium edule*), какие-либо другие осадки, специфичные для послевышневхвалынского времени?

Какова минимальная соленость воды, при которой в настоящее время может существовать церастодерма, и насколько этот нынешний предел распространим на ее предков 2300-летней давности? Какова была бы соленость вод поднявшегося до +15 м абс. Каспия, особенно на затопляемых водами крупных рек мелководьях, таких как Кура-Араксинская низменность или Прикаспийская? Случайно ли наиболее высокие места находок церастодермы приходятся на местности с крутыми склонами?

Сколько времени должно море стоять на данном уровне, чтобы образова-

лись терраса, уступ, береговой вал? Что образуется и образуется ли что-либо, если море поднимается (опускается) плавно, без длительных остановок? Вообще, какова зависимость между скоростью трансгрессии (регрессии) и выраженностью ее следов? Каково действие ветра, речных вод, атмосферных осадков и пр. на террасы и уступы, сложенные из сыпучих пород, и — главное — с какой скоростью протекают вызванные ими разрушительные процессы в тех или иных условиях?

Автор мог бы поднять еще много подобных вопросов, без точного ответа на которые нельзя категорически отрицать наличие следов. «Птолемеевой» трансгрессии.

Итак, он надеется, что настоящее сообщение привлечет внимание не только историков и археологов (учет трансгрессии может пролить свет на решение многих спорных вопросов этнической, политической и военной истории региона), но и палеогеографов и геоморфологов, которые не могут пройти мимо подобного явления и должны не только попытаться найти его геоморфологические следы и научиться отличать их от следов более древних трансгрессий, но — главное — попытаться также установить его причины. Подъем вод Каспия в историческое время на 40—50 м выше нынешнего уровня за какие-то два-три века — дело серьезное. Если он повторится даже в меньших масштабах, ущерб будет колоссальным. Во избежание этого нужно выяснить его причины и механизм и принять, если понадобится, определенные меры предосторожности. Конечно, подобные опасения могут быть и беспочвенными, а опасность, если она есть, вряд ли сиюминутная. Тем не менее игнорировать ее полностью было бы неразумно.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Ковалевский С. А. ЛИК КАСПИЯ (Палеогеография моря в четвертичное время). Баку: Азнефт, 1933.

Берг Л. С. УРОВЕНЬ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ЗА ИСТОРИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ // Проблемы физической географии. Т. I. Л., 1934. С. 11—61 (перепечатано в его же избранных трудах. Т. III. М., 1960).

Ельницкий Л. А. ЗНАНИЯ ДРЕВНИХ О СЕВЕРНЫХ СТРАНАХ. М.: Географгиз, 1961.

ДВЕ ИПОСТАСИ АСИМПТОТИКИ

И.В.АНДРИАНОВ, Л.И.МАНЕВИЧ



Игорь Васильевич Андрианов, кандидат физико-математических наук, доцент Днепропетровского инженерно-строительного института. Окончил физико-математический факультет Днепропетровского государственного университета в 1971 г. Область научных интересов — применение асимптотических методов в задачах механики. Автор монографии: *Метод усреднения в статике и динамике ребристых оболочек* (совместно с В. А. Лесничей и Л. И. Маневичем). М., 1985.

В последнее время заметно повысился интерес к асимптотическим методам математической физики. Один из признаков этого — появление ряда превосходных книг, причем самых разнообразных: от специальных монографий до популярных брошюр. Асимптотический подход в своих многочисленных модификациях (теория возмущений, метод малого параметра, метод усреднения и др.), берущий начало в классических трудах П. Лапласа, А. Пуанкаре, А. М. Ляпунова, переживает сегодня новый этап развития и находит приложения во многих областях физики и механики. Это тем более примечательно, что успехи вычислительной техники, сделавшей возможным численное решение даже весьма сложных задач, казалось бы, должны были привести к противоположной тенденции. Дело, по-видимому, в том, что «асимптотический подход больше, чем еще один приближенный метод, а, скорее, играет фундаментальную роль в описании физических явлений¹. Иными словами, асим-



Леонид Исакович Маневич, доктор технических наук, заведующий сектором Института химической физики АН СССР, профессор Московского физико-технического института. Окончил физико-математический факультет Днепропетровского государственного университета в 1959 г. Основные научные работы посвящены разработке и применению асимптотических методов, теории нелинейных колебаний, физике и механике полимеров. Автор ряда монографий, в том числе: *Метод усреднения в статике и динамике ребристых оболочек*; *Асимптотический метод в теории упругости ортотропного тела* (в соавторстве с С. Г. Кобликом и А. В. Павленко). Киев, 1981.

¹ Segel G. A. // Amer. Math. Monthly. 1966. Vol. 63. No 1. P. 7—14.

птотический подход не только позволяет провести глубокий анализ тех или иных задач, но и способствует формированию принципиально новых понятий и установлению иерархической связи между физическими теориями различного уровня.

Итак, с одной стороны, эффективный способ решения физических задач, с другой — важный методологический принцип — вот те две ипостаси асимптотики, которые обсуждаются в настоящей статье.

ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Почти любая физическая теория, сформулированная в общем виде, очень сложна с математической точки зрения. Поэтому и при создании теории, и в дальнейшем ее развитии особое значение имеют простейшие предельные случаи, допускающие аналитическое решение. Для них обычно уменьшается число уравнений, понижается их порядок, нелинейные уравнения заменяются линейными, в исходной системе производится своего рода усреднение и т. п.

Но за всеми этими идеализациями, сколь бы различными они ни казались, стоит высокая степень симметрии, присутствующая математической модели рассматриваемого явления в предельной ситуации. Асимптотический подход к сложной, «нерешаемой» задаче состоит, по сути, в трактовке исходной (недостаточно симметричной) системы как близкой к некоторой симметричной. Принципиально важно, что определение поправок, учитывающих отклонения от предельного случая, гораздо проще, чем непосредственное исследование исходной системы.

На первый взгляд, возможности такого подхода ограничены узким диапазоном изменения параметров системы. Однако опыт исследования различных физических задач показывает, что при значительном изменении параметров системы и удалении ее от одного предельного симметричного случая, как правило, существует другая предельная система, часто с менее очевидной симметрией, и возмущенное решение можно строить уже для нее. Это позволяет описать поведение системы во всем диапазоне изменения параметров, опираясь на небольшое число предельных случаев.

Такой подход, в максимальной степени соответствуя физической интуиции и способствуя ее развитию, в то же время приводит к формированию новых физиче-

ских понятий. Так, важное в гидромеханике понятие пограничного слоя имеет ярко выраженный асимптотический характер и связано с локализацией у границ обтекаемого тела той области, где влиянием вязкости жидкости пренебречь нельзя. Аналогичные явления в механике деформируемого твердого тела и теории электричества называются соответственно краевыми и скин-эффектами. Подобные примеры далеко не единичны.

Не менее важно, что асимптотический метод помогает установить связь между различными физическими теориями. А. Эйнштейн отмечал, что «лучший жребий физической теории — послужить основой для более общей теории, оставаясь в ней предельным случаем»². Выявить соответствие между сменяющимися друг друга физическими теориями и определить область применимости «старой» теории — вполне под силу асимптотическому анализу.

ПРОСТОЙ ПРИМЕР

Для иллюстрации технической стороны асимптотического метода рассмотрим простой алгебраический пример. Биквадратное уравнение

$$x^4 - 2x^2 - 8 = 0$$

заменой $z = x^2$ сводится к квадратному и легко решается ($x_{1,2} = \pm 2$, $x_{3,4} = \pm\sqrt{2}$), $j = \pm\sqrt{-1}$). Возможность такого упрощения — следствие симметрии уравнения: замена x на $-x$ не меняет его.

Пусть исходное уравнение описывает некоторую физическую систему, и ее параметры претерпевают малые изменения, вследствие чего уравнение приобретает вид:

$$y^4 - \varepsilon y^3 - 2y^2 - 8 = 0. \quad (1)$$

При этом говорят, что система получила малое возмущение, выражение εy^3 называют возмущающим членом, а ε — малым параметром. Отмеченная ранее симметрия нарушилась, и решение нового

² Цит. по: Мигдал А. Б. В поисках истины. М., 1984. С. 207.

уравнения уже нельзя записать в простой форме. Но корни его y_i ($i=1, 2, 3, 4$) не должны сильно отличаться от x_i , поэтому можно положить $y_i \approx x_i$. Погрешность такой замены определяется величиной отброшенного члена ϵy^3 . Чтобы уточнить решение, представим его в виде ряда

$$y_i = x_i + \epsilon y_i^{(1)} + \dots, \quad (2)$$

где многочлен соответствует меньшим членам с более высокими степенями ϵ .

Подставляя это выражение в возмущенное уравнение и приравнивая коэффициенты при одинаковых степенях ϵ , найдем

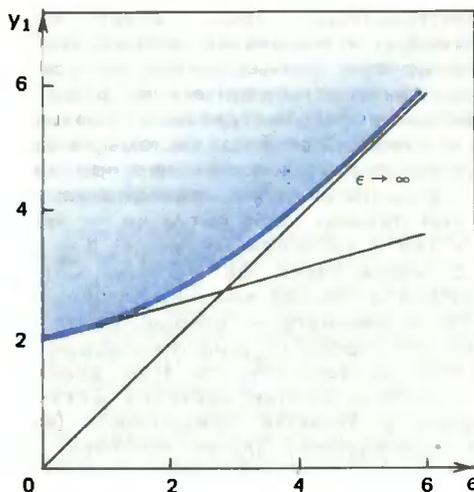
$$y_i^{(1)} = x_i^2 / 4(x_i^2 - 1);$$

вычисление поправок можно без труда продолжить, но с ростом ϵ отклонения от точного решения неизбежно будут увеличиваться.

Рассмотрим теперь противоположный случай больших возмущений. Тогда обратная величина ϵ^{-1} мала, причем корни уравнения (1) разделяются на две группы. При $\epsilon^{-1} \rightarrow 0$ три корня стремятся к нулю, а четвертый неограниченно возрастает. Но для обеих групп по-прежнему можно построить разложения по малому параметру ϵ^{-1} .

Однако существует область, в которой асимптотика не дает удовлетворительного результата. Это область, где «малые» ϵ уже велики, а «большие» ϵ еще малы. Вопрос о построении решения в этой зоне, исходя из имеющихся предельных, один из самых трудных для асимптотических методов, как и вопрос о том, что такое «малое» или «большое» ϵ . Мы обсудим его в дальнейшем.

Отметим еще, что решения возмущенных задач, представляемые в виде разложений по малому параметру типа ряда (2), в реальных физических задачах не обязательно сходятся к искомому решению. Часто эти разложения оказываются асимптотическими. Отношение каждого последующего члена асимптотического ряда к предыдущему стремится к нулю, когда параметр разложения ϵ приближается к своему предельному значению, например к нулю. Отклонение же суммы N первых членов такого ряда от представляемой им функции при $\epsilon \rightarrow 0$ имеет порядок ϵ^{N+1} . (При исследовании сходимости параметр ϵ полагают фиксированным и находят предел суммы N членов



Зависимость корня y_1 уравнения (1) от параметра ϵ . Видно, что в области $2 < \epsilon < 5$ прямые линии, соответствующие асимптотическим разложениям типа (2), не обеспечивают удовлетворительного приближения к точному решению (цветная кривая), иными словами, при $2 < \epsilon < 5$ «малые» ϵ уже недостаточно малы, чтобы можно было пользоваться асимптотикой для $\epsilon \rightarrow 0$, а «большие» ϵ еще недостаточно велики, чтобы стала применимой асимптотика для $\epsilon \rightarrow \infty$.

ряда при $N \rightarrow \infty$.) В конкретных случаях расходящийся асимптотический ряд (с бесконечным пределом) подчас полезнее сходящегося, если уже несколько начальных его членов дают хорошее приближение.

Рассмотрим ниже некоторые типичные ситуации, в которых асимптотический подход оказывается эффективным.

РАЗНЫЕ ЗАДАЧИ — РАЗНЫЕ ПОДХОДЫ

Уменьшение размерности системы. Высокий порядок алгебраического или дифференциального уравнения, большое число таких уравнений — все это проявление одной из принципиальных трудностей, возникающих при решении физических задач, которую называют иногда «проклятием размерности». Для ее преодоления разработаны два противоположных по смыслу подхода. Первый из них оказывается эффективным, если отдельные элементы рассматриваемой системы сильно отличаются друг от друга по тем или иным

характеристикам. Тогда, вводя малые параметры — отношения соответствующих характеристик разных элементов, удается осуществить асимптотическую редукцию размерности, иными словами, уменьшить число степеней свободы системы, а затем уточнить полученное решение при помощи асимптотического разложения. Типичный пример такой ситуации — задача трех тел в небесной механике. Как правило, массы таких тел (скажем, Солнца, Юпитера и Земли) заметно различаются, и малый параметр — отношение масс — позволяет провести асимптотическую редукцию размерности. На этом основаны классические методы небесной механики, причем в качестве предельного (высокосимметричного) случая выступает точно решаемая задача двух тел. Небесная механика — первая область естествознания, в которой асимптотический метод (теория возмущений) сыграл фундаментальную роль. Более того, сам этот метод фактически был вызван к жизни насущной необходимостью ответа на вопросы, поставленные в небесной механике.

Отметим, что использование асимптотических методов далеко не всегда оговаривается специально, а иногда даже

и не осознается до конца. Так, в инженерной практике чрезвычайно широкое распространение получили модельные системы с одной степенью свободы. Ясно, что использование таких моделей всегда предполагает асимптотическую редукцию размерности и принципиальную возможность определения соответствующих поправок, но четкое указание этого факта можно встретить нечасто.

А теперь расскажем о втором способе борьбы с упомянутой трудностью.

Континуализация. Если рассматриваемая система состоит из множества однотипных элементов, то асимптотический подход приводит уже не к редукции размерности, а, напротив, к ее повышению. Так мы приходим к весьма важному классу физических моделей, в котором дискретные системы заменяются континуальными (непрерывными).

Рассмотрим для примера продольные колебания бесконечной цепочки, состоящей из равных масс, соединенных пружинами одинаковой длины L и жесткости b . При плавной форме колебаний, характеризуемых в каждой точке kL ($k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$) смещением u_k , эту цепоч-

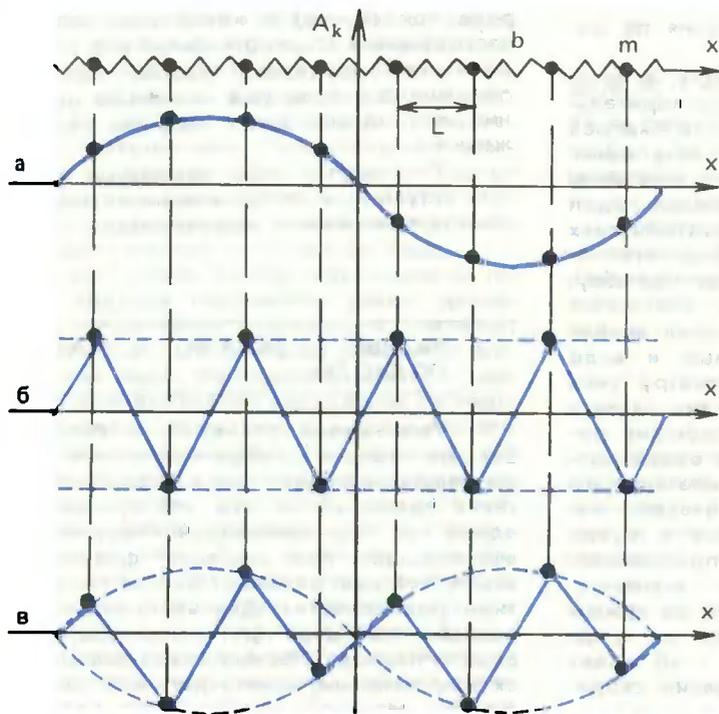


Схема бесконечной цепочки грузов массы m , соединенных пружинами равной длины L и жесткости b (вверх). Форма продольных колебаний этих грузов для больших длин волны (а); в предельном случае минимальной длины волны (б) и асимптотическое решение для случаев, близких к предельному (в). На графиках представлены зависимости от координаты x амплитуды колебаний A_k , связанной со смещением k -го груза соотношением $U_k = A_k \sin \omega t$, где ω [m, b] — частота соответствующего нормального колебания, t — время. Цветным пунктиром показаны огибающие (модулирующие функции) для волны малой длины.

ку можно заменить сплошным стержнем, переходя таким образом от бесконечной системы обыкновенных дифференциальных уравнений

$$m \, d^2 u_k / dt^2 = b(u_{k+1} - 2u_k + u_{k-1})$$

к одному уравнению в частных производных

$$\partial^2 u / \partial t^2 = a^2 \partial^2 u / \partial x^2, \quad a^2 = bL^2 / m.$$

Степеней свободы стало больше (вместо счетного множества — континуум), а относительная простота этого предельного случая длинноволновых колебаний обусловлена симметрией уравнения в частных производных, не меняющегося при произвольном сдвиге вдоль стержня.

С уменьшением периода колебаний и длины их волны погрешность получаемых таким путем приближенных решений растёт. Второй предельный случай для той же системы соответствует колебаниям с минимальной возможной длиной волны. Их форму легко рассчитать и использовать как первое приближение при исследовании коротковолновых колебаний системы. При этом искомое решение ищется в виде произведения предельной «пилообразной» формы на медленную модулирующую функцию, которая находится из уравнения в частных производных.

Переход от дискретных моделей к непрерывным широко применяется в физике; по существу, на этом построена вся механика сплошных сред.

Но далеко не всегда дело обстоит так просто, как в рассмотренном случае. Скажем, в жидкости нельзя выделить периодическую равновесную структуру, относительно которой совершаются колебания. Тем не менее на макроскопическом уровне мы воспринимаем течение жидкости как движение сплошной среды, что передается непрерывной моделью жидкости. В ней, правда, непрерывность достигается благодаря усреднению мелкомасштабных (микроскопических) движений при изучении макроскопических процессов. В результате такого усреднения, сущность которого обсуждается ниже, и происходит переход к непрерывным уравнениям гидродинамики.

Приведем в заключение высказывание Э. Шредингера, образно раскрывающее эффективность этого приема: «Допустим, мы бы рассказали древнему греку... что возможно проследить путь

отдельной частички жидкости... Древний эллин не поверил бы, что ограниченный человеческий ум может дать решение столь запутанной задачи... Дело заключается в том, что мы научились владеть всем процессом с помощью одного дифференциального уравнения»³.

Усреднение. Во многих физических задачах одни переменные меняются медленно, а другие — быстро. Возникает естественная мысль: нельзя ли сначала изучить глобальную структуру рассматриваемой системы, отвлекаясь от ее локальных особенностей, а затем уже исследовать систему локально. На это и направлен метод усреднения, основная идея которого — разделение быстрых и медленных составляющих решения. Не вдаваясь в подробности техники этого метода (тем более, что сейчас он имеет множество модификаций), отметим лишь, что в нем вводятся «медленные» (макроскопические) и «быстрые» (микроскопические) переменные, уравнения для которых разделяются и могут решаться независимо друг от друга или последовательно.

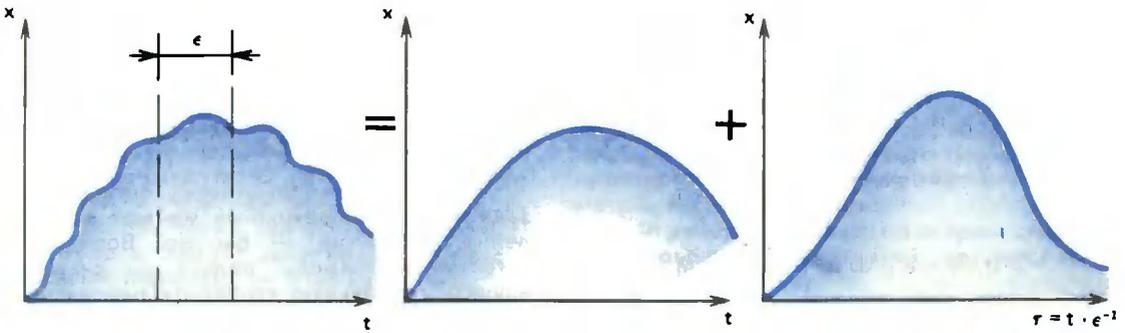
Первоначально этот метод получил широкое распространение в задачах небесной механики и теории нелинейных колебаний, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями⁴. Сегодня он успешно применяется для решения дифференциальных уравнений в частных производных с переменными коэффициентами в таких важных для практики дисциплинах, как теория композитов⁵ или расчеты ребристых, гофрированных, складчатых и других оболочек⁶. Исходная неоднородная среда либо конструкция сводится к однородной (вообще говоря, анизотропной) с некоторыми эффективными характеристиками. Метод усреднения позволяет не только получать эффективные характеристики, но и исследовать неоднородное распределение механических напряжений в различных материалах и конструкциях, что очень важно для оценки их прочности.

³ Шредингер Э. Новые пути в физике. М., 1971. С. 41—42.

⁴ Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М., 1963.

⁵ Бахвалов Н. С., Панасенко Г. П. Осреднение процессов в периодических средах. М., 1984.

⁶ Андрианов И. В., Маневич Л. И. // Усп. механики. 1983. Т. 6. № 3/4. С. 3—29; Андрианов И. В., Лесничаев В. А., Маневич Л. И. Метод усреднения в статике и динамике ребристых оболочек. М., 1985.



Графическое представление сути метода усреднения. Изображенный на левом рисунке сложный процесс можно исследовать в два этапа. Сначала на график смотрят «в телескоп», отвлекаясь от быстрых осцилляций с характерным временем ϵ и заменяя кривую некоторой средней. Затем изучают отдельную неоднородность, увеличивая при этом масштаб в ϵ^{-1} раз, т. е. глядят на нее «в микроскоп».

Ренормализация. К сожалению, простое усреднение мелкомасштабных движений применимо также не во всех случаях. Встречаются такие задачи, в которых даже на макроскопическом уровне заметно проявляются движения нескольких различных масштабов. К ним относится, например, изучение так называемых критических явлений, связанных с фазовыми переходами, или турбулентности. При этом приходится проводить усреднение последовательно для всех масштабов. Такова суть процедуры ренормализации, составляющей основу метода ренормгруппы. Но строгая реализация этой процедуры сопряжена с огромными техническими трудностями. Один из способов их преодоления подсказывает совершенно неожиданная асимптотика.

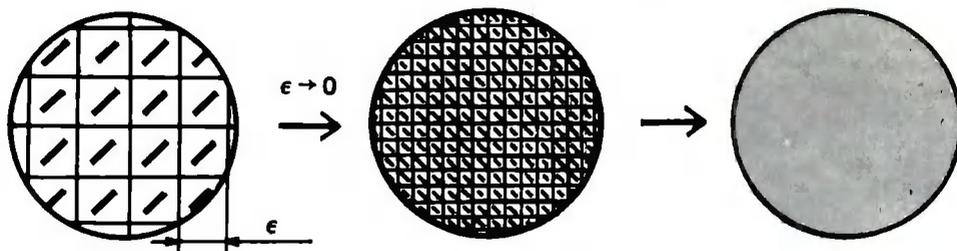
Дело в том, что в воображаемом мире с четырьмя пространственными измерениями эти трудности не возникают и удается осуществить обычное усреднение. Нельзя ли рассматривать этот случай как предельный, а величину $\epsilon = 4 - d$ (d — размерность пространства) — как малый параметр? В реальном трехмерном мире $d = 3$ и $\epsilon = 1$. И все же асимптотическое разложение по параметру ϵ оказалось весьма эффективным при решении сложнейших задач физики критических явлений.

Локализация. Отклонения реальной системы от предельной (идеальной) могут иметь различный характер. Иногда эти отклонения малы во всем диапазоне изменения параметров системы, но нередко оказывается, что они велики, хотя и локализованы в малой области. Так обстоит дело в уже упоминавшемся примере обтекания тела жидкостью. Другой пример — переход от трехмерной модели упругого тела к двумерной (пластины, оболочки) или одномерной (стержни, балки) моделям. При этом вблизи границ тела существует узкий (порядка толщины пластины или оболочки либо характерного размера поперечного сечения стержня или балки) пограничный слой, в котором проявляется трехмерность исходной задачи. Но и после сведения трехмерной задачи к двумерной удается выделить так называемые краевые эффекты, сосредоточенные у границ оболочки или ее структурных неоднородностей.

С понятием пограничного слоя тесно связан так называемый принцип Сен-Венана в теории упругости, гласящий, что при расчетах конструкции можно отвлекаться от детальных особенностей распределения в ней нагрузок и крепления ее элементов. На самом деле эти особенности, конечно, существенны, но лишь в узких зонах, протяженность которых определяется характерными размерами поперечных сечений элементов или периодом изменения нагрузки.

С математической точки зрения образование пограничного слоя связано с тем,

⁷ См. об этом: Мигдал А. А. Лауреаты Нобелевской премии 1982 года. По физике — К. Вильсон // Природа. 1983. № 1. С. 90—93.



Схема, иллюстрирующая применение метода усреднения при исследовании композитных (неоднородных) материалов. Отвлекаясь от микроструктуры неоднородностей и устремляя их характерный размер ϵ к нулю, производят усреднение и заменяют неоднородный материал с периодической структурой однородным с некоторыми средними (приведенными) параметрами. В то же время асимптотический подход позволяет оценить и микродеформации [напряжения] в композите, обусловленные периодичностью его структуры.

что упрощенное дифференциальное уравнение имеет меньший порядок, чем исходное. Асимптотика в этом случае называется сингулярной.

Линеаризация. Даже малое число степеней свободы или локализованность решения не гарантирует преодоления математических трудностей, если уравнения физической теории нелинейны. В этом случае на помощь приходит линеаризация — асимптотический метод, использующий представление о процессах малой интенсивности.

Линейный подход позволил сформулировать столь фундаментальные понятия, как нормальные колебания, собственная функция, спектр. Для линейной системы с p степенями свободы при отсутствии трения всегда можно выбрать такие («нормальные») координаты, в которых она описывается p уравнениями колебаний не связанных между собой маятников. Эти понятия естественно обобщаются и на непрерывные системы. Иными словами, любое движение линейной системы представляется линейной комбинацией нормальных колебаний (или волн) — так называемым фурье-разложением.

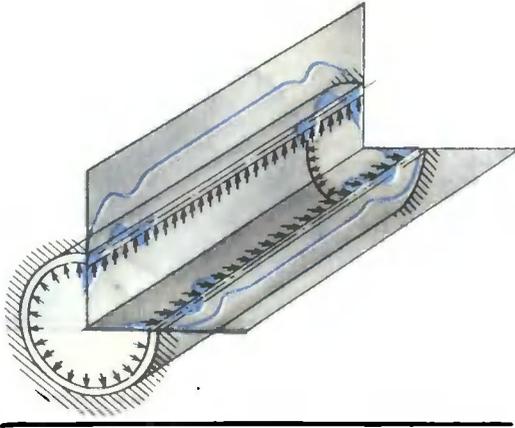
Принципиально важно, что колебания эти выделены не только математически, но и физически. Так, под действием периодической внешней силы «резонировать» в системе будет именно нормальные колебания.

Если рассматривать линейную систему как первое приближение к нелинейной (в этом суть локальной линеари-

зации), то при учете нелинейных поправок в уравнениях второго и последующих приближений появятся резонансы внешние нагрузки, вызывающие резонансы нормальных колебаний. Избежать этого удастся, «подправив» параметры нормальных линейных колебаний.

Однако нелинейные системы, особенно высокой размерности, часто нельзя корректно описать ни в каком приближении метода локальной линеаризации. Поэтому до недавнего времени сочетание высокой размерности с сильной нелинейностью выглядело непреодолимой преградой для конструктивного исследования физической системы. Но в последние годы был открыт весьма широкий класс многомерных нелинейных систем, допускающих такое исследование⁵. Эти системы, получившие название интегрируемых, имеют частные решения в виде устойчивых уединенных волн — солитонов, представляющих собой в некотором смысле аналог нормальных колебаний, выделяемых в линейных системах. Возникло нелинейное обобщение метода Фурье — метод обратной задачи рассеяния, в котором солитоны играют фундаментальную роль, заменяя собой привычные фурье-компоненты. Метод обратной задачи рассеяния можно трактовать как нелокальную линеаризацию исходного нелинейного уравнения. Иначе говоря, скрытая симметрия

⁵ Галонов-Грехов А. В., Рабинович М. И. Нелинейная физика. Стохастичность и структуры. Физика XX века. М., 1984.



Изображение деформации цилиндрической оболочки, жестко закрепленной в торцах и нагруженной равномерно распределенным давлением изнутри. Если эта оболочка достаточно тонкая, то почти по всей длине ее деформация сводится к равномерному увеличению диаметра. И лишь в пограничных слоях у торцов проявляются локализованные краевые эффекты (на рисунке закрашены), определяющие результирующую форму деформированной оболочки (цветная линия).

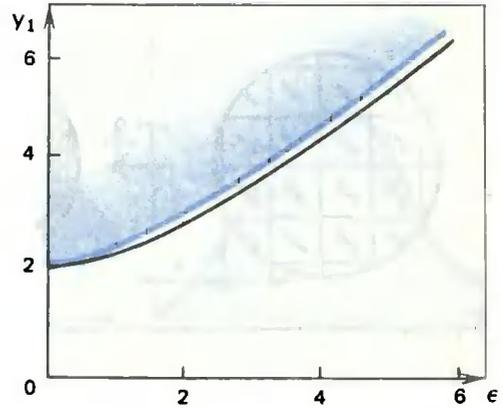
нелинейного уравнения позволяет найти преобразование, сводящее построение широкого класса решений к анализу линейных уравнений.

Интегрируемые системы в свою очередь могут выступать в качестве приближения при анализе близких к ним (но не интегрируемых) в рамках асимптотического подхода.

Паде-приближение. Итак, мы убедились, что практически любую физическую задачу, среди параметров которой есть переменный параметр ϵ , как правило, удастся приближенно решить при $\epsilon \rightarrow 0$ или $\epsilon \rightarrow \infty$. Как использовать эту «предельную» информацию для изучения системы при промежуточных значениях ϵ , например $\epsilon=1$? Этот вопрос — один из самых сложных в асимптотическом анализе. Общего ответа на него, как и на каверзный вопрос о том, до каких значений параметр ϵ можно считать в данной задаче малым (или большим), нет. Правда, во многих случаях ответить на него помогают так называемые двухточечные аппроксиманты Паде⁹. Это функции вида

$$y(\epsilon) = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i \epsilon^i / \sum_{i=0}^{\infty} \beta_i \epsilon^i,$$

⁹ Бейкер Г., Грейвс-Моррис П. Аппроксимации Паде. М., 1986.



Графики точного корня y_1 уравнения (1) (цветная кривая) и его приближения двухточечной аппроксимантой Паде (черная кривая). Видно, что это приближение оказывается удовлетворительным при всех значениях параметра ϵ .

коэффициенты которых α_i и β_i подбираются из условия, что при разложении функций в ряды при $\epsilon \rightarrow 0$ и $\epsilon \rightarrow \infty$ получаются известные асимптотические выражения. Практика показывает, что аппроксиманты Паде действительно часто позволяют «сшить» между собой предельные разложения и найти области «малых» и «больших» ϵ . Это напоминает известную процедуру интерполяции — восстановление промежуточных значений величины по двум крайним ее значениям. В роли таких известных значений и выступают в данном случае асимптотики при $\epsilon \rightarrow 0$ и $\epsilon \rightarrow \infty$.

К примеру, для уравнения (1) аппроксиманта Паде для первого корня

$$y_1 \approx (2 + 0,573\epsilon + 0,12\epsilon^2) / (1 + 0,12\epsilon),$$

полученная на основе асимптотик вида (2) при $\epsilon \rightarrow 0$ и $\epsilon \rightarrow \infty$, удовлетворительно описывает точное решение при любых значениях ϵ .

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ И ЭВМ

У читателя, вероятно, уже не однажды возникал вопрос: а нужны ли вообще асимптотические методы, если есть ЭВМ, не проще ли запрограммировать исходную

задачу и решать ее, применяя универсальные численные методы?

Ответить на него можно так. Во-первых, асимптотические методы весьма полезны на предварительном этапе решения задачи даже в тех случаях, когда главной целью остается получение численных результатов. Асимптотический анализ позволяет выбрать наилучший вычислительный прием и разобраться в обширном, но не упорядоченном числовом материале. Во-вторых, эти методы особенно эффективны в тех областях значений параметров, где машинные вычисления встречаются серьезные затруднения. Недаром Лаплас говорил, что асимптотические методы «тем точнее, чем нужнее». Возможно и создание таких алгоритмов, в которых гладкие части решений определяются численно, а в тех областях значений параметров, где эти решения резко меняются (скажем, в пограничных слоях), используются асимптотические подходы. Наконец, в-третьих, асимптотические методы всемерно развивают нашу интуицию и играют, как отмечалось, важную роль в формировании мышления современного ученого-естественника или инженера. Поэтому асимптотические и численные методы правильнее рассматривать не как конкурирующие между собой, а как взаимодополняющие.

Кстати, совершенствование ЭВМ весьма способствует и развитию асимптотических методов. Например, одна из самых больших трудностей их применения — построение высших приближений. Как правило, для сложных задач «вручную» удается построить два, от силы — три приближения. Теперь же эту рутинную работу удастся переложить на плечи компьютеров.

АСИМПТОТИКА В КОНКРЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ ФИЗИКИ

Подчас сам прогресс в той или иной области физики неразрывно связан с существованием характерных асимптотических параметров. В частности, малость знаменитой постоянной тонкой структуры $\alpha = e^2/\hbar c \approx 1/137$ (e — заряд электрона, \hbar — постоянная Планка, c — скорость света) позволяет в рамках квантовой электродинамики с высокой точностью рассчитать взаимодействие фотонов и электронов. Этот безразмерный параметр определяет интенсивность электромагнитных взаимодействий. Все основные результаты квантовой электродинамики, с поразительной

точностью описывающие экспериментальные данные, получены именно благодаря возможности применения теории возмущений, в которой решения уравнений ищутся в виде разложений по степеням α . Аналогичные параметры для сильновзаимодействующих частиц — адронов (к которым относятся, например, протоны и нейтроны) превышают α во много раз. Это главная причина принципиальных трудностей, в свое время тормозивших развитие теории сильных взаимодействий. Только открытие кварковой структуры адронов и явления «асимптотической свободы», заключающегося в ослаблении взаимодействия между кварками и связывающими их глюонами на малых расстояниях, резко изменило ситуацию и привело к рождению новой теории сильных взаимодействий — квантовой хромодинамики¹⁰.

Однако нередко случается так, что возможности и пути использования присутствующих конкретной области физики малых или больших параметров осознаются в полной мере далеко не сразу.

Так, зависимость свойств в некоторой точке среды от выбранного направления (анизотропия) или положения (неоднородность) долгое время считалась лишь усложняющим фактором. Действительно, многие методы, развитые ранее для изотропной однородной среды со свойственными только ей симметриями, оказываются в этой ситуации непригодными. Однако, как выяснилось впоследствии, возможны и особые предельные случаи сильной анизотропии или неоднородности, на которые до этого просто не обращали внимания. Разработка и применение соответствующих асимптотических методов вызвали быстрое и всестороннее развитие теории таких сред¹¹. Полученные при этом уравнения в ряде случаев выглядят даже проще, чем их «изотропные и однородные» аналоги.

Или другой пример. Известно, что анализ молекулярных систем усложняется с увеличением размера и массы молекул. Но для макромолекул, из которых состоят, в частности, полимеры, характерны свои большие и малые параметры. Последовательный асимптотический подход, использующий разложения по этим параметрам, позволил построить содержательную теорию

¹⁰ См., напр.: Белокуров В. В., Ширков Д. В. Теория взаимодействий частиц. М., 1986.

¹¹ Маневич Л. И., Коблик С. Г., Павленко А. В. Асимптотический метод в теории упругости ортотропного тела. Киев, 1981.

рию, учитывающую сильную анизотропию полимерных систем и рассматривающую в качестве предельного случая «молекулу» с числом атомов $N \rightarrow \infty$. Эта теория ориентирована в первую очередь на изучение специфических особенностей полимеров, обусловленных большими размерами и массой составляющих их молекул и сильной анизотропией их свойств и структуры. В то же время в рамках такого подхода удалось выявить глубокие связи между физикой полимеров и рядом наиболее актуальных направлений современной теоретической физики¹².

АСИМПТОТИЧЕСКОЕ СООТВЕТСТВИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ

Содержательные и глубокие примеры асимптотического соответствия естественно возникают при выявлении связи между фундаментальными физическими теориями. В процессе развития науки каждая новая теория рассматривалась обычно как отрицание уже существующей, т. е. на первый план выдвигалась несовместимость старых и пришедших им на смену представлений и концепций. Лишь после того как сформулированный Н. Бором принцип соответствия сыграл важную конструктивную роль в создании квантовой механики, преемственность научных теорий стала предметом всестороннего изучения физиков и философов. Хотя и сегодня есть различные, в том числе и взаимоисключающие, точки зрения на соотношение сменяющих друг друга теорий, можно непосредственно убедиться в существовании вполне определенной математической связи между ними. Эта связь и выражается асимптотическим соответствием, проявляющимся в разнообразных, зачастую далеко не очевидных формах. Иначе говоря, существуют различные типы предельных переходов от новой теории к старой, как правило, при нулевых или бесконечных значениях некоторых параметров или переменных. Новая теория может рассматриваться как обобщение существующей (вспомним приведенные слова А. Эйнштейна), однако это обобщение не только количественное, но и качественное, поэтому она включает и совершенно непривиденные в рамках старой теории возможности. Часто такие возможности наиболее отчет-

ливо проявляются в противоположных предельных случаях, когда параметр, полагающийся малым, становится большим, или, наоборот, эффекты, игравшие ранее главную роль, оказываются теперь несущественными, так что новое содержание физической теории воспринимается, как говорится, «в чистом виде». Попытаемся ниже на некоторых примерах проследить это соответствие для различных физических теорий.

От Аристотеля к Ньютону. Проанализируем в этом аспекте прежде всего переход от теории принудительных движений Аристотеля к механике Ньютона, который дает хороший пример радикального изменения научных концепций, отхода от господствующих длительное время представлений, взглядов и методов. Тем не менее даже при столь революционном изменении обнаруживается асимптотическое соответствие, оставляющее аристотелеву механику действенной для поступательных движений при сильном трении. Но это не так уж удивительно, ведь Аристотель в своих рассуждениях опирался на интуитивные представления, вытекающие из повседневного опыта наблюдений за движущимися объектами в ограниченном диапазоне изменения внешних условий и, безусловно, содержащие зерно истины. Очень интересны в этом плане исследования психологов, которые показывают, что, не зная выводов современной теории или недостаточно глубоко усвоив их, люди и сегодня приходят к объяснениям, типичным для Аристотеля и его последователей¹³. Сюда относятся представления о силе как причине движения, об остановке движущегося тела вследствие исчерпания сообщенной ему движущей силы — «импетуса», о вертикальном падении тела, брошенного с горизонтально движущегося объекта, наконец, о различном времени падения тел разного веса. В упомянутых исследованиях психологов отмечается удивительное сходство взглядов античных или средневековых философов и многих наших современников, взглядов, представляющих собой естественный итог наблюдений в земных условиях.

Как правило, в этих исследованиях делается упор на несовместимость основных представлений Аристотеля с ньютоновской механикой. Между тем в сфере обычного человеческого опыта, т. е. в земных условиях, эти представления не часто тер-

¹² См., напр.: Гросберг А. Ю., Хохлов А. Р. Цепные молекулы. М., 1985.

¹³ Мак-Клоски М. // В мире науки. 1983. № 6. С. 90—98.

пят фиаско. И такое положение дел можно объяснить с позиций механики Ньютона именно асимптотическим соответствием, о котором шла речь в предыдущем разделе. Это соответствие удается установить, несмотря на глубочайшие идейные различия старой и новой теорий и кардинальное противоречие философских концепций, из которых они проистекали.

В подтверждение сказанного рассмотрим, например, движение тела под действием постоянной силы F в среде с коэффициентом трения η . Аристотель не выделял силу трения как таковую, трение для него было естественным и неотъемлемым атрибутом движения. Он также не формулировал закон движения на математическом языке. Но если это сделать, то «закон движения по Аристотелю» (в предположении линейной зависимости силы сопротивления от скорости) запишется так: $\eta \cdot v = F$. Если сила постоянна, то постоянна и скорость. Увеличение силы вызывает рост скорости, а при отсутствии силы движения нет. Эти выводы в общем-то соответствуют наблюдениям за движением в земных условиях, когда трение достаточно велико.

По Ньютону, сила трения относится к внешним силам, а закон движения материальной точки массы m при тех же предположениях имеет вид

$$m \frac{dv}{dt} = F - \eta \cdot v,$$

так что при отсутствии начальной скорости и постоянной силе

$$v = F/\eta \cdot (1 - e^{-\eta t/m}).$$

Спустя некоторое время второе слагаемое окажется пренебрежимо малым по сравнению с единицей, и мы получим «закон Аристотеля». Но как могли оставаться незамеченными отклонения от этого закона при меньших временах? Дело в том, что при большом трении переходный режим, описываемый вторым членом, заканчивается очень быстро после «включения» силы (по сравнению с достаточно длительным временем наблюдения). Остается главное, наиболее заметное, и это главное соответствует механике Аристотеля. Наблюдения за движением при малом трении сразу же показали бы значительные отклонения от постоянной скорости, медленное приближение к ней на большом интервале времени. Но таких наблюдений не было в сфере повседневного опыта древних греков. Лишь идеализированный мысленный экспе-

римент привел Галилея через 2000 лет к представлению о движении по инерции — одному из основных исходных представлений физики Нового времени.

С физической точки зрения приближение Аристотеля сохраняет значение как асимптотика движения при достаточно больших временах; чем значительнее трение, тем раньше это приближение становится применимым. С математической же точки зрения, мы сталкиваемся здесь с сингулярным возмущением — скорость v нарастает не плавно (постепенно), а бесконечно быстро. В этом случае существует дополнительная асимптотика, которую легко обнаружить, анализируя поведение точного решения при малом показателе экспоненты: $v \approx Ft/m$. Она описывает равноускоренное движение тела под действием силы в среде без сопротивления. Это решение справедливо при любом трении для достаточно малых времен. Чем меньше коэффициент трения, тем шире область его применимости (и тем позднее мы «выходим» на асимптотику Аристотеля). Соответствующее малым временам уравнение движения

$$m \frac{dv}{dt} = F$$

представляет собой математическую запись знакомого всем второго закона Ньютона.

Здесь мы попадаем в область механики консервативных, или гамильтоновых, систем (для них справедлив закон сохранения механической энергии), которая допускает и виды движения, абсолютно чуждые механике Аристотеля: колебания, периодические вращения. Теория консервативных систем — важнейшая асимптотика в механике Ньютона, поскольку описываемые ею режимы движения (в частности, периодические и почти периодические) во многих физических системах оказываются очень хорошим приближением к реальности.

Но и приближение Аристотеля имеет свою область применимости, когда трение становится достаточно большим, как, например, при движении молекул полимеров в растворах. Такие системы называют сверхдемпфированными, а динамические процессы в них — релаксационными, т. е. стремящимися к равновесию.

Механика Ньютона и специальная теория относительности. Создание теории относительности привело к ломке глубоко укоренившихся и считавшихся единственно

возможными представлений ньютоновской механики о независимости пространства и времени, об абсолютном времени и т. д. Однако механика Ньютона, как и следовало ожидать, не была отвергнута специальной теорией относительности, а стала ее асимптотическим пределом. Характер асимптотического соответствия этих двух теорий легко проследить на примере покоившейся частицы с массой m_0 , на которую в момент времени $t=0$ начинает действовать постоянная во времени сила F . Как можно показать, в специальной теории относительности ее скорость в неподвижной системе отсчета

$$v = v_0 / \sqrt{1 + v_0^2/c^2},$$

где $v_0 = Ft/m_0$.

Решение механики Ньютона ($v = v_0$) соответствует асимптотике «малых» времен или скоростей ($v_0/c \ll 1$). Первая поправка к этому решению при $v_0/c \ll 1$ очень мала:

$$v \approx v_0(1 - v_0^2/2c^2).$$

В теории относительности есть и дополнительная асимптотика «больших времен», уже не имеющая никакого отношения к ньютоновской механике. Действительно, $v \rightarrow c$ при $t \rightarrow \infty$, а выражение для скорости при учете первой поправки примет вид

$$v \approx c(1 - c^2/2v_0^2).$$

Именно в области «больших времен» отчетливо проявляются основные релятивистские эффекты: новое правило сложения скоростей, новое понятие одновременности, невозможность существования абсолютно твердых тел и т. д., отражающие всю глубину идейного переворота, совершенного теорией относительности.

Геометрическая оптика и волновая. Изучение соотношения между волновой и геометрической оптикой интересно как само по себе, так и для понимания связи между классической и квантовой механикой.

Долгое время считалось, что для описания распространения света достаточно элементарных геометрических построений, лежащих в основе геометрической оптики. После обнаружения дифракции света надолго восторжествовала волновая оптика, при этом геометрическая оптика казалась лишь кустарным рецептом, не отражающим фундаментальных законо-

мерностей природы. Лишь в 20-х годах нашего века удалось четко установить, что переход от волновой оптики к геометрической связан с малой длиной волны λ ($\lambda \rightarrow 0$). Поскольку для видимого света $\lambda \approx 10^{-7}$ м, во многих случаях геометрическая оптика оказывается хорошим приближением.

Математически переход от волновой оптики к геометрической осуществляется с помощью так называемого метода ВКБ (Вентцеля — Крамерса — Бриллюэна). В точке с координатами (x, y, z) составляющая электромагнитного поля в световой волне представляется в виде

$$u = A(x, y, z; \lambda) e^{i\varphi(x, y, z)/\lambda},$$

где $A = A_0 + A_1\lambda + \dots$ — амплитуда волны, а φ — ее фаза.

После подстановки выражения для u в волновое уравнение и группировки членов, содержащих одинаковые степени λ , получается нелинейное дифференциальное уравнение для определения φ , называемое уравнением эйконала. Именно оно и соответствует приближению геометрической оптики. Для определения коэффициентов разложения A_i получается рекуррентная последовательность линейных дифференциальных уравнений, называемых уравнениями переноса.

В геометрической оптике предполагается, что световые лучи распространяются вдоль определенных кривых: Край пучка кажется резким, однако на самом деле интенсивность света границы меняется хотя и быстро, но непрерывно в пограничном слое, толщина которого порядка длины волны λ .

Асимптотику, описывающую чисто волновое явление дифракции, можно построить, используя понятие пограничного слоя.

Классическая механика и квантовая. Связь между классической механикой и квантовой в определенном смысле аналогична той, что существует между геометрической оптикой и волновой. В квантовой механике волновую функцию квазиклассической, т. е. почти классической, физической системы представляют в виде $\psi = A e^{iS/\hbar}$, где S — так называемое действие. Роль малого параметра при этом играет отношение \hbar/S . Переход от квантовой механики к классической формально описывается методом ВКБ при $\hbar/S \rightarrow 0$. Суть такого перехода заключается в том, что

центр локализованного волнового пакета — заданного в некоторый начальный момент времени распределения вероятностей координат частицы, перемещается затем по законам классической механики.

При очень малом импульсе частицы р квазиклассическое приближение теряет смысл. Это происходит, в частности, вблизи «точек поворота», в которых $p=0$ и где по законам классической механики частица остановилась бы и стала двигаться в обратном направлении. В квантовой механике возможно принципиально неклассическое явление — туннелирование частицы через потенциальный барьер. Оно также описывается асимптотикой, использующей именно малость импульса.

При создании квантовой механики в наибольшей мере проявилась эвристическая роль асимптотического соответствия. Эта роль особенно возрастает в наше время, когда предпринимаются попытки построения единой теории, объединяющей все фундаментальные взаимодействия природы. В рамках такой теории сами понятия электромагнитного, слабого, сильного и гравитационного взаимодействий должны стать асимптотическими, имеющими смысл лишь при низких энергиях.

Подчеркнем, что конструктивная роль идеи об асимптотическом соответствии квантовой и классической механики, нашедшей свое отражение в знаменитом принципе соответствия Н. Бора, неоднократно обсуждалась впоследствии в специальной литературе по физике и философии. Тем не менее для полноты картины мы включили в рассмотрение и этот пример.

✱

Приведем в заключение высказывание, в котором, как нам кажется, дается верная оценка перспектив развития асимптотического подхода: «Научная литература наполнилась книгами по асимптотике в течение двух-трех десятилетий. Если учесть, что темпы их освоения в современном мире заметно возрастают, то лет через десять асимптотические методы проникнут и в школьные программы»¹⁴. Речь, конечно, не об очередном формальном введении в школьную (или вузовскую) программу ряда конкретных приемов асимптотического исследования. Важно, на наш взгляд, обучать самим принципам

«асимптотического мышления», развивать способность к такому мышлению, причем осознанному, поскольку фактически все специалисты-«естественники» используют элементы асимптотического подхода в своей работе, подчас даже не отдавая себе в этом отчета. Начинать обучение нужно с простых примеров, имеющих наглядную физическую трактовку¹⁵. При этом необходимо проследживать и подчеркивать основные идеи — поиск приближенных симметрий, предельные соответствия и взаимосвязи различных приближенных теорий, новые понятия, появившиеся благодаря асимптотике. Все это позволяет исследователям взглянуть на многие явления под другим углом зрения и избежать ряда заблуждений.

¹⁵ Зельдович Я. Б., Яглом И. И. Высшая математика для начинающих физиков и техников. М., 1982. С. 323—327.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Бабич В. М., Булдырев В. С. ИСКУССТВО АСИМПТОТИКИ // Вестник Ленинградского университета. 1973. № 13.

Баранцев Р. Г. ОБ АСИМПТОЛОГИИ // Вестник Ленинградского университета. 1976. № 1.

Моисеев Н. Н. ЧЕЛОВЕК, СРЕДА, ОБЩЕСТВО. М.: Наука, 1982.

Найфэ А. ВВЕДЕНИЕ В МЕТОДЫ ВОЗМУЩЕНИЙ. М.: Мир, 1984.

Тер-Крикоров А. М. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОД МАЛОГО ПАРАМЕТРА. М.: Знание, 1984.

Мигдал А. Б. В ПОИСКАХ ИСТИНЫ. М.: Молодая гвардия, 1984.

¹⁴ Баранцев Р. Г. Предисловие к монографии: Найфэ А. Введение в методы возмущений. М., 1984. С. 6.



ГОЛУБОЙ, ИЛИ СОЛНЕЧНЫЙ, КОРАЛЛ

Б. И. Сребродольский,
кандидат геолого-минералогических наук
Львов

Голубые кораллы, в отличие от других кораллов, встречаются исключительно редко. Образующие их кишечнополостные животные были широко распространены в водах Мирового океана в начале мелового периода (около 130 млн лет назад), в условиях теплого и влажного климата. С наступлением общего похолодания почти все они вымерли. До наших дней дожил всего один вид, обитающий в самой жаркой приэкваториальной зоне Тихого и Индийского океанов. Эти кораллы растут в прозрачной воде под лучами ярчайшего солнца, поэтому их называют еще солнечными¹. Их ветвящиеся колонии достигают по-

луметра высоты. Каждый индивид состоит из восьми веток длиной 16, толщиной 1,3 и шириной 4 см. Вогнутые (желобчатые) ветки с волнистыми краями слегка напоминают листья кактуса. Под тонким слоем живых тканей зеленовато-коричневого цвета находится карбонатный скелет кобальтово-синей окраски — поэтому кораллы называют голубыми.

Нами был изучен минеральный состав и строение скелета голубого коралла по образцам, хранящимся в музее Зоологического института АН СССР.

Рентгеновское исследование скелетных остатков голубых кораллов, выловленных у атолла Фунафути (Тихий океан) и архипелага Чагос (Индийский океан), показало, что они образованы ромбической модификацией карбоната кальция — арагонитом. Арагонитовый ске-

Кусочек ветки голубого коралла (архипелаг Чагос, Индийский океан).

лет пористый. На изломе напоминает пензу. Состоит из большого числа трубочек, или сот, в которых обитали полипы. Трубочки тесно примыкают друг к другу и образуют параллельно-шестоватые агрегаты; их максимальное сечение — $1,2 \times 1,5$ мм, минимальное — десятые доли миллиметра. Строение скелета голубого коралла подтверждает, что параллельно-шестоватый рост минеральных агрегатов распространен не только в неживой природе, но и в живых системах. Вследствие значительного количества пустот скелет голубого коралла трудно шлифуется и полируется, а поэтому, в отличие от других кораллов, редко идет на изготовление поделок.

Оптическое исследование показало, что арагонит голубого коралла отличается от обычного («земного») степенью преломления световых лучей. Значение большего показателя преломления (1,653) оказалось наиболее близким к аналогичному показателю у кальцита (1,658). Такое отличие объясняется, вероятно, специфическими условиями образования минерала в теле животного. По набору же химических элементов скелет голубого коралла сходен с другими кораллами, имеющими тот же арагонитовый скелет. В нем обнаружено более 3,0 % кальция, более 1,0 % натрия, 0,3 % магния, 0,001 % железа, 0,003 % кремния, 0,001 % алюминия, 0,3—1,0 % стронция, 0,0001 % молибдена, 0,003 % меди, 0,003 % кобальта. Ни один из этих элементов нельзя объяснить голубую окраску его скелета; по-видимому, она обусловлена органическими компонентами, состав которых еще не изучен.

¹ Подробнее о голубом коралле см.: Наумов Д. В. Мир океана. (Море живет). М., 1982. С. 155—156.

ГРЕБНЕВИК ОБКРАДЫВАЕТ МЕДУЗУ

К. Н. Несис,
кандидат биологических наук
Москва

Одно из основных отличий гребневиков (*Stenophora*, тип морских беспозвоночных животных) от кишечнополостных, или стрекалюющих (тип *Coelenterata*, или *Cnidaria*), — отсутствие у них клеток со стрекательными капсулами — нематоцистами¹. Но есть одно-единственное исключение: небольшой овальный гребневик геккеля (*Haeckelia rubra*). Еще в середине прошлого века стало известно, что в его длинных втяжных щупальцах, наряду со свойственными гребневикам липкими клетками, содержатся и нематоцисты. Зоологи не раз высказывали предположение, что нематоцисты этого гребневика «украдены» у какой-то медузы, но неоднократные специальные исследования, казалось, подтверждали, что они — его собственные. Во многих учебниках и справочных пособиях существование у *H. rubra* стрекательных клеток рассматривается как одно из доказательств происхождения гребневиков от медуз.

Загадка *H. rubra* начала проясняться, когда французским зоологам Даниэль и Клоду Кар-

ре удалось содержать их в аквариуме². Они кормили гребневиков зоопланктоном (рачки, щетинкочелюстные и др.). Мелкую добычу гребневик ловит щупальцами, крупную захватывает прямо ртом. Молодые, недавно родившиеся гребневики неплохо росли на планктонном корме, но, как оказалось, нематоцисты в их щупальцах не было. Гребневика, пойманные уже взрослыми, имели нематоцисты, но за четыре месяца жизни в аквариуме они постепенно полностью их утратили, после чего и сами щупальца стали дегенерировать и вскоре совсем редуцировались, так что в конце-концов пришлось кормить гребневиков из рук.

Американские исследователи К. Миллз и Р. Миллер решили непосредственно проверить предположение о присвоении гребневиками чужих нематоцист³. Они держали в аквариуме 5 гребневиков, пойманных у берегов штата Вашингтон, и кормили их только кишечнополостными: медузами (17 видов из 5 отрядов) и сифонофорами

(1 вид). В большинстве случаев гребневика не реагировали на этот корм, а если им предлагали кусочки медуз с пинцета — плотно сжимали рот и решительно отказывались от такой пищи. Но было исключение: медуза эгина (*Aegina citrina*).

Эта медуза имеет куполовидный колокол с четырьмя длинными щупальцами по краям. Она значительно крупнее, чем *H. rubra*: длина гребневика 4—7 мм, а у медузы диаметр колокола до 5 см. В качестве корма гребневикам давали небольших медуз, размером с него, длина их щупалец составляла 15 мм. Гребневик, заметив эгину, сразу начинал быстро плавать и выставлять щупальца. Затем он подплывал к медузе, захватывал ртом кончик ее щупальца и начинал равномерно заглатывать его. Кончик щупальца доходил до самого дна глотки гребневика и сворачивался там, подобно веревке, медленно опускаемой на пол. Скорость заглатывания щупальца — 2 мм/мин. Когда рот гребневика доходил до края зонтика медузы, гребневик то ли отрывал щупальце у самого основания, то ли медуза сама отбрасывала его. Все это время медуза вела себя внешне спокойно. Переварив одно щупальце (для этого требовалось около 5 часов), гребневик принимался за следующее и за сутки объедал все четыре. Иногда он съедал и саму медузу, но чаще она продолжала плавать, как обычно. Бывало, что гребневик отрывал щупальце, а затем ронял его на дно аквариума, но неизменно потом подбирал и поедал. Неизвестно, может ли эгина ловить добычу без щупалец и способна ли она регенерировать утраченные щупальца, так что неясно, фатально для нее нападение гребневика или нет.

Обычно стрекательные клетки «взрываются» и раздражаются под действием пищеварительных соков, но у *H. rubra*

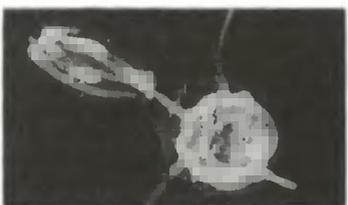
² Carre D., Carre C. // *Cah. Biol. mar.* 1980. Vol. 21. № 2. P. 221—226.

³ Mills C. E., Miller R. L. // *Mar. Biol.* 1984. Vol. 78. № 2. P. 215—221.

¹ См.: Несис К. Н. «Стреляющие» органы // *Природа*. 1985. № 9. С. 98—100.

этого не происходит: они невероятными перемещаются из глотки сначала в продольные каналы пищеварительной системы, а затем в щупальца. Сравнение нематоцист свежепойманного гребневика, медузы эгины и гребневика, питавшегося медузами, показало их идентичность. Предполагают, что *H. rubra* может обрывать щупальца и некоторых других медуз, но основная его жертва — эгина. Это один из наиболее широко распространенных видов медуз Мирового океана; встречается в тропических, субтропических и умеренных водах. Геккеля — редкий гребневик; пока обнаружен только в Средиземном море и северной части Тихого океана у берегов Японии, КНР, Британской Колумбии (Канада) и штата Вашингтон. Во всех этих районах эгина известна.

Таким образом, стрекательные клетки *H. rubra* действительно не собственные, а краденые. Их наличие — отнюдь не доказательство родства гребневиков и медуз. Краденые стрекательные клетки известны лишь у очень немногих животных⁴. Это пресноводные ресничные черви рода *Microstomum* — прожорливые хищники, поедающие, в частности, гидр; некоторые донные голожаберные брюхоногие моллюски отряда *Aeolidiacea*, питающиеся гидроидами и актиниями; пелагические (плейстонные) голожаберные моллюски семейства *Glaucidae* (тоже из отряда *Aeolidiacea*), употребляющие в пищу плейстонных кишечнорастных — физалий (*Physalia*) и велелл (*Velutella*). Теперь к этому небольшому, но изысканному обществу можно причислить и одного гребневика. Но он существенно отличается от других обладателей краденых нематоцист: и го-



Кинограмма процесса заглатывания щупалец медузы гребневиком: а — медуза с четырьмя щупальцами, b—d — заглатывание щупальца, e — все щупальца у медузы оторваны. Время между кадрами b и c — 1 минута, между c и d — 2 минуты. Шкала — 2 мм [Из: *Marine Biology*. 1984. Vol. 78. № 2].

ложаберные моллюски, и *Microstomum* питаются кишечнорастворными и получают нематоцисты как бы в придачу к своей нормальной пище. Гребневик же питается преимущественно рачковым планктоном, и для него щупальца эгины — не пища, а способ заполнить оружие для умерщвления добычи. Так что он не попутно получает нематоцисты, а охотится за ними специально.

Аналогию этому можно найти в поведении молодых и взрослых самцов (но не самок) пелагических осьминогов рода *Tremoctopus*. Они не питаются кишечнорастворными, но нападают на физалий, отрывают у них кусочки щупалец и носят их на руках, держа присосками. Яд физалий настолько силен, что весьма опасен даже для человека. Кто возьмет в руку малюсенького тремоктопуса, получит довольно ощутимый удар. Для тремоктопуса стрекательные клетки физалий — оружие не нападения, а обороны.

⁴ Гиляров М. С. // Журн. общ. биол. 1983. Т. 44. № 5. С. 614—620.

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (ноябрь — декабрь 1986 г.)

В ноябре — декабре 1986 г. в Советском Союзе было запущено 24 спутника, в том числе 21 спутник серии «Космос» с научной аппаратурой для продолжения исследований космического пространства. В частности, «Космос-1809» предназначен для отработки исследовательской аппаратуры, методов зондирования и контроля состояния ионосферы Земли, а также изучения условий распространения радиоволн в ионосфере.

Очередные спутники связи «Молния-1» предназначены для обеспечения эксплуатации

системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи, а также передачи программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита». Выведенный на близкую к стационарной круговую орбиту спутник связи «Горизонт» запущен в соответствии с программой дальнейшего развития систем связи и телевизионного вещания с использованием ИСЗ.

Таким образом, в 1986 г. в Советском Союзе запущено 114 космических аппаратов, в том числе орбитальная научная станция «Мир», пилотируемый космический корабль «Союз Т-15», беспилотный космический корабль «Союз ТМ», два автоматических грузовых корабля «Прогресс», 96 спутников серии «Космос», 12 спутников связи «Молния», «Радуга», «Экран», «Горизонт» и один метеорологический спутник «Метеор-2».

Астрофизика

Скрытая масса в галактиках

Важнейшим объектом исследования в астрономии последних лет стала скрытая масса, которая образует «темные», невидимые гало галактик. Размер такого гало в 5—10 раз больше размера звездной системы, находящейся в его центре, а масса на порядок больше массы звезд, образующих галактику. Таким образом, «темное» вещество, о существовании которого астрономы совсем недавно еще ничего не знали, составляет 90 % массы Вселенной, и лишь 10 % массы заключено в звездах и других видимых объектах. При этом есть основания считать, что скрытая

масса образована не обычным веществом, а, например, нейтрино с ненулевой массой покоя или такими гипотетическими частицами, как аксионы, фотино, гравитино¹.

Несмотря на то что скрытая масса непосредственно не наблюдается и обнаруживается только по гравитационному воздействию на другие тела, к настоящему времени уже можно сделать ряд заключений о ее свойствах. По нашему мнению, темные гало спиральных и эллиптических галактик существенно различны. В галактиках первого типа гравитационное поле «темного» гало удерживает от разлета протяженные оболочки горячего газа — рентгеновские короны². Зная из наблюдений температуру короны и ее размер, нетрудно найти массу «темного» гало. В спиральных

Параметры начальной орбиты

| Космический аппарат | Дата запуска | перигей, км | апогей, км | наклоение, град. | период обращения, мин |
|------------------------|--------------|-------------|------------|------------------|-----------------------|
| «Космос-1790» | 4.XI | 207 | 315 | 72,9 | 89,4 |
| «Космос-1791» | 13.XI | 972 | 1 026 | 83 | 105 |
| «Космос-1792» | 13.XI | 181 | 357 | 64,9 | 89,6 |
| «Молния-1» | 16.XI | 469 | 40 817 | 62,5 | 736 |
| «Горизонт» | 18.XI | 35 824 | 35 824 | 1,4 | 1 437 |
| «Космос-1793» | 20.XI | 611 | 39 323 | 63 | 709 |
| «Космос-1794» — 1801»* | 21.XI | 1 436 | 1 504 | 74 | 115 |
| «Космос-1802» | 25.XI | 985 | 1 038 | 83 | 105 |
| «Космос-1803» | 2.XII | 1 502 | 1 527 | 82,6 | 116 |
| «Космос-1804» | 4.XII | 210 | 448 | 70 | 90,8 |
| «Космос-1805» | 10.XII | 649 | 675 | 82,5 | 97,8 |
| «Космос-1806» | 12.XII | 612 | 39 307 | 63 | 708 |
| «Космос-1807» | 16.XII | 177 | 370 | 67 | 89,6 |
| «Космос-1808» | 17.XII | 995 | 1 033 | 83 | 105 |
| «Космос-1809» | 18.XII | 960 | 980 | 83 | 104,2 |
| «Космос-1810» | 26.XII | 189 | 302 | 65 | 89,1 |
| «Молния-1» | 26.XII | 484 | 39 075 | 63 | 701 |

* Спутники «Космос-1794....-1801» запущены одной ракетой-носителем.

¹ Подробнее об этом см.: Хлопов М. Ю. Вселенная как лаборатория элементарных частиц // Природа. 1985. № 5. С. 20—32.

² Рентгеновские короны галактик // Природа. 1986. № 1. С. 111.

галактиках массу определяют по скорости облаков газа, вращающихся в поле гало вокруг звездной системы на большом удалении от ее центра. Как показал анализ данных о рентгеновских коронах и о скоростях вращения газа, при одинаковых размерах масса «темного» гало у эллиптических галактик в 10 раз больше, чем у спиральных галактик с такой же звездной массой!

Еще один вывод, который следует из этого анализа, относится к галактикам, которые представляют собой центральные системы скоплений галактик; их видимая масса обычно значительно больше массы нормальных гигантских эллиптических галактик, т. е. эти галактики — самые массивные во Вселенной. Самая близкая из них — галактика М 87 в центре скопления Дева. Данные о температуре корон свидетельствуют, что при одинаковых размерах масса «темного» гало у нормальных эллиптических галактик и галактики М 87 одинакова, несмотря на большое различие звездных масс. Правда, галактики, находящиеся в центре скоплений, имеют, по-видимому, более протяженные гало, поэтому полная величина скрытой массы у них, возможно, больше чем у эллиптических галактик.

А. А. Сучков,
доктор физико-математических наук

Ростов-на-Дону

Астрофизика

Магнитное гало Галактики

Й. Софуэ, М. Фудзимото (Y. Sofue, M. Fujimoto; Токийский университет и Университет г. Нагоя, Япония), а также Р. Вилебински (R. Wielebinski; Институт радионастрономии им. М. Планка, ФРГ) предложили новый способ определения размеров гало Галактики.

Вопрос о наличии гало у нашей Галактики возник в начале 50-х годов в связи с исследованиями диффузного радио-

фона. Анализ распределения его интенсивности по небу показал, что радиоизлучающая область Галактики, по-видимому, не ограничена галактическим диском, где сосредоточена основная часть звезд и газа, а генерируется также в гало (радиокороне), окружающем диск. Гало представляет собой квазисферическую область радиусом в несколько килопарсек. (Напомним, что галактический диск имеет радиус около 15 кпк, а толщину всего 300—400 пк.) Существенным моментом в определении природы излучения гало стало предположение о его связи с синхротронным излучением релятивистских электронов космических лучей в галактических магнитных полях; впоследствии эта связь была подтверждена экспериментально. В итоге у Галактики предполагалось два гало, одно из которых образовано космическими лучами, а другое — магнитным полем (магнитное гало).

Однако в течение долгого времени эта гипотеза вызывала сомнения. Дело в том, что интерпретация радиоданных в рамках модели Галактики с гало не была однозначной, а убедительные наблюдательные подтверждения существования гало отсутствовали: получить их для нашей Галактики особенно трудно, поскольку мы находимся внутри нее.

Авторы предложили измерять меру вращения плоскости поляризации излучения от галактических и внегалактических радиисточников. Мера вращения определяется величиной среднего магнитного поля, плотностью плазмы, а также расстоянием от Земли до излучающего радиисточника.

Для галактических радиисточников, расположенных в диске, мера вращения известна: она равна 10 рад/м². У внегалактических источников, расположенных примерно в той же части неба, ее величина оказалась немного больше — около 30 рад/м². Таким образом, «дополнительные» 20 рад/м² заведомо не связаны с галактическим диском. Одно из возможных объяснений этого факта может состоять в том, что дополнительная мера враще-

ния «набирается» в межгалактическом пространстве. Однако, как показывают оценки, в межгалактической среде мера вращения увеличивается не более чем на 1 рад/м². Отсюда с необходимостью вытекает, что наша Галактика окружена областью, в которой напряженность магнитного поля существенно выше, чем в межгалактической среде.

Итак, получены прямые указания на существование вокруг галактического диска магнитного гало. Оценка его размеров дала величину, равную примерно 3 кпк в направлении, перпендикулярном галактической плоскости. Эта оценка совпадает с величиной, полученной из численных расчетов интенсивности радиоизлучения в высоких широтах.

Отметим, что мера вращения определяется величиной крупномасштабного магнитного поля. Наличие такого поля в гало Галактики важно для решения проблемы происхождения космических лучей высоких энергий.

Annual Review of Astronomy and Astrophysics. 1986. Vol. 24. P. 459—497 (США).

Астрономия

Имеет ли звезда Бета планетную систему?

В последние годы появились данные, что звезда Бета в созвездии Живописца имеет систему планет. Это — единственное, если не считать Солнечную систему, подобное образование, известное астрономам.

Такой вывод был сделан, когда приборы международного спутника «ИРАС» зарегистрировали инфракрасное излучение этой звезды, судя по характеристикам которого, она окружена скоплением космической пыли, обращающимся вокруг нее по стабильной орбите. Проанализировав изображение Беты Живописца на более коротких инфракрасных волнах, американские астрономы Б. Смит (B. Smith) и П. Террил

(R. Terril) обнаружили окружающую звезду газовой диск, наблюдаемый «с торца». Тогда-то они и пришли к выводу, что диск по мере приближения к поверхности звезды утончается, и его внутренняя область подвергается конденсации, образовав планеты.

Ныне подобную гипотезу опровергают Д. Дайнер и Дж. Эпплби (D. Diner; J. Appleby; Лаборатория реактивного движения НАСА в Пасадене, штат Калифорния, США). По их мнению, Смит и Террил применили ошибочную модель, в которой распределение космической пыли в пространстве предполагает быстрое увеличение ее массы по мере приближения к центру. Видимое разрежение ее и предполагаемое заполнение освобожденного пространства планетами, таким образом, является иллюзией.

Дайнер и Эпплби предлагают иные модели, согласно которым пылевой диск постепенно достигает поверхности звезды, не оставляя места для конденсации планет. Это не противоречит наблюдательным данным и даже в большей степени соответствует информации, полученной с «ИРАСа».

Таким образом, наша Солнечная система с ее планетами снова становится уникальным объектом во Вселенной.

Nature. 1986. Vol. 322. P. 436; New Scientist. 1986. Vol. 111 № 1521. P. 19 (Великобритания).

Физика

Еще один шаг к управляемому термоядерному синтезу

В Принстонской лаборатории (США) на токамаке TFTR (большой радиус тора около 2,5 м, малый радиус плазменного шнура 0,8 м, торoidalное магнитное поле 5,2 Тл, ток в плазменном шнуре 3,0 МА) успешно проведены две серии экспериментов, существенно приблизившие осуществление управляемого термоядерного синтеза.

В первой серии в режиме омического нагрева, т. е. нагре-

ва плазмы только протекающим по плазменному шнуру током, путем последовательной инъекции пяти крупинок замороженного дейтерия (диаметр крупинки 2,67 мм, скорость 1250 м/с) удалось повысить плотность плазмы на оси шнура до 4×10^{14} электронов/см³. При этом время удержания τ_E энергии в плазменном шнуре достигло $0,53 \pm 0,05$ с, а, соответственно, параметр Лоусона (параметр удержания), $\rho n T_E = (1,5 \pm 1) \times 10^{14}$ см⁻³ · с, т. е. приблизился к величине, требуемой для энергетически выгодного термоядерного реактора ($\rho n T_E \geq 2 \cdot 10^{14}$ см⁻³ · с). Температура плазмы в центре шнура не превышала, однако, 1,3 кэВ, что много ниже температуры, требуемой для управляемого синтеза (10 кэВ).

Во второй серии экспериментов при использовании дополнительного нагрева путем инъекции в плазму пучков быстрых атомов дейтерия (энергия 95 кэВ; вводимая в плазму мощность около 15—17 МВт) удалось получить температуру ионов на оси плазменного шнура до 22 кэВ при температуре электронов около 7 кэВ. Плотность плазмы на оси достигала $8 \cdot 10^{13}$ см⁻³, а параметр удержания составил 10^{13} см⁻³ · с. В этих условиях в дейтериевой плазме в результате термоядерных реакций рождалось до $9 \cdot 10^5$ нейтронов/с, что соответствует мощности термоядерных реакций, равной 10 кВт.

Если бы эксперимент проводился с дейтерий-тритиевой плазмой (пока такой эксперимент не осуществлялся, чтобы не активировать установку, но он планируется на ближайшие годы), то мощность термоядерных реакций достигла бы 4 МВт, т. е. составила бы четвертую часть от мощности нагрева: $Q = P_{\text{т.я.}}/P_{\text{нагр}} = 1/4$. Напомним, что для зажигания самоподдерживающейся термоядерной реакции величина Q должна превышать 5.

Таким образом, впервые в одной установке (хотя и в разных сериях экспериментов) выполнены оба требования, необходимые для осуществления энергетически выгодного управляемого синтеза, — получена температура более 10 кэВ и до-

стигнуто значение параметра удержания, $\rho n T_E > 10^{14}$ см⁻³ · с, соответствующее критерию Лоусона.

APS Physics News. 1986. № 8 (США).

Физика

Диэлектрик становится металлом под давлением

В Ливерморской лаборатории им. Э. Лоуренса (США) удалось перевести в металлическое состояние диэлектрик йодистый цезий (CsI), сжимая его химически чистый порошок в миниатюрной рабочей камере до давления в 1,1 Мбар с помощью пуансонов — наковален из прозрачных алмазов; достигнутое максимальное давление составило 1,7 Мбар (~1700 атмосфер).

В обычных условиях CsI представляет собой диэлектрик с заполненной валентной зоной и пустой зоной проводимости, которые разделены запрещенной зоной шириной примерно 5 эВ. Его переход в металлическое состояние, т. е. слияние валентной зоны с зоной проводимости и образование новой частично заполненной зоны проводимости, происходил при давлении $(1,1 \pm 0,1)$ Мбар. «Металлизация» образца фиксировалась по резкому возрастанию его отражательной способности по отношению к зондирующему лучу света с длиной волны в дальнем инфракрасном диапазоне 1200—2400 нм. Зондирующий луч пропускаться сквозь прозрачные наковалены и порошок CsI, который был также прозрачен в указанном диапазоне длин волн при давлениях ниже 0,92 Мбар. Отражательная способность не превышала 0,5 % и соответствовала пороговой чувствительности измерительной аппаратуры. (В эксперименте измерялась отражательная способность для границы раздела алмаз — йодистый цезий.)

С ростом давления выше 1 Мбар отражательная спо-

способность увеличивалась именно так, как это имеет место для металла.

Поиски материалов с новыми физическими свойствами продолжаются.

Physical Review Letters. 1986. Vol. 56. № 26. P. 2858—2860 (США).

Физика

Квантово-интерференционный транзистор

С. Датта и М. Меллох с коллегами (S. Datta, M. Melloch; Университет Западного Лафайета, штат Индиана, США) предложили новую полупроводниковую микроструктуру, работающую как транзистор. Для модуляции тока в ней используется квантовая интерференция электронов, которая управляется сдвигом фазы волновой функции электронов.

Успехи полупроводниковой технологии последних лет привели к революции в физике и технике полупроводников. Создаются полупроводниковые микроструктуры, размеры которых сравнимы с дебройлевской длиной волны электрона. Соответственно, электрические свойства таких микроструктур определяются волновой природой электрона. Эти структуры являются, с одной стороны, новыми рукотворными объектами исследования, а с другой — приборами, открывающими новые возможности для микроэлектроники.

Вначале американские физики наблюдали квантовую интерференцию электронов, проходящих через параллельные слои GaAs толщиной 200 Å, разделенные прослойкой GaAlAs (285 Å). Во внешнем магнитном поле полная проводимость структуры (кондуктанс) осциллировала с ростом поля. Каждый всплеск кондуктанса соответствовал увеличению магнитного потока между проводящими слоями GaAs на один квант потока $2\pi\hbar c/e$. Эти осцилляции возникли благодаря сдвигу фаз интерферирующих дебройлевских электронных

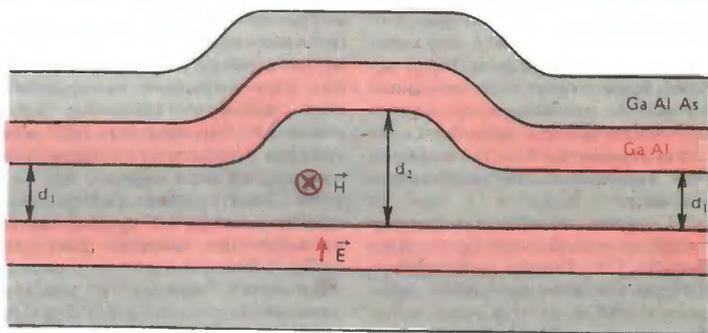


Схема полупроводниковой микроструктуры, состоящая из параллельных слоев GaAs и GaAlAs; $d_{1,2}$ — переменная толщина барьера. Показано направление прикладываемых магнитного \vec{H} и электрического \vec{E} полей.

волн в магнитном поле (эффект Ааронова — Бома). Из-за относительно слабой когерентности волн в разных слоях амплитуда наблюдавшихся осцилляций была невелика (не более 0,5 %)¹.

В своей новой работе Датта и Меллох предложили модифицированную микроструктуру с уменьшенной толщиной барьера d на входе и выходе (см. рис.). Благодаря увеличению туннельной связи между проводящими слоями улучшается когерентность электронных волн, и модуляция кондуктанса может быть доведена до 100 %.

Очень важно, что интерференцией можно управлять не только с помощью магнитного поля \vec{H} , но и электрического поля \vec{E} , ориентированного перпендикулярно слоям GaAs. Сдвиг фаз при этом обусловлен различием электростатических потенциалов слоев ΔV . Расчет показывает, что можно добиться модуляции кондуктанса на 75 % при изменении ΔV на 1 мВ. Возможность управлять кондуктансом с помощью электрического поля позволяет использовать совершенную технику выделения сигнала над уровнем шумов.

Applied Physics Letters. 1986. Vol. 48. № 7. P. 487—489 (США).

¹ Phys. Rev. Lett. 1985. Vol. 55. P. 2344—2347.

Физика

Втягивание паров натрия в лазерный луч

В 1970 г. С. Г. Раутиан (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР) предсказал эффект резонансного воздействия лазерного излучения на поглощающие его атомы: атомы могут втягиваться в лазерный луч или, наоборот, выталкиваться из него. Было показано, что эффект имеет диффузионную природу, проявляется лишь в присутствии буферного газа и обусловлен различием коэффициентов диффузии атомов, переведенных резонансным излучением в возбужденное состояние, и тех же атомов в основном состоянии. Это различие вызвано изменением электронной конфигурации атомов и соответствующим изменением их взаимодействия с атомами буферного газа.

В Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР проведены эксперименты с парами натрия в гелии при температуре 100 °С, которые подтвердили существование эффекта. Выяснилось, что атомы Na, находящиеся в возбужденном состоянии, обладают меньшим коэффициентом диффузии в He, нежели атомы в основном состоянии. Максимальное различие коэффициентов достигало 12 %, что хорошо согласуется с теоретическими оценками (15 %).

Сквозь кювету с гелием и парами натрия пропусклся луч лазера на красителе с перестраиваемой длиной волны, излучение которого возбуждало в

атомах Na резонансные переходы в возбужденное состояние, соответствовавшие D_1 -спектральной линии (переход $2S_{1/2} \rightarrow 3P_{1/2}$) и D_2 -линии (переход $2S_{1/2} \rightarrow 3P_{3/2}$). Поскольку коэффициент диффузии атомов Na в основном состоянии превышал этот коэффициент у атомов, находившихся в возбужденном состоянии, количество невозбужденных атомов, перешедших внутри лазерного луча из неосвещенных областей, превышало число возбужденных атомов, диффундировавших в обратном направлении. В результате концентрация атомов Na внутри луча возросла примерно на 1,5%. Увеличение концентрации регистрировалось по росту поглощения зондирующего лазерного луча, который был направлен навстречу основному возбуждающему лучу параллельно его оси. В ходе эксперимента расстояние между осями основного и зондирующего лучей плавно изменялось, что позволило проследить изменение концентрации атомов Na поперек возбуждающего луча и вблизи него.

Обнаруженный эффект может быть использован для измерения кинетических коэффициентов атомов в различных короткоживущих квантовых состояниях и для светомодулированного разделения газовых смесей.

Optics Communications. 1986. Vol. 57. № 4. P. 236—238 (США).

Физика

Получение сильных магнитных полей с помощью CO_2 -лазера

Сверхсильные магнитные поля (в десятки и более тесла) нужны как для магнитной изоляции высокотемпературной плазмы в установках по термоядерному синтезу, так и для исследования различных физических свойств вещества. Один из перспективных методов получения таких полей в малых областях пространства — генерация их при расширении высо-

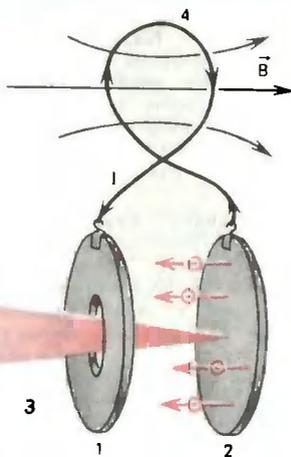


Схема эксперимента: 1 — медное кольцо (диск с отверстием), 2 — облучаемый медный диск, 3 — лазерный луч, 4 — контур из медной проволоки. I — ток, B — индукция магнитного поля.

котемпературной электронной плазмы, которая образуется при облучении медной поверхности мощным лазерным импульсом.

В Институте лазерной техники Университета г. Осака (Япония) с помощью мощного CO_2 -лазера, работавшего в наносекундном режиме на длине волны 10,6 мкм и дававшего импульсы излучения с плотностью порядка $1,3 \cdot 10^{14}$ Вт/см², удалось описанным способом получить магнитные поля с индукцией до 60 Тл.

Магнитное поле возникало в центре медного контура, присоединенного к двум параллельным медным дискам диаметром 2 мм и толщиной 50 мкм каждый (см. рис.). В первом диске имелось отверстие диаметром 1 мм, на центр которого фокусировался лазерный луч. Падая перпендикулярно на поверхность второго сплошного диска, излучение выбивало из него электроны со средней энергией около 15 кэВ. Попадая на противоположный (первый) диск, эти быстрые («горячие») электроны заряжали его отрицательно, в то время как второй диск приобретал положительный заряд. Таким образом, между дисками возникала разность по-

тенциалов до 220 кВ, создававшая в контуре ток около 100 кА.

Было исследовано два вида контуров: петля из медной проволоки толщиной 80 мкм и диаметром 2 мм и цилиндр того же диаметра, но длиной 3 мм. Наиболее сильное поле (60 Тл) наблюдалось в последнем случае; в центре проволочной петли максимальная индукция составила 40 Тл.

Эксперимент показал, что возникающее магнитное поле очень чувствительно к расстоянию между медными дисками: максимум индукции достигался при расстоянии 700 мкм; при дальнейшем увеличении расстояния индукция поля резко уменьшалась. Согласно сделанным оценкам, оптимизируя размеры мишени и контура описанным методом, можно получать магнитные поля с индукцией в несколько сотен тесла.

Physical Review Letters. 1986. Vol. 56. № 8. P. 846—849 (США).

Физика

Первый опыт ЯМР-микроскопии

Метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР), широко применяемый сейчас в биологии и медицине, состоит в регистрации очень слабого сигнала, который испускают ядра вещества в сильном однородном магнитном поле при облучении импульсным электромагнитным полем. По этому принципу работают ЯМР-спектрометры, определяющие химический состав исследуемых образцов, а также ЯМР-томографы, используемые в медицине для получения двух- и трехмерных изображений внутренних органов. Разрешающая способность лучших ЯМР-томографов пока составляет около 0,2—1 мм.

Группе американских исследователей из Университетской школы медицины им. Дж. Хопкинса удалось впервые в мире получить методом ЯМР изображение отдельных клеток, причем разрешающая способность составила $10 \times$

×13 мкм при толщине срезов 250 мкм. Использовался специально разработанный ЯМР-спектрометр высокого разрешения с магнитом диаметром 89 мм, создающий магнитное поле величиной 9,5 тесла. (При исследованиях на людях магнитное поле, как правило, не превышает 1,5 Т.) Изображение клеток получали с помощью ЯМР-томографической техники, носящей название спин-эхо. В качестве исследуемого объекта использовали яйцеклетки африканской шпорцевой лягушки (*Xenopus laevis*).

На полученных ЯМР-изображениях были четко видны ядро клетки и ряд цитоплазматических структур. Кроме того, удалось получить информацию о химическом строении клетки, в частности о содержании липидов в цитоплазме.

По-видимому, уже можно говорить о появлении нового метода исследования — ЯМР-микроскопии, с помощью которого удается детально обследовать живые объекты без фиксации, окраски и приготовления срезов (что зачастую связано с появлением артефактов), а также получить информацию о химическом строении изучаемого объекта. Дальнейшее совершенствование техники (изменение характеристик магнита, способов обработки информации и т. д.) позволит в будущем добиться гораздо более высокого разрешения, что сделает ЯМР-микроскопию ценным методом получения информации о строении и функциях живых клеток и тканей.

Nature. 1986. Vol. 322. P. 180—191 (Великобритания).

Техника

Япония: техника магнитной записи

В японской компьютерной промышленности в последнее время наметилась тенденция возврата к технике магнитной записи, имеющей лучшие пара-

метры по сравнению с оптической записью. Так, время считывания информации с магнитного ферритового диска составляет 15 мс, скорость передачи команд — 3 Мбайт/с. У оптических дисков эти параметры соответственно равны 200 мс и 700 байт/с.

Однако существующая техника магнитной записи не удовлетворяет современным требованиям по уплотнению информации и миниатюризации дисков. Ряд японских фирм решают эту проблему путем нанесения на диски специальных тонкопленочных покрытий, которые либо напыляются, либо наносятся гальваническим способом. Толщина пленки составляет примерно 0,2 мкм, что в 10 раз меньше, чем у ферритовых дисков. Метод гальванического покрытия более прост: диски (одновременно несколько сотен) помещаются в ванну с химическим восстановителем.

Емкость памяти дисков с тонкопленочным покрытием в 10 раз больше, чем у существующих ферритовых дисков. Кроме того, число дорожек на них можно удвоить за счет высокой точности работы записывающей головки. Эти диски обладают и большей скоростью передачи данных — до 6 Мбайт/с — и имеют хорошие частотные характеристики. Первые коммерческие образцы дисков с тонкопленочным покрытием уже изготовлены.

В процессе записи головка как бы летит над вращающимся диском на высоте 0,3 мкм (чтобы оценить подобную точность, нужно представить себе полет реактивного самолета на высоте 3 м от земли). Чтобы предотвратить разрушение головки, а также попадание на диск мельчайших частиц пыли, диски крепят в герметичных коробках и покрывают тончайшим слоем смазки (толщиной в несколько молекул). Толщину смазки необходимо регулировать, чтобы головка не прилипла к диску. Решение проблемы смазки и износа поверхностей позволит уменьшить высоту «полета» головки и увеличить плотность записи.

New Scientist. 1986. Vol. 111. № 1525. P. 30 (Великобритания).

Биофизика

Термовидение нервной ткани

Хижняк Е. П., Брагин А. Г., Иваницкий Г. Р., Кринский В. И. и Тяжелов В. В. (Институт биофизики АН СССР) изучали колебания температуры в различных точках нервной ткани в зависимости от времени. Подобные эксперименты стали возможны в связи с развитием термовизионной техники, позволяющей проводить дистанционную регистрацию температуры тела по его инфракрасному излучению. При анализе тепловых эффектов, связанных с функционированием нервной ткани, очень важно правильно выбрать объект, с тем чтобы интерпретация полученных результатов была как можно более однозначной.

Исследовался кусочек мозга (из гиппокампа) 17-дневных эмбрионов крысы, пересаженный в переднюю камеру глаза взрослой крысы. Через 4—5 месяцев после пересадки трансплантат имел характерный размер около 5 мм, толщину 1 мм, а плотность диффузно расположенных нейронов составила около 1000 мм^{-2} . Питали трансплантат сосуды, находящиеся под ним, а температурные пульсации, которые существуют в микрокапиллярном кровотоке, почти полностью гасились в толще трансплантата. Такой объект весьма близок к реальной активной нервной ткани мозга и удобен для термовизионной регистрации. Температура измерялась с помощью ИК-системы, которая могла регистрировать изменения в 0,1 К. Данные записывали на магнитофон, а затем обрабатывали их на ЭВМ, что повысило точность измерения температуры до 0,03 К и позволило сделать видимым фронт температурных волн.

Удалось обнаружить в трансплантате температурные флуктуации со средней амплитудой 0,1 К. Оказалось, что весь трансплантат можно разделить на области с большими и малыми колебаниями температуры. Самое интересное удалось выя-

вить при изучении различных динамических режимов изменения температуры. В наиболее устойчивом режиме отдельные протяженные области разогрева перемещаются по поверхности трансплантата, а при востресе с зоной, в которой температурные колебания минимальны, наблюдается вращение разогретых областей вокруг нее. В менее устойчивом режиме происходят почти синхронные нерегулярные колебания температуры в разных областях нервной ткани. Наконец, в неустойчивом режиме, который существует недолго, термофлуктуации в разных областях независимы, хаотичны и имеют амплитуду, не превышающую 0,1 К. Наблюдалось и столкновение двух областей разогрева, после которого часто происходило быстрое остывание разогретых областей.

Изучение влияния капиллярного кровотока на термпульсации показало, что только некоторые компоненты пульсаций связаны с дыханием и частотой сердечных сокращений, тогда как большинство — с деятельностью нервной ткани. Гашение температурных волн при столкновении напоминает автоволновые процессы в активных средах. Авторы полагают, что пора поставить вопрос о том, не является ли выделение тепла при работе нервной ткани фактором, влияющим на параметры нейронных систем в процессе обработки ими информации и ее хранения. Зарегистрированные в этой работе величины температурных градиентов позволяют рассматривать их как фактор, определяющий кратковременную пространственную память нервной ткани.

Биофизика. 1986. Т. 31. № 5. С. 897—900.

Молекулярная биология

Как ретровирус HIV убивает Т-лимфоциты

Механизм действия вируса, вызывающего синдром приобретенного иммунодефицита, до последнего времени оставался

неясным. Известно, что он поражает Т-лимфоциты. Причинами их гибели считались: 1) общая стимуляция метаболизма лимфоцитов после их поражения вирусом, приводящая к их «гибели от истощения»; 2) изменение поверхности Т-лимфоцитов, что провоцирует их уничтожение как чуждых иммунной системе; 3) изменение мембран, приводящее к слиянию Т-лимфоцитов в клеточные нежизнеспособные монстры.

Без ясности в этом вопросе не могло быть и речи о целенаправленном создании противовирусной вакцины. Исследователи из Станфордского университета (США), возглавляемые Э. Энглманом (E. G. Engleman), показали справедливость третьей причины.

Культивируемые Т-лимфоциты человека заражали вирусом оспенной вакцины, в геном которого был встроены ген белка оболочки вируса HIV. Через 4—6 часов после заражения этой вакциной началось слияние Т-лимфоцитов с образованием огромных многоядерных клеток-монстров. Через 24—36 часов клетки-монстры погибали.

Nature. 1986. Vol. 323. № 6090. P. 725—728 (Великобритания).

Биотехнология

Генно-инженерный β-интерферон

За последние несколько лет методами генной инженерии созданы бактериальные продуценты интерферонов, что позволило существенно снизить стоимость препаратов и повысить уровень их очистки. К настоящему времени получены синтетические гены для α- и γ-интерферонов¹. Сотрудники СО АН СССР (В. П. Кумарев и др.) провели синтез и клонир-

ование гена β-интерферона, а затем проверку его способности заставлять бактериальные клетки производить β-интерферон.

За основу синтетического гена была взята последовательность нуклеотидов природного гена β-интерферона человека, установленная в 1980 г. японскими исследователями, и внесены в структуру гена некоторые изменения, адаптирующие его к бактериальной клетке и упрощающие манипулирование как полным геном, так и его частями. Затем с помощью соответствующей плазмиды (молекулы внеядерной ДНК, часто используемой в генной инженерии) синтезированный ген был введен в геном клеток кишечной палочки.

Их противовирусная (интерферонная) активность подтвердилась. Они подавляли действие вируса везикулярного стоматита, поразившего клетки фибробластов человека. Испытания показали, что экстракты кишечной палочки со встроеным геном β-интерферона проявляли выраженный защитный эффект. По приблизительной оценке, количество выделившегося β-интерферона почти в 10 раз превысило его производство в такой же системе теми же экстрактами бактерий, но со встроеным природным геном β-интерферона. Доклады АН СССР. 1986. Т. 290. № 1. С. 244—249.

Генетика

Один ген — два фермента

Хотя в митохондриях есть собственная ДНК, большая часть их белков кодируется ядерными генами, синтезируется на рибосомах цитоплазмы, а затем транспортируется в митохондрии. Некоторые белки митохондрий выполняют те же функции, что и белки цитоплазмы, но до сих пор считалось, что белки митохондрий и цитоплазмы различны по структуре и кодируются разными генами.

Однако в 1983 г. сотрудники Всесоюзного кардиологического научного центра АМН

¹ О генно-инженерном производстве α и γ-интерферонов см.: Свердлов Е. Д. Генная инженерия на службе здравоохранения // Природа. 1986. № 10. С. 3—13.

СССР, руководимые А. П. Сургучевым, высказали предположение о существовании группы общих для цитоплазмы и митохондрий белков, кодируемых одними и теми же генами.

Недавно две группы американских исследователей подтвердили эту гипотезу. Э. Хупер с сотрудниками (А. Ноорег; Медицинский центр при Университете штата Пенсильвания) показали, что ферменты модификации тРНК в цитоплазме и митохондриях дрожжей кодируются общими генами. Эксперименты Дж. Финка с сотрудниками (G. Fink; Массачусетский технологический институт) доказали существование единого гена для двух видов другого фермента (гистидил-тРНК синтетазы дрожжей). Исследователям удалось установить, что с этого гена считываются две информативные РНК разной длины, одна из которых, более длинная, специфична для митохондриальной формы фермента, а вторая, более короткая, — для цитоплазматической формы. Митохондриальная форма имеет на N-конце полипептида аминокислотную последовательность, которая определяет транспорт фермента в митохондрию.

Организация генома эукариот, при которой один ген может контролировать образование двух или более форм белка, имеет несомненные преимущества. Во-первых, это путь к более экономному использованию генетических элементов клетки. Во-вторых, при таком способе хранения и воспроизведения генетической информации возможна более гибкая координация процессов, в которых участвуют белки, кодируемые одним ядерным геном.

Journal of Biological Chemistry. 1986. Vol. 261. P. 9703—9709; Cell. 1986. Vol. 46. № 2. P. 235—243 (США).

Биохимия

Как эстрадиол снижает уровень холестерина

Известно, что введение женского полового гормона эстрадиола вызывает значительное снижение уровня холесте-

рина в плазме крови экспериментальных животных, однако механизм такого действия эстрадиола оставался неясным. Эксперименты, проведенные в Научно-исследовательском медицинском центре Техасского университета (США) под руководством нобелевских лауреатов 1985 г. Дж. Голдштейна (J. L. Goldstein) и М. Брауна (M. S. Brown), позволили понять этот механизм.

В кровяном русле холестерина находится в связанном состоянии, причем большей частью в форме мицеллярных частиц ЛНП (липопротеидов низкой плотности). Клетки организма, нуждающиеся в холестерине для построения своих плазматических мембран, получают его посредством взаимодействия липопротеидных частиц с рецепторами ЛНП (которые были впервые обнаружены М. Брауном и Дж. Голдштейном в 1973 г. на поверхности фибробластов)¹. Холестерин, проникающий в клетку, блокирует синтез рецепторов ЛНП, тем самым регулируя весь процесс метаболизма липопротеидов.

Американские исследователи установили, что 17 α -этилэстрадиол повышает количество рецепторов ЛНП на клетках печени крыс. Кроме того, содержание в клетках информационной РНК, специфичной для рецепторов ЛНП, при введении эстрадиола возрастает в 6—8 раз. Таким образом, выяснилась цепь событий в клетке после введения эстрадиола: гормон активирует транскрипцию гена, контролирующего образование рецептора ЛНП, в результате чего с гена считывается больше иРНК, которая стимулирует синтез большего количества белков-рецепторов ЛНП. Это приводит к связыванию с ними большего количества холестерина в составе ЛНП, что и вызывает снижение его концентрации в плазме крови.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1986. Vol. 83. № 3. P. 792—796 (США).

¹ Подробнее см.: Преображенский С. Н. Лауреаты Нобелевской премии 1985 года. По медицине — М. Браун и Дж. Голдштейн // Природа. 1986, № 1. С. 98—100.

Биохимия

Циклические аналоги ангиотензина понижают давление

Тканевый гормон ангиотензин представляет собой октапептид линейного строения и принадлежит к числу наиболее биологически активных природных веществ. В организме он регулирует артериальное давление и водно-солевой обмен, стимулирует секрецию нескольких гормонов.

Группа исследователей под руководством Г. И. Чипенса (Институт органического синтеза АН ЛатвССР) синтезировала и изучила 10 циклических аналогов ангиотензина, представляющих как полную аминокислотную последовательность молекулы природного гормона, так и некоторые ее вариации. Результаты исследования показали, что циклические аналоги ангиотензина не обладают, как природный гормон, способностью повышать артериальное давление, но проявляют несвойственный для ангиотензина длительный гипотензивный эффект (понижение артериального давления), продолжительность которого зависит от введенной дозы препарата. Понижение давления у крыс достигает 35—50 мм рт. ст. при внутривенном введении препарата в дозах 5—500 мкг/кг, а длительность эффекта, в зависимости от дозы, — от нескольких минут до 2 часов и более.

Выделенные авторами фазы гипотензивного действия циклических аналогов ангиотензина соответствуют фазам воздействия на артериальное давление крыс пептидов предсердия, нейротензина и циклических аналогов брадикинина. Все эти соединения способны высвобождать гистамин — тканевый гормон, секретируемый клетками-депо организма, который играет определенную роль в понижении давления.

По мнению авторов, именно циклическая структура определяет способность высвобождать гистамин и, следовательно, длительное гипотензивное действие циклических анало-

гов ангиотензина. Соответствующие им линейные аналоги гормона неактивны. Интересно, что несмотря на существенные различия первичных структур брадикинина и ангиотензина и прямо противоположное действие этих гормонов на артериальное давление, биологическая активность их циклических аналогов вызывает сходные эффекты. *Биоорганическая химия*. 1986. Т. 12. № 8. С. 1118—1120.

Биохимия

Зачем нужны белки теплового шока

У всех живых организмов, от одноклеточных до высших, при нагревании активируются гены, которые кодируют особые белки теплового шока (БТШ). Эволюционная древность этих генов говорит о важной биологической роли БТШ, но до последнего времени она была неясна. Г. Йост и С. Линдквист (Н. J. Yost, S. Lindquist; Чикагский университет, США) обнаружили одну из функций этих белков.

Как известно, в клетках животных предшественник матричной РНК, на которой образуются пептидные цепи, содержит кодирующие участки (экзоны) и некодирующие (интроны). В ходе процесса, называемого сплайсингом, интроны вырезаются из предшественников мРНК. Тепловой шок (при нагреве до 38 °С) нарушает этот процесс вырезания интронов в клетках плодовой мушки.

Авторы выяснили, что если клетки сначала подвергнуть умеренному нагреву до 35 °С, при котором уже начинается синтез БТШ, и лишь потом нагреть их до 38 °С, нарушения сплайсинга не происходит — вырезание интронов продолжается. Поскольку и в этих условиях синтез БТШ на уже образованных мРНК продолжается, исследователи предположили, что именно эти белки и предотвращают нарушение сплайсинга.

Действительно, если до начала эксперимента к клеткам добавляли ингибиторы синтеза белка, благоприятный эффект

предварительного нагревания уже не наблюдался из-за блокирования синтеза БТШ. Каким именно образом БТШ «спасают» сплайсинг, точно не известно, но авторы предполагают, что они способствуют стабилизации сложного комплекса мРНК и других белков (так называемой сплайсеозомы), в котором идет вырезание интронов. Исследование этой проблемы важно еще и потому, что это один из видов активации определенных генов при разного рода стрессовых воздействиях на организм.

Cell. 1986. Vol. 45. № 2. P. 185—193 (США).

ков этого суперсемейства, контактирующих лишь с различными по строению молекулами, МАНК связывается и с подобными себе молекулами. Изучение белка МАНК важно для понимания не только адгезии клеток, но и их миграции в ходе развития организма, которая сопровождается клеточным взаимодействием. Кроме того, выяснение роли специфических мембранных белков во взаимодействии клеток поможет объяснить структуру тканей и форму отдельных органов.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1986. Vol. 83. № 9. P. 3037—3041. (США).

Биохимия

Родственник иммуноглобулинов способствует взаимодействию клеток

Дж. Эдельман (G. M. Edelman; Рокфеллеровский университет, США) с сотрудниками выяснили роль мембранных белков в молекулярных механизмах клеточного взаимодействия. Белок, обнаруженный ими на мембранах нервных клеток эмбрионов и взрослых особей, а также в других тканях позвоночных животных и названный «молекулой адгезии нервных клеток» (МАНК), обуславливает адгезию (слипание) расположенных рядом клеток.

Как и другие мембранные белки, МАНК состоит из наружной части, трансмембранного сегмента и внутриклеточного участка. Наружная часть построена из нескольких повторяющихся одинаковых по строению сегментов. Оказалось, что эти сегменты весьма схожи с доменами иммуноглобулинов и родственных им белков. Как и у иммуноглобулинов, каждый из сегментов имеет одну дисульфидную связь внутри цепочки, формирующую петлю из 50—56 аминокислотных остатков. Авторы считают, что МАНК является еще одним представителем иммунологического суперсемейства белков¹.

В отличие от других бел-

Иммунология

Новая вакцина против гепатита В

Сотрудники отделения вирусологии и иммунологии Юго-Западного центра биомедицинских исследований (Сан-Антонио, США), возглавляемые Р. Кеннеди (R. C. Kennedy), предложили новую вакцину против поверхностного антигена (HBsAg) вируса гепатита В, приготовленную из антиидиотипических антител, или «антител к антителам».

Идиотипом, или идиотипической детерминантой, называют переменную область молекулы антитела, определяющую его специфичность. Согласно теории идиотипической саморегуляции иммунной системы, разработанной нобелевским лауреатом 1984 г. Н. К. Эрне, для каждого идиотипа в организме вырабатывается специфическое антитело. Такие анти-антитела и называются антиидиотипическими антителами.

Антиидиотипические антитела против HBsAg были получены путем иммунизации кроликов идиотипическими антителами к HBsAg. Они применялись

¹ См.: Новые белки из иммуноглобулинового суперсемейства // Природа. 1986. № 1. С. 108; Мембранный белок нервных и лимфоидных клеток // Природа. 1986. № 5. С. 110.

для вакцинации двух шимпанзе, служащих вполне достоверной моделью при изучении гепатита В у человека. Обезьяны были затем заражены вирусом гепатита В, так же как два других шимпанзе, которые для контроля вакцины не получили. Оба контрольные животных через положенное время проявили клинические симптомы, характерные для активной формы течения заболевания. Вакцинированные шимпанзе полностью избежали заболевания. Дальнейшие исследования показали, что и через 13 недель после инъекции антидиотипических антител их содержание в крови иммунизированных животных было достаточно высоким.

Новый метод вакцинации значительно дешевле и проще применяемого в настоящее время, при котором вакцина против гепатита В готовится из HBsAg, полученного от людей с хроническим течением заболевания.

Science. 1986. Vol. 232. № 4715. P. 220—223 (США).

Иммунология

Экспериментально доказана взаимосвязь иммунной и эндокринной систем

Швейцарские биологи, возглавляемые Э. Соркином (E. Sorkin; Научно-исследовательский институт в Давос-Плаце), совместно с Ч. Динарелло (С. А. Dinarello; Университет Тафта, США) экспериментально подтвердили существование в организме механизмов взаимной регуляции иммунной и эндокринной систем. Они установили, что уровень содержания в организме глюкокортикостероидных гормонов соотносится с содержанием белка иммунной системы интерлейкина-1.

Интерлейкин-1 (ИЛ-1) производится макрофагами и моноцитами, стимулированными каким-либо антигеном. Он контролирует развитие и активацию лимфоцитов и, кроме того, выполняет неиммунные функции: способствует повы-

шению температуры тела, влияет на синтез фермента коллагеназы и простагландинов и др. Наиболее активен белок при воспалительных процессах в организме.

Введение мыши даже очень небольшого количества (0,5—1,0 мкг) ИЛ-1 заметно увеличивало уровень адренокортикотропного гормона гипофиза (АКТГ) и кортикостерона, образуемого надпочечниками, причем чем большее количество ИЛ-1 вводили, тем выше было содержание обоих гормонов. В свою очередь, гормоны оказывали тормозящее влияние на образование ИЛ-1, а также некоторых других медиаторов процесса воспаления.

Когда в процессе воспаления, вызванного инфекцией, содержание в организме ИЛ-1 достигает определенного уровня, включается система гипофиз—надпочечники. Увеличение количества образуемых этой системой гормонов начинает тормозить функционирование иммунной системы, в частности синтез ИЛ-1. Нарушение такого тонкого баланса обеих систем может привести к тяжелым последствиям. Так, чрезмерное выделение клетками ИЛ-1 обуславливает слишком высокий уровень гормонов, что в свою очередь может вызвать иммуносупрессивное состояние, наблюдаемое при некоторых инфекционных заболеваниях.

Science. 1986. Vol. 233. № 4764. P. 652—654 (США).

Вирусология

Частота мутаций ретровируса

Главная сложность в борьбе с вирусными инфекциями заключается в генетической изменчивости вируса. Это положение подтвердила группа американских вирусологов из Университетов Алабамы и Майами и Национального института по изучению рака, возглавляемой Б. Ханом (B. H. Hanh).

Исследователи выделяли

из крови одних и тех же больных ретровирус HIV и изучали структуру его генов в разные периоды заболевания. Выяснилось, что геном вируса изменяется очень быстро, что особенно заметно по генным мутациям вирусной оболочки. Мутации происходят как за счет точечных мутаций, так и за счет дубликации отдельных фрагментов генов или их выпадения. Частота мутаций достигает в среднем 1000 на 1 ген в год. Это в миллион раз больше, чем у других организмов.

Несмотря на столь высокую частоту мутаций, вирусы, полученные от одного человека в течение двух лет, сохраняли большее сходство, чем вирусы разных людей. Авторы высказывают предположение, что первоначальное инфицирование одним вирусом может препятствовать в дальнейшем заражению измененным вариантом того же вируса.

Science. 1986. Vol. 232. № 4757. P. 1548—1553 (США).

Психофизиология

Стратегии запоминания

Вызванные потенциалы (электрические сигналы, регистрируемые с поверхности головы в ответ на воздействие какого-либо раздражителя) исследуются в связи с разнообразными психическими функциями, такими как восприятие, внимание, вероятностное прогнозирование. Группа американских исследователей из Иллинойского университета под руководством Э. Дончина (E. Donchin) продемонстрировала эффективность метода вызванных потенциалов при изучении памяти человека.

В опытах они последовательно показывали испытуемым на экране слова, подлежащие запоминанию, регистрируя вызванные потенциалы (положительные сигналы с задержкой 0,5—0,6 с) после каждого слова. У большинства испытуемых, запомнивших слова в результате

простого повторения, отклик был значительно сильнее на те слова, которые удалось запомнить и правильно воспроизвести: Однако у тех, кто пользовался более сложными приемами (например, мысленно составляя из слов рассказы, предложения, картины и т. п.), зависимости между величиной сигналов и качеством запоминания не было. Чтобы исключить возможность использования таких сложных стратегий, в одном из опытов запоминание делали непреднамеренным: испытуемым говорили, что слова следует классифицировать и считать, но затем неожиданно просили вспомнить как можно больше показанных слов. В такой ситуации, разумеется, нельзя применить специальные приемы запоминания, и, как и ожидалось, разница между сигналами, соответствующими запечатленным и незапечатленным словам, оказалась очень большой.

С теоретической точки зрения этот результат говорит о существовании двух механизмов обработки материала при запоминании: сначала происходит интеграция отдельных фрагментов информации (в данном случае — отдельных слов), затем — объединение этих фрагментов в целостную структуру. Положительный сигнал отражает, вероятно, вклад первого механизма, и если он играет ведущую роль (при произвольном запоминании или механическом заучивании), то величина этого сигнала тесно связана с качеством запоминания. Когда же запоминание определяется преимущественно вторым механизмом, связь с вызванным потенциалом исчезает.

С практической точки зрения полученные данные означают, что с помощью физиологического метода можно определить, какой стратегией запоминания пользуется тот или иной человек, за счет чего — механического повторения или смысловых связей — он добивается запечатления в памяти нужного материала.

Psychophysiology. 1986. Vol. 23. No 3. P. 298—308 (США).

Адаптивное поведение птиц острова Врангеля

Обыкновенная гага, черная казарка и белый гусь — самые обычные обитатели о. Врангеля. В суровых условиях Севера с коротким летом, ограниченными пищевыми ресурсами и постоянным прессом хищных псов эти птицы все же успешно выводят потомство. Как им это удается? Ответить на этот вопрос позволили многолетние наблюдения, проведенные на острове сотрудниками Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР¹.

Обыкновенная гага — небольшая птица с великолепной покровительственной окраской. Она питается высококалорийным кормом — водными беспозвоночными; это позволяет ей реже летать на кормежку и подолгу затаиваться в гнезде. Как правило, гнезда гаги расположены поодиночке, на некотором расстоянии друг от друга. Песцам очень редко удается обнаружить и разорить гнездо гаги.

Черная казарка — птица тоже небольшая, но, в отличие от гаги, не имеет столь совершенной покровительственной окраски. Кроме того, казарка питается низкокалорийным растительным кормом и вынуждена часто сходить с гнезда, демаскируя кладку. В этой ситуации она становится легкой добычей псов. Однако казарки нашли себе надежного защитника от псов — полярную сову: сова охраняет территорию вокруг своего гнезда (причем довольно большую — радиусом примерно 200 м) и не допускает сюда других хищников. Часто совсем на небольшом расстоянии от совиного гнезда и нахо-

дят себе пристанище черные казарки.

Белый гусь — это уже довольно крупная птица, однако и он стремится устроить гнездо поблизости от совы: она не нападает на вылупившихся гусят, даже если их очень много на охраняемой своей территории. Одиночные гнезда — не единственный способ обитания белых гусей; они образуют и большие колонии. Максимальная площадь колонии — около 25 км², здесь могут гнездиться более 100 тыс. птиц. Хотя каждая пара защищает только свое гнездо, однако при столь высокой плотности белые гуси фактически совместными усилиями отбивают нападения псов. Интересно, что колониальная форма гнездования обнаружена только у малого белого гуся, который при массе не более 3 кг не может в одиночку дать отпор псу. Большой белый гусь, обитающий на островах Канадского арктического архипелага, не образует колоний: при массе до 5 кг он достаточно силен, чтобы самостоятельно защитить свое гнездо.

Описанные особенности питания, поведения и гнездования позволяют столь различным птицам, обитающим по соседству, успешно выводить птенцов. Все эти особенности являются адаптивными и демонстрируют широкие возможности приспособления к жизни в самых северных широтах.

А. А. Суворов
Москва

Зоология

Как муравьи охлаждают гнездо

Энтомолог К. Хорстман из Вюрцбургского университета (ФРГ) несколько лет назад впервые количественно оценил способность рыжих лесных муравьев охлаждать свои гнезда¹. В

¹ Подробнее см.: Кипятков В. Е. Способность муравьев охлаждать гнезда // Природа. 1984. № 1. С. 112—113.

¹ Сыроечковский Е. В., Литвин К. Е., Гуртовская Е. Н. Организация и динамика численности популяции белого гуся острова Врангеля // Системные принципы и эволюционные подходы в изучении популяций. Пушино, 1984. С. 183—196.

его экспериментах муравьи подерживали в гнездовом куполе температуру не выше 28—35 °С до тех пор, пока мощность помещенного в гнездо электрического нагревателя не превышала 20 Вт. Гнезда, лишенные муравьев, перегревались при значительно меньшей мощности нагревателя. Значит, для охлаждения гнезда недостаточно обычной интенсивности вентиляции, осуществляющейся через специальные отверстия в куполе гнезда. Новые исследования позволили выяснить, за счет чего муравьям удается понижать температуру в гнезде².

Оказалось, что при перегреве купола гнезда муравьи срочно эвакуируют из него почти всех личинок и куколок, унося их в более глубокие горизонты под поверхностью почвы. Это, в первую очередь, устраняет дополнительный источник тепла, выделяемого личинками и куколками при дыхании, а во-вторых, облегчает циркуляцию воздуха по камерам, в обычных условиях плотно забитых расплодом. Одновременно муравьи расширяют вентиляционные отверстия на поверхности купола и открывают новые. Однако и всего этого, по ориентировочным подсчетам, далеко не достаточно для эффективного сопротивления перегреву.

Исследователи обратили внимание, что при перегреве из купола удаляется только расплод, а рабочие муравьи остаются там в большом количестве. Именно они поглощают избыточное тепло. Обусловлено это тем, что при перегреве относительная влажность воздуха в куполе значительно уменьшается; это вызывает усиление транспирации, т. е. испарения воды муравьями при дыхании, а, как хорошо известно, при испарении поглощается большое количество тепла. Если же влажность воздуха в гнезде высока, транспирация незначительна и поэтому преобладает выделение тепла при метаболизме. Измерения в лабораторных условиях показали, что у рабочих муравьев поглощение тепла начинает превы-

шать его выделение при уменьшении влажности воздуха до 85 % при 35 °С и до 90 % при 25 °С. В то же время у куколок выделение тепла преобладает над поглощением даже при влажности воздуха 80 %. Поэтому рабочие муравьи и удаляют их из купола, рассчитывая только на собственные возможности.

В. Е. Кипятков,
кандидат биологических наук
Ленинград

Этология

Птица, имитирующая змею

В Северной Америке встречается вид совы *Athene cunicularia*, которая устраивает гнезда в норах, вырытых грызунами. В случае опасности она издает звуки, напоминающие шипение гремучей змеи. Человек различит эти звуки не может, но могут ли это сделать животные? Такой вопрос поставили перед собой М. Роу, Р. Косс и Д. Оуингс (M. Row, R. Coss, D. Owings; Университет штата Калифорния, Девис, США).

Для экспериментов был взят калифорнийский суслик *Spermophilus Beecheyi douglasii*, в норах которого охотно селятся как гремучие змеи, так и совы. Первую экспериментальную группу составляли суслики из местности, где змеи встречаются постоянно, вторую — где змеи являются редкостью. Совы же были одинаково распространены и в той и в другой местности.

В лабораторных условиях грызунам предлагали войти в искусственную нору, в глубине которой звучали записи шипения совы или гремучей змеи, а контролем служила запись различных нейтральных звуков. Суслики, которым в естественной среде, вероятно, не приходилось сталкиваться с гремучей змеей, относились к любым звукам с равной степенью осторожности. Те же, для которых риск встречи с гремучей змеей был постоянным жизненным

спутником, воспринимали запись змеиного шипения как реальную угрозу и в нору не стремились, а к птичьей имитации шипения относились значительно спокойнее.

Исследователи, впрочем, не исключают, что шипение помогает сове выжить суслика из норы. Кроме того, враги совы — койоты, куницы, ласки — могут также уstrasиться «змеиного» шипения и оставить птицу в покое.

Ethology. 1986. Vol. 72. P. 40.
(ФРГ).



Экология

Улитка приспосабливается к загрязнению

Группа биологов во главе с Д. Робинсоном (D. Robinson; Манчестерский университет, Великобритания) поставила серию экспериментов с целью определить, в какой степени морские организмы могут приспосабливаться к изменению химических свойств среды обитания.

Объектом исследования служили две популяции морских моллюсков вида *Littorina rudis*, населяющие прибрежные воды о. Англии (Северный Уэльс). Одна из популяций обитает там, где в воду много лет подряд постоянно сбрасываются отходы горных выработок, содержащие токсичные тяжелые металлы, а другая — в практически незагрязненной антропогенными сбросами среде. Особи, взятые из обеих групп, подвергались в течение трех недель воздействию цинка. Оказалось, что — независимо от уровня содержания цинка в экспериментально загрязненной воде — моллюски, взятые из чистой природной среды, отличаются большей смертностью, чем взятые из природной загрязненной среды.

В другой серии опытов измерялся ход поглощения цинка в организме моллюска. Установлено, что накопление цинка в тканях улиток, взятых из загрязненной природной среды, происходит заметно медленнее.

² Horstmann K., Schmid H // *Entomol. Gener.* (Stuttgart). 1986. Bd. 11. № 3—4. S. 229—236.

Очевидно, они каким-то образом могут регулировать поступление металла в свои ткани. Такой вид приспособления моллюсков к загрязненной среде отмечен впервые. Помимо теоретического значения это имеет и практический смысл. Степень загрязнения прибрежных вод тяжелыми металлами установить во многих случаях с помощью приборов весьма сложно. Нередко поэтому эти определения делают, измеряя содержание токсичных веществ в тканях обитателей моря. Однако открытие манчестерских биологов говорит о ненадежности такого метода: по крайней мере некоторые организмы выработали способность защищать свои ткани от накопления в них токсичных веществ, тем самым искажая результаты подобных наблюдений за состоянием среды. Не исключено, что такая способность присутствует не только моллюскам данного вида, но и другим животным, которых экологи использовали до сих пор в качестве биологических индикаторов при мониторинге окружающей среды.

New Scientist. 1986. Vol. 110. № 1501.
P. 17 (Великобритания).

Геология

Сверхглубокое бурение в США

До сих пор в США ежегодно бурили около 80 тыс. скважин, но лишь единицы из них служат исследовательским целям; в основном коммерческие, они недостаточно глубоки и чаще всего расположены в районах, малоинтересных для фундаментальной науки. Ныне 33 университета США образовали консорциум DOSEC (Deep Observation and Sampling of the Earth Continental Crust — Глубинные наблюдения и взятие образцов континентальной земной коры), который аналогичен объединению научных учреждений для бурения океанического дна. Задача нового консорциума, финансируемого главным образом Национальным научным фондом США, — осуществление глубокого



Район бурения глубинной скважины в штате Калифорния.

го и сверхглубокого бурения с геофизическими, геотектоническими, сейсмологическими и другими научными целями. Руководителем консорциума назначен геофизик Дж. Барбер (G. A. Barber).

Американские специалисты высказывают неудовлетворенность своим отставанием в деле сверхглубокого бурения от СССР и ФРГ. Известно, что скважина на Кольском п-ове давно миновала отметку 12 км, на Украине начато бурение, которое предполагается вести на глубину до 15 км, еще четыре советские скважины должны достигнуть по крайней мере 7 км. В ФРГ заложены две сверхглубокие скважины; одна из них, в Шварцвальдском горном массиве, должна в 1988 г. достичь глубины 14 км. В США подобная программа отсутствовала. В соответствии с планом, принятым новым консорциумом, с ноября 1986 г. силами главным образом Станфордского университета начинается глубинное бурение в районе хр. Сан-Бернардино (к западу от Лос-Анджелеса, штат Калифорния). Здесь, к югу от перевала Кахон, проходит центральная часть разлома земной коры Сан-Андреас. Скважина, окончательная глубина которой пока не определена, закладывается не в пределах самого разлома, где геологические породы слишком трещиноваты, а в 4 км от него. Главная цель — измерить напряжения и силы трения, возникающие в породах этого ключевого для многих геодинамических проблем региона, где Тихоокеанская плита взаимодействует с Севе-

ро-Американской плитой. Предполагалось, что в результате такого взаимодействия в глубинных недрах вдоль линии разлома Сан-Андреас должна накапливаться значительная тепловая энергия, однако более 100 проведенных здесь измерений (возможно, на недостаточных глубинах) этого не подтвердили. Если и при более глубоком бурении существенные геотермальные аномалии обнаружены не будут — придется пересмотреть ряд важных положений тектоники плит.

Разработан план сверхглубокого бурения в Аппалачских горах, на границе штатов Джорджия и Южная Каролина. Здесь предполагается проверить правильность существующих гипотез горообразования на Северо-Американском континенте. До сих пор считалось, что данный регион представляет собой «головной край» мощного слоя кристаллических пород, надвинутых на континентальную окраину 280 млн лет назад, в период, когда происходило гипотетическое столкновение Африканского континента с Северной Америкой; когда же впоследствии материка стали расходиться, надвинутые слои остались поверх более молодых осадочных пород. Глубинное бурение позволит установить реальность такой последовательности событий.

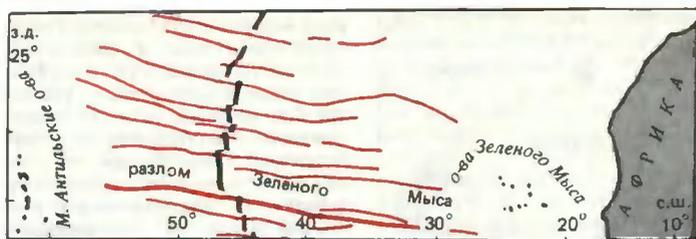
New Scientist. 1986. Vol. 111. № 1518.
P. 22—23 (Великобритания).

Океанология

Разлом Зеленого Мыса в Центральной Атлантике

В мае—сентябре 1986 г. состоялся 3-й рейс научно-исследовательского судна Геологического института АН СССР «Академик Николай Страхов»¹. Работы выполнялись в рамках на-

¹ Коротко об истории судна и его характеристиках см.: Золотарев Б. П. Первый рейс научно-исследовательского судна «Академик Николай Страхов» // Природа. 1986. № 5. С. 114—116.



Основные разломы Центральной Атлантики (разлом Зеленого Мыса изучен на протяжении 2500 км, от 29 до 32° з. д.; жирными линиями и показаны смещенные по разломам участки рифтовой долины Срединно-Атлантического хребта).

ционального проекта «Литос», предусматривающего тектоническое, петрографическое и геохимическое изучение твердой коры океанов (руководитель проекта и научный руководитель рейса — Ю. М. Пушаровский; начальник экспедиции — автор этого сообщения).

Как показали многочисленные советские и зарубежные исследования, к числу структур, где наиболее отчетливо обнаружаются нижние горизонты океанической коры, относятся трансформные разломы. Один из таких разломов, пересекающих Атлантику приблизительно по 15°20' с. ш., и был выбран для детального изучения. Этот разлом, названный разломом Зеленого Мыса, впервые был обнаружен еще в 1967 г. по распределению эпицентров землетрясений. Длина участка между смещенными по разлому сегментами Срединно-Атлантического хребта составляет 195 км; смещение левостороннее.

В рейсе велись комплексные исследования, включавшие: изучение рельефа дна многолучевым эхолотом, непрерывное и глубинное сейсмопрофилирование, магнитную съемку, драгирование коренных пород и отбор проб осадков грунтовыми трубками, геохимический экспресс-анализ пород на ряд элементов-примесей, изучение петромагнитных свойств базальтов и палеомагнитности осадков, гидрохимические исследования.

Зона разлома Зеленого Мыса изучена на всем его про-

тяжении (2500 км). Эта зона представляет собой желоб, обрамленный хребтами, поперечными к оси Срединно-Атлантического хребта. Ширина зоны, включая хребты, — 20—35 миль. Характерной чертой морфологии этого желоба является деление его на ряд отрезков, оси которых смещены друг относительно друга. Глубина желоба увеличивается от 4300 м на западном фланге до 6000 м — на восточном. Высота и морфология поперечных хребтов весьма изменчивы.

Изучение вещественного состава пород в зоне разлома проводилось методом ступенчатого драгирования, которое осуществлялось здесь впервые. Поднятый каменный материал включает все основные элементы разреза океанической коры: серпентизированные гарцбургиты, пироксениты, габброиды, долериты, базальты, амфиболиты, зеленые сланцы, родингиты, офикальциты, известняки. Размещение различных типов пород в пространстве, многократное нахождение ультрабазитов в самых верхних частях поперечных хребтов, повсеместная сильная раздробленность ультрабазитов и габброидов свидетельствуют о чешуйчато-надвиговом строении этих хребтов. Характер распределения элементов-примесей в базальтах обоих склонов желоба, возможно, обусловлен существованием различных мантийных источников для этих образований.

Последующая полная обработка материалов рейса позволит дать монографическое описание разлома, что в океанской геологии будет сделано впервые.

Ю. Н. Разницын,
кандидат геолого-
минералогических наук

Москва

Геофизика

Откуда землетрясения в малосейсмичной зоне?

Специалисты долгое время считали, что восточная часть США, примыкающая к Атлантическому океану, представляет собой малосейсмичную зону. Действительно, землетрясения отмечались здесь довольно редко и не обладали большой силой. Следует иметь в виду, однако, что более или менее надежная регистрация таких событий ведется в данном регионе едва ли более двух столетий, тогда как тектонические явления протекают в существенно больших масштабах времени.

Современная методика позволяет изучать сейсмичность не только по данным самих землетрясений, но и по тем геодинамическим процессам, которые к ним в конце концов приводят. Результаты таких исследований представили С. Мусман (S. A. Musman; Управление геодезической службы США, Роквилл) и Т. Шмитт (T. Schmitt; Геологическое управление штата Джорджия в Атланте).

В проводившихся экспериментах для сверхточного измерения расстояний между двумя точками на поверхности Земли использовался метод интерферометрии с длинной базой: на радиообсерваториях Уэстфорд (штат Массачусетс) и Форт-Девис (штат Техас) регистрировалось время поступления сигнала от внеземных источников радиозлучения и по разнице во времени приема сигнала определялось расстояние между пунктами наблюдений. В серии повторных измерений было установлено, что эти пункты сближаются со скоростью 1,2 см/год. Это приводит к нарастанию напряжения в земной коре, при этом скорость приращения деформации составляет $1 \cdot 10^{-16}$ в секунду. Такая величина для стабильной области, находящейся вне зоны активно-го перемещения литосферных плит, весьма значительна. Согласно вычислениям авторов,

земная кора, подвергающаяся подобному напряжению, не может быть вязкой на глубине примерно до 10 км; напротив, она должна обладать изрядной хрупкостью, которая и проявляется в сотрясениях и толчках. На больших глубинах температура пород повышается, кора становится вязкой, а толчки, несмотря на напряжение, — все менее вероятными. Это соответствует наблюдательным данным: очаги землетрясений на востоке США, как правило, залегают не глубже 10 км.

Интересно, что потенциальная энергия, создаваемая здесь напряжением в земной коре, должна намного превышать ту, что в действительности высвобождается в период проявления сейсмической активности. Аналогичное явление наблюдается и в западной части США, где сейсмичность намного выше. Этот факт требует дополнительных объяснений.

Eos (Transactions of the American Geophysical Union). 1986. Vol. 67. № 15. P. 190 (США).

Вулканология

Трагедия в Камеруне

21 августа 1986 г. около 1700 жителей поселков, расположенных в районе оз. Ниос (северо-запад Камеруна), погибли в результате внезапного выброса удушливых газов со дна озера. Группа приглашенных на место американских специалистов пытается прояснить картину этого трагического события и его причины.

Оз. Ниос заполняет вулканический кратер и имеет в длину 1400 м, а в ширину 900 м. Находившийся здесь вулкан мог извергаться в сравнительно недавнее геологическое время: на северо-восточном берегу озера обнажаются застывшие лавовые потоки, пирокластические отложения, включающие большое количество перидотитов. Этот кратер расположен в пределах 700-километрового камерунского участка вулканической цепи,

протянувшейся затем еще на 700 км через Южную Атлантику до островов вулканического происхождения Аннобон. К этой цепи принадлежит и вулканическая цепь впадины с оз. Монун, на берегах которого в 1984 г. произошла подобная трагедия¹.

Вся эта вулканическая цепь представляет собой зону ослабленной земной коры; щелочной вулканизм начался здесь еще в триасе и продолжается до наших дней. Единственный ныне действующий здесь вулкан, расположенный в 275 км к юго-западу от оз. Ниос, извергался в октябре—ноябре 1982 г. Два ощутимых землетрясения были отмечены в 1983 г. на расстоянии 80 км о оз. Монун, в пределах Фумбанского сдвига земной коры. По сейсмическим наблюдениям, начатым здесь в 1984 г., в среднем каждые трое суток происходят два слабых толчка; в одном из пунктов отмечался «рой» землетрясений — около 16 толчков за 16 часов.

По мере удаления от берегов глубина озера резко возрастает — от 40 до 220 м. На плоском дне кратера впадающие в озеро ручьи образуют два русла глубиной 15 м и шириной 100 м, сливающиеся в 500 м от берега. Никаких нарушений в отложившихся на дне осадочных породах не обнаружено. Температура воды в озере почти одинакова по всей ее толще: +22 °С у поверхности и +23° в придонном слое. Рыба в озере не водилась. Вода прозрачна и содержит большое количество солей двухвалентного железа, которые при соприкосновении с воздухом выпадают в красноватый осадок. Концентрация бикарбонат-иона высокая — 722 мг/л, однако рН около 5,15. Поверхностный слой воды хорошо насыщен кислородом, но уже глубже 10 м кислорода в воде очень мало. Поднятые со дна породы относятся к кластическим (обломочным), окрашены в темно-коричневый цвет, серным запахом не обладают.

Ученые опросили оставшихся в живых очевидцев тра-

гедии (более 300 из них пострадали и были госпитализированы). Они рассказали, что все началось звуком взрыва, донесшимся со стороны озера, а уже спустя несколько минут вокруг лежали мертвые тела. В поселке Ниос из 700 жителей в живых осталось двое. Повсюду, куда проникло удушливое облако, выжили лишь те, кто находился на возвышенном месте или оказался в пределах случайно образовавшихся воздушных «карманов», или короткое время старался не дышать. Один крестьянин, например, почувствовав удушье, окунул голову в ведро с водой, а когда через минуту другую поднялся, все члены его семьи были мертвы.

Обследование показало, что гибель людей наступила в результате отравления углекислым газом. Следов присутствия метана и окиси углерода не обнаружено. По свидетельству многих, в течение двух суток над местностью стоял запах пороха или тухлых яиц, который может указывать на присутствие сероводорода. У ряда пострадавших на коже возникли ожоги.

Местонахождение трупов домашнего скота (а погибли тысячи голов) указывает, что облако удушливого газа, двигаясь от своего источника через провалы в окружающем озере низком гребне, заполняло низины, над уровнем водоема оно не поднималось выше 100 м. Часть этого облака проследовала по долинам обоих ручьев примерно на 1 км, затем повернула на северо-восток по течению реки и достигла поселка Ниос, явись причиной гибели почти всех его жителей. Другая часть облака, двигаясь на запад, заполнила долину р. Ча на расстоянии 25 км от озера и также вызвала смерть почти всех находившихся здесь людей и животных. Плотность и скорость движения взрывного облака были столь высоки, что в некоторых местах оказались поваленными кукурузные и банановые посадки.

После взрыва верхний 10-метровый слой воды в озере окрасился в красно-бурый цвет, содержание углекислого газа достигло высокого уровня. Его выделение с поверхности озера продолжалось несколько суток,

¹ См.: Озеро-убийца в Камеруне // Природа. 1986. № 10. С. 119.

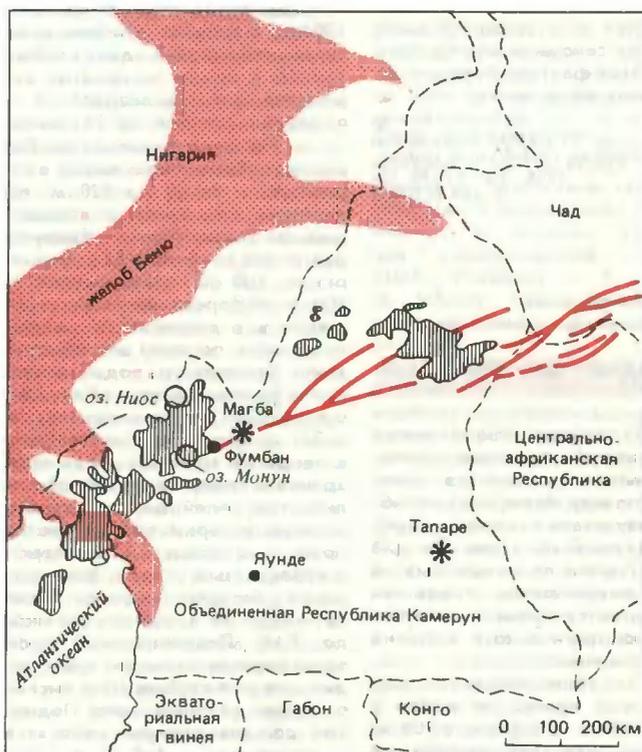
увеличивая число жертв в низинных местах. Прежде никто из жителей не замечал подъема газовых пузырей со дна, но непосредственно перед катастрофой, по-видимому, это могли наблюдать те, кто поселился на самом берегу. Один свидетель упоминал о «свещающем облаке», стоящем некоторое время над водой; другой утверждал, что видел высокую волну, захлестнувшую полуостров на северном берегу; листья растений и скальные выступы на следующий день, согласно одному из сообщений, были покрыты белым налетом, который дождь смыл прежде, чем удалось взять пробы.

Окончательных выводов о том, каковы первопричина выделения газа со дна озера, его источник, механизм процесса, специалисты пока не сделали. Свидетельства вулканических или сейсмических явлений, которые прямо могли бы привести к катастрофе, нет (правда, ближайший от места событий сейсмограф находился в 150 км). Первоначальные предположения, что сквозь дно внезапно прорвались из недр разогретые вулканические газы или что все началось выбросом на поверхность «пузыря» низкотемпературных магматических газов, до того запертых под слоем донных осадков, кажутся маловероятными. Против этого говорят низкие температуры в озере, равномерное их распределение после событий, ненарушенность слоев в донных осадках. Возможно, что медленное просачивание магматических газов, насыщенного углекислым газом, в итоге завершилось резким его выбросом в момент, когда пределы его растворимости в придонном слое были превзойдены. Если озеро обладает четкой стратификацией вод (холодные плотные слои у дна и более теплый поверхностный слой), возможно иное объяснение: по какой-то причине (оползень, снижение температуры поверхностного слоя воды, сильное ветровое волнение и т. п.) была внезапно нарушена стратификация и перемешивание слоев вызвало резкий подъем насыщенного углекислым газом вод из глубины на поверхность. Однако свиде-



Озеро Нюс — одно из многочисленных озер вулканического происхождения на территории Камеруна.

Схема геологического строения в районе озер Нюс и Мону.



✳ Землетрясения (ощутимые)

▨ Третичные вулканические породы

■ Меловые осадочные породы

→ Зона сдвигов

тельства и такого хода событий также не обнаружено.

Ныне в северо-западном Камеруне обследовано 31 кра-

терное озеро. Многие из них возникли недавно, некоторые — всего лишь за последние несколько тысячелетий. В 17 из них

взяты пробы воды, но только в озерах Монун и Ниос содержатся большие количества растворенного углекислого газа. Установлены новые сейсмические станции: следует срочно выяснить, означает ли происшедшее общий рост сейсмической активности в регионе. Изучение причин этого необычного и трагического явления продолжается.

Smithsonian Institution SEAN Bulletin. 1986. Vol. 11. № 8. P. 2—5 (США); New Scientist. 1986. Vol. 111. № 1524. P. 26—27. (Великобритания).

Палеонтология

Вклад в палеонтологию Австралии

На протяжении шести лет группа палеонтологов во главе с М. Арчером (М. Archer; Университет штата Новый Южный Уэльс, Сидней, Австралия) вела раскопки в районе известняковой гряды Риверслей-Стейшн на северо-западе штата Квинсленд. Здесь, преимущественно на открытой поверхности известняка, обнаружены скелетные остатки ископаемых позвоночных животных (общая масса — около 30 т). Среди них найдены зубы и челюстные кости разных групп млекопитающих, населявших Землю около 15 млн лет назад. Благодаря этой находке число известных

науке древнейших (возрастом более 2 млн лет) млекопитающих на территории Австралии значительно возросло — с 70 до 170 видов!

Среди этих видов — гигантский (размером примерно с корову) неохелос — сумчатое, принадлежащее к отряду Diprotodonta. Оно обитало в густых тропических лесах, произраставших на пустынной ныне территории. Неохелоса характеризуют крайне малый (величиной с теннисный мяч) мозг и наличие двух нижних резцов.

Найдены также остатки хищного ископаемого кенгуру *Ekaltadeta ima*. На его зубах обнаружены следы, по-видимому от разгрызания костей. Сумчатый лев размером с современную рысь отнесен к неизвестному ранее виду рода *Wakaleo*. Он вооружен длинными мощными клыками и крупными когтями на больших пальцах. Сильно отогнутые пальцы на задних конечностях говорят о его способности карабкаться по деревьям.

Новая для науки весьма примитивная кенгуровая крыса *Wabularoo naughtoni*, питавшаяся, по всей видимости, травянистой растительностью, отличается необычным строением

Реконструкция описанных ископаемых животных (слева направо): хищный кенгуру с питоном, сумчатые львы, примитивная кенгуровая крыса, страусообразные птицы, гигантские сумчатые — неохелос.

челюстного аппарата, что и послужило основанием для выделения ее в особое подсемейство. Обнаружено, кроме того, еще более десяти других неизвестных ранее видов сумчатых, принадлежащих главным образом к отряду дипротодонтов.

Загадку для науки представляет животное, получившее временное название *Thingodonta*. Величиной с кролика, оно имеет огромные для своих размеров сильно выступающие резцы и очень острые моляры (коренные зубы). Вполне возможно, что это плацентарное млекопитающее.

Обнаруженные остатки двух видов древних летучих мышей морфологически близки к найденным ранее в надежно датированных отложениях на территории Франции. Эта находка позволяет уточнить возраст австралийских ископаемых животных.

Помимо млекопитающих обнаружены также остатки птиц и рептилий. Вымершая страусообразная птица из семейства *Dromornithidae* достигала 2—3 м в высоту и имела массу до 300 кг. Питались эти нелетающие птицы, очевидно, плодами, орехами и семенами деревьев и кустарников. Среди пресмыкающихся интересен крупный питон, названный *Montythyonoides riversleighensis* — по местности, где был найден.

Поисковые работы в районе Риверслей-Стейшн и анализ их результатов продолжают. National Geographic Magazine. 1986. Vol. 169. P. 38—39 (США).



«ЭТО — ЛЮБОВЬ»

Ю. И. Манин,

доктор физико-математических наук
Москва

В 1958 г. в небольшом американском городе в семье Клары и Дэвида Парков родился четвертый ребенок. Девочку назвали Джесси. Ко второму году жизни она стала беспокоить родителей замедленным развитием и неконтактностью. Через некоторое время был поставлен диагноз: детский аутизм.

Синдром раннего детского аутизма (от греч. αὐτός — сам) был выделен и описан в начале 40-х годов американским психиатром Л. Каннером. Его симптоматика возникает не позже двух-четырёхлетнего возраста и характерна прежде всего отсутствием общения с людьми, в том числе с матерью, и крайней изолированностью от внешнего мира. Развитие речи может быть резко замедленным, как это произошло с Джесси. Если оно и не задержано, речь аномальна: она не направлена на коммуникацию. Аутичный ребенок не терпит изменения привычной обстановки и привычного порядка действий, имеет блестящую механическую память, хорошее физическое здоровье. Над всем его поведением доминирует закрытость от людей. Вот как это выглядит:

«Крошечное золотистое дитя кружит на четвереньках около пятна на полу в таинственном и самозабвенном восторге. Девочка заливается смехом, но не поднимает глаз. Она не пытается привлечь внимания к загадочному объекту своего восхищения. Она вообще не видит нас. Она и пятно — вот все, что существует. И хотя ей уже восемнадцать месяцев —

возраст, когда дети трогают, тащат в рот, тянутся, толкают, исследуют,— она не делает ничего подобного. Она не ходит, не карабкается по ступенькам, не пытается подтянуться, чтобы достать вещь. Вещи ей не нужны» (с. 3).

Это — внешние диагностические признаки. Никто не знает глубинных механизмов детского аутизма. Детство Джесси пришлось на время, когда знакомство с синдромом Каннера даже в профессиональной среде было редким, практические рекомендации родителям и педагогам только формировались и были мало-доступны.

Дэвид Парк преподавал физику в небольшом колледже, Клара окончила университет. До рождения Джесси она намеревалась заняться профессиональной деятельностью, когда подрастут дети. Болезнь младшей заставила ее отказаться от прежних планов. После того как глубина аномалий стала ясной, родители приняли решение — не отдавать девочку в специализированное заведение и воспитывать ее в семье (позже и в специальной школе).

Клара Парк принадлежала к поколению «матерей сороковых и пятидесятых годов, для которых доктор Спок заменил житейскую мудрость» (с. 14). Это означало, что она и ее друзья не только наблюдали за развитием своих детей и делились опытом, но читали книги по детской психологии, думали над ними и вообще вкладывали в дело воспитания все силы сердца и ума — подчеркиваю, ума и сердца. Бунтую-

щее поколение шестидесятых было воспитано этими матерями и своей эпохой.

Многолетнюю изнурительную работу любви, которую начала Клара Парк, борясь с аутизмом Джесси, и спустя шесть-семь лет описала в своей книге, она назвала осадой. Чтобы понять это слово, мы должны взглянуть на Джесси глазами матери и вообразить зачаточное, свернутое, как бутон, сознание маленького человека, укрывшееся за невидимыми крепостными стенами, самодостаточное, недоступное для человеческой речи, не поддающееся на приманки мира, его звуки, закрытое для самых близких.

Пристальные, повседневные, длившиеся долгие годы наблюдения Клары Парк очень ценны для изучения и терапии детского аутизма. В образе аутичной психики, который рисует книга, на первый план выступают дефекты мотивации — ребенок ведет себя так, как если бы он не хотел развиваться; отсюда повторяющаяся метафора: Джесси — волшебное дитя из Страны Юности ирландского фольклора. Этот образ оказался прагматически ценным для формирования стратегии осады аутичного сознания. Но Клара Парк прекрасно понимает (и фиксирует это понимание многими наблюдениями и интерпретациями), что поражения множественны и затрагивают все сферы психики.

В. Е. Каган на основании большого врачебного опыта полагает, что синдром Каннера вообще вынуждает выделить общение как специальную функцию психики¹. Возможно, что она поддерживается особыми механизмами восприятия, как, например, зрительное распознавание человеческих лиц, кото-

¹ Каган В. Е. Аутизм у детей. Л., 1981.

рое может нарушаться как достаточно изолированная функция при редком виде визуальной агнозии (нарушения процессов узнавания) — прозопагнозии.

В возрасте около трех лет Джесси научилась складывать из плоских частей картин-головоломки. Дети обычно при этом руководствуются рисунком, целостности которого следует добиться, — скажем, Кота в Сапогах. Но Джесси настолько хорошо чувствовала форму, что могла сложить фигуру рисунком вниз. С другой стороны, восприятие самого рисунка было ослаблено или полностью отсутствовало. Особенно характерна была ее неспособность завершить легкую головоломку из пяти частей, где последним фрагментом было солнышко с нарисованными глазами. Круглое, почти симметричное, оно не давало ключа к правильному положению своей формой: нужно было, чтобы глаза оказались наверху. Этого Джесси не могла постичь — «глаза, лица просто не входили в ее систему значимостей» (с. 60).

Многие страницы книги дают материал к обсуждению роли нарушений межполушарного взаимодействия у детей с синдромом Каннера. Создается впечатление об общей пониженной активности доминантного (речевого, левого) полушария Джесси при гиперактивации субдоминантного. Например, при общем крайнем замедлении развития речи, начиная примерно с четырех лет у Джесси развивается компенсаторное использование мелодий в качестве замены слов. Песенка "Ring around a rosy" («Хоровод вокруг куста»), сопровождающая игру типа хоровода, последовательно становится обозначением этой игры, рисунка хоровода в книжке, венка и, наконец, просто нарисованного круга. «Мы заметили, что хотя она уже с легкостью напевает многие песенки, она никогда не пользует



C. C. Park. THE SIEGE. The First Eight Years of an Autistic Child. With an Epilogue, Fifteen Years After. Boston; Toronto: Little Brown and Company, 1982. 328 p.

(К. К. Парк. ОСАДА. Первые восемь лет жизни аутичного ребенка. С эпилогом: Пятнадцать лет спустя. Бостон; Торонто, 1982. 328 с.)

ется своими лейтмотивами случайно или в роли мелодий. Не пела она их и музыкально, как остальные, но быстро, схематично, функционально — ровно настолько, чтобы они могли сыграть свою коммуникативную роль» (с. 84).

Словарь Джесси к пяти годам ограничивался тремя — четырьмя десятками изолированных слов, но затем стал быстро возрастать — по Каннеру, это было решающим признаком благоприятного прогноза. На шестом году жизни она стала усваивать новые слова со скоростью нормального двухлетки, но так и не начала говорить, как нормальный двухлетка. Вся система, порядок приобретения новой лексики, семантические и синтаксические особенности речи отличались от нормы. По принципиальному замечанию Клары Парк, Джесси учила родной язык, как иностранный, — еще одно свидетельство правополушарности ее психики.

(Предполагается, что изучение второго языка на ранних этапах происходит с большой опорой на субдоминантное полушарие².)

Ограничения контактности накладывали на ее языковую компетенцию особый отпечаток. Джесси без труда усваивала и правильно применяла слова такого рода, как «дуб», «вяз», «клен». Слова же «сестра», «бабушка», «друг», «чужой» были семантически недоступны ей в пять лет, последние два — и в семь лет. Это не было недоступностью абстракций вообще — «треугольник», «четыреугольник» и т. п., до «восьмиугольника», Джесси различала и употребляла безошибочно. Недоступен был круг абстракций, связанных с человеческими отношениями. Классический симптом аутизма — употребление «я» в применении к другим лицам, «ты» в применении к себе — пример такой недоступности. Нормальный ребенок в своем развитии быстро минует эту стадию, усваивая, что местоимения меняют смысл при смене говорящего, но аутичное сознание надолго задерживается на ней. Смысл местоимений «он», «она» и «они» Джесси уловила лишь к восьми годам и с большим трудом.

Другие особенности словоупотребления Джесси, усвоенные чутким материнским ухом, требуют более тонкой интерпретации. Вот одно наблюдение из многих.

«Маленькие дети произносят слово «плохой» со всеми оттенками страха или гнева. Джесси теперь тоже говорит «плохой». Но она произносит это

² См. подробнее: Иванов Вяч. Вс. Чет и нечет. Асимметрия мозга и знаковых систем. М., 1978; Черниговская Т. В., Балонов Л. Я., Деглин В. Л. Билингвизм и функциональная асимметрия мозга // Семантика. Труды по знаковым системам, 16. Тарту, 1983. С. 62—83.

слово со спокойным удовлетворением, как бы помещая явление в надлежащую категорию. «Плохая банка», — говорит она, собирая пивные банки на пляже. «Плохая собака», — замечает она, разглядывая опрокинутую мусорную урну. Джесси не любит собак. Если пес подойдет слишком близко, она прижмется ко мне; если прыгнет, она захнычет. Но ей и в голову не придет вербализовать свои эмоции. В такой ситуации она не скажет «плохая собака» (с. 211—212).

Эта неспособность вербализовать свои эмоции связана с общей недостаточностью аутоидентификации, процесса формирования своего «я». Аутизм с почти лабораторной точностью показывает, что осознание себя основано на осознании другого.

Последнее, что мы отметили, — зачастую повышенные способности аутичного ребенка в сфере элементарной математики, проявляющиеся в случае, когда воспитание этому способствует. Пример из жизни Джесси и здесь характерен. Около семи с половиной лет мать начала учить ее сложению. «Нуль» Клара не объясняла; это сложное понятие возникло поздно в истории цивилизации, и Клара решила, что если без нуля обходились древние греки, то обойдется пока и Джесси. Выяснилось, однако, что Джесси уже слышала о нуле, и возразила: «Нет нуля!»

Оказывается, она желала услышать: $0+1=1$, что я ей и сообщила. В ответ последовало: «О, мы забыли! Нуль плюс нуль равно нуль!» (с. 241).

В современной психиатрии термины «аутизм», «аутистическое поведение» используются также в широком смысле, в применении не только к психическим расстройствам, но и для характеристики черт нормальной психики. Когда Клара Парк вернулась к преподаванию, оказалось, что воспитание



Джесси восемь с половиной лет. Она занимается арифметикой.

Джесси многое открыло ей в ее студентах, нормальных, способных людях, читающих, пишущих, исполняющих свои обязанности, но временами столь похожих на Джесси той системой внутренних преград, которая мешает им работать и жить. Один русский писатель назвал «Воспитанием по доктору Спокку» свою книгу, мотив которой — обида на те черты времени, которые оказались ему чужими и неудобными. Этот выбор ярлыка и случаен, и характерен, и достоин сожаления. Аутизм личности находит свои параллели в аутизме семьи, аутизме профессиональной группы, аутизме нации. Невидимые крепостные стены разделяют мир на камеры; слишком многие наши действия добавляют камни в их кладку; каждый рискует оказаться в одиночке. «Странная Джесси так похожа на нас» (с. 274).

После публикации первого издания в 1967 г. книга Клары Парк многократно выходила на разных языках. Мы рецензируем здесь издание 1982 г., дополненное эпилогом «Пятнадцать лет спустя». Джесси двадцать три года; Клара с гордостью

сообщает, что она работает, имеет свой банковский счет и вскоре будет платить налоги, как полноправный гражданин. Кроме того, она успешно занимается живописью, ее работы выставляются и покупаются. Черно-белая репродукция «Обогреватель в ванной Валери» — поп-арт — вклеена в книгу и описана несколькими выразительными фразами; мы можем вообразить интенсивное акриловое свечение этой вещи.

Счастливым концом?

Конечно, нет. Жизненные истории не кончаются, пока живы их герои, кончается лишь рассказ. Джесси не стала здоровым человеком. Жизнь, которую она ведет, отличается от жизни, которую ведут ее сестры и брат. Счастливым концом?

Послушаем в последний раз Клару Парк.

«Позвольте мне высказать просто и прямо общеизвестную истину. Я, как и все, дышу разреженным воздухом безвечия своего века, и я не хочу сентиментальности. Но худшая сентиментальность из всех — это предательство просвещенных, которые не узнают дарованного добра, ибо оно чересчур просто. Итак: не мы выбрали этот жизненный опыт, мы отдали бы все, чтобы избежать его, но он изменил нас и сделал нас лучше. Он дал нам урок, который не берут добровольно, тяжкий, медленный урок Софокла и Шекспира: человек возвышается страданием. И этот урок — дар, полученный от Джесси. Теперь я пишу то, что пятнадцать лет назад написать была бы не в состоянии: если бы сегодня я получила право выбора — принять эту судьбу, со всем, что она принесла, или отвергнуть ее горькую щедрость — я бы раскрыла объятия ей навстречу, потому что жизнь, открывшаяся всем нам, не могла быть воображена. И я не изменю последнего слова этой книги. Это — любовь» (с. 320).

ИСТОРИЯ РУССКИХ ХИМИЧЕСКИХ ШКОЛ

И. А. Леенсон,
кандидат химических наук

Г. В. Лисичкин,
доктор химических наук
Москва

Книг по истории химии, как отечественных, так и переводных, сейчас выпускается немало. Только за последние годы увидели свет содержательные монографии В. Штрубе, А. Азимова, Ф. Сабдвари и А. Робинсона, Н. А. Фигуровского и др. Нельзя не упомянуть и о таком фундаментальном труде, как начатое недавно академическое издание «Всеобщая история химии», первые три тома которого вышли в 1980—1983 гг. Новая книга известного историка естествознания Ю. И. Соловьева — это история химии, прослеженная через историю становления и развития химических школ, научных центров России.

Такой подход позволяет понять, «откуда есть пошла» российская химия и каким образом она всего за несколько десятилетий прошла путь, для которого Западной Европе потребовались столетия. Становится очевидным, что всплеск интенсивности в развитии химии связан с появлением к середине прошлого века первых научных школ в этой области знания.

Несмотря на сравнительно небольшой объем, книга представляет собой по сути де-



Ю. И. Соловьев. ИСТОРИЯ ХИМИИ В РОССИИ. Научные центры и основные направления исследований. Под ред. С. А. Погодина. М.: Наука, 1985. 415 с.

ла энциклопедию по истории русской химии со времен М. В. Ломоносова до 1917 г. В ней упомянуты практически все русские химики, оставившие след в науке (указатель содержит около 500 их имен).

Молодому читателю, вероятно, покажется удивительным, что вся русская химия была сделана в буквальном смысле слова пятьюстами парами рук. Заметим, что это число примерно соответствует штату среднего по размерам научно-исследовательского института.

Автору чуждо свойственное многим историкам стремление преувеличить заслуги гениев. Так, в трудах некоторых историков науки утверждалось, что М. В. Ломоносов в результате проведенных им опытов по изменению массы веществ при их обжиге открыл закон сохранения материи (по-видимому, первым, кто выдвинул такое предположение, был Б. Н. Меншуткин). Автор подробно рассматривает этот вопрос, цитирует при необходимости труды самого Ломоносова и делает совершенно справедливый вывод о том, что «все эти рассуждения имели бы силу, если бы в работах М. В. Ломоносова могла бы идти речь о химическом взаимодействии части воздуха и металла. Но час для такого решающего шага в развитии химии в 50-х годах XVIII в. еще не наступил» (с. 33). Логика развития химических знаний еще не подвела ученых к пониманию окислительно-восстановительных процессов с участием воздуха. «Важно еще раз подчеркнуть,— пишет Ю. И. Соловьев,— что М. В. Ломоносов жил в эпоху физики газов, а А. Лавуазье — в эпоху химии газов. Безуспешной поэтому будет попытка отыскать в работах Ломоносова идею о взаимодействии воздуха и металла при обжиге как причине увеличения его веса» (там же).

Автор строго придерживается исторических фактов и при изложении научной деятельности других видных химиков. Это несколько не умаляет их заслуг, а только лишний раз подчеркивает закономерность в развитии научных концепций.

Более того, отдельные ошибки и заблуждения, неизбежные в развитии любой науки, часто помогают скорейшему установлению истины. Характерна в этом отношении попытка Г. И. Гесса экспериментально установить «тепловой аналог» закона кратных отношений. Автор пишет: «Распространить атомистические представления на термодинамические явления и открыть закон кратных тепловых отношений Г. И. Гессу не удалось, ибо ложной оказалась исходная предпосылка. Непокоримо веря основателю химической атомистики, Гесс оказался в плену ошибочного утверждения Дж. Дальтона, что каждый атом окружен теплородной оболочкой. В исходной идее, таким образом, ошибался не Гесс, а Дальтон. И если ученые 1840—1850-х годов отказались от этой ошибочной точки зрения Дальтона, то в этом основная заслуга Гесса. Он так долго доказывал недоказуемое, что стало совершенно ясно, что атомы не окружены теплородной оболочкой. Такой вывод внес ясность в атомистические представления и убрал ненужные барьеры с пути познания поведения и строения атома» (с. 134).

К достоинствам моногра-

фии относится и то, что в ней впервые систематически прослежена история преподавания химии и химической технологии в России, а также структура и содержание учебников. Логическим завершением монографии является построение трех «генеалогических деревьев» по органической, неорганической и физической химии. Они наглядно представляют научные школы, преемственность идей, стилей и методов научной работы. Каждый читатель-химик, глядя на приведенные схемы, может легко найти своих «научных предков», вплоть до Н. Н. Зинина, А. А. Воскресенского, Г. И. Гесса и других ученых прошлого века.

Рецензируемая книга не лишена и недостатков. Некоторые из них непосредственно следуют из выбранного автором метода исследования и способа изложения: своеобразная структура монографии вынуждает иногда повторяться — ведь нередко близкие по содержанию работы проводились одновременно в нескольких научных центрах (проблема дублирования научных исследований была актуальна даже в прошлом веке).

Можно упомянуть и о нескольких, может быть, малозна-

чительных просчетах автора. Так, масштаб уже упомянутых «генеалогических деревьев» слишком мелок, хотелось бы видеть на этих важных схемах большее число исследователей. Вызывает недоумение помещение на генеалогические деревья советских ученых, в том числе и наших современников. И дело здесь не столько в том, что в книге, содержание которой кончается 1917 г., странно выглядят химики, родившиеся после этой даты, сколько в том, что принцип отбора этих ученых остался непонятным. Наконец, рецензентам, сотрудникам химического факультета Московского университета, обидно, что выдающемуся ученому, основателю университетской школы по химической кинетике, катализу и электрохимии профессору Е. И. Шпитальскому посвящено всего три строки.

В заключение нельзя не отметить прекрасное оформление издания и высокий уровень полиграфии.

Нет сомнения в том, что книга Ю. И. Соловьева вносит серьезный вклад в историю естествознания в нашей стране. Эту книгу можно с уверенностью рекомендовать всем, кому интересна история и методология науки.

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

И. Д. Новиков, В. П. Фролов. ФИЗИКА ЧЕРНЫХ ДЫР. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 328 с. Ц. 2 р. 70 к.

Лет 20 назад мало кто верил в возможность существования черных дыр — космичес-

ких тел, обладающих столь сильным гравитационным полем, что никакие сигналы не могут вырваться из них наружу. К настоящему времени эта идея получила широкое распространение и, более того, уже имеются серьезные основания считать, что некоторые из исследуемых астрофизических объектов представ-

ляют собой черные дыры: специалисты помещают их в остатки сверхновых звезд, в ядра шаровых скоплений, галактик и квазаров.

Исследование свойств этих гипотетических объектов Вселенной привело к обнаружению глубоких связей между гравитацией, квантовой теорией и

термодинамикой. В результате за последние 10—15 лет возникла, по сути дела, новая область физики — физика черных дыр со своим предметом исследования и своими задачами.

Книга охватывает все аспекты этой области — от теории пространства-времени самих черных дыр, механики движения тел, распространения полей в их окрестности до физических процессов в черных дырах и свойств вакуума. Причем основное внимание сосредоточено на вопросах, которые были решены сравнительно недавно и еще не вошли с достаточной полнотой в обзоры и учебники.

Авторы адресовали книгу физикам и астрофизикам, но старались сделать изложение по возможности и более широко доступным.

Физика

АТОМЫ В АСТРОФИЗИКЕ / Под ред. Ф. Г. Бёрка, В. Б. Эйснера, Д. Г. Хаммера, И. С. Персивала. Пер. с англ. Л. П. Преснякова и Ю. И. Гальперина. Под ред. А. Вайнштейна. М.: Мир, 1986. 346 с. Ц. 3 р. 60 к.

Нью-Йоркское издание этой книги, вышедшей в 1983 г., было приурочено к 60-летию Майкла Ситона — одного из наиболее видных современных специалистов по теории атомных столкновений. Вместе с тем неоднократные экскурсии Ситона и в другую область физики — астрофизику — были настолько глубокими и плодотворными, что с его именем связано решение ряда астрофизических задач. Оба эти плана научных интересов Ситона получили отражение в коллективной монографии его учеников и сотрудников — ныне видных исследователей, работающих в научных центрах Великобритании, Франции, США и Швейцарии.

Каждая глава написана одним или несколькими специалистами, которые сами непосредственно участвовали в разработке обсуждаемых проблем, таких, например, как электронно-ионные процессы в горя-

чей плазме, возбуждение положительно заряженных ионов протонным ударом, теория квантового дефекта и ее приложения. В книге описан большой пакет программ для расчета атомных характеристик на ЭВМ. Этот пакет был разработан в Университетском колледже (Лондон), профессором которого Ситон является в настоящее время. Эти программы очень пригодились астрофизикам, занимающимся расшифровкой спектров солнечной хромосферы и короны, идентификацией спектральных линий в звездах Вольфа—Райе, в сейфертовских галактиках и квазарах. Исходная концепция Ситона состояла в том, что этот обширный пакет программ должен стать гибким инструментом для решения всех задач, которые астрофизическая спектроскопия ставит перед атомной физикой. Скоро, по-видимому, астрофизики смогут без всякой предварительной подготовки запускать любую программу, когда им потребуются те или иные атомные данные.

Биология

С. Д. Кустанович. ЖАР-ПТИЦА ИЗ «КРАСНОЙ КНИГИ» (Обыкновенный фламинго) / Отв. ред. Р. Л. Беме. М.: Наука, 1986. 80 с. Ц. 35 к.

Лишь немногие видели на воле фламинго — этих чудоптиц с нежным розовым оперением. Они очень осторожны и боязливы, и потому об их жизни известно далеко не все. Среди ученых нет даже единого мнения, сколько на свете видов этих птиц. Неизвестна точно и продолжительность жизни фламинго. В зоопарках они доживают до 50 лет, хотя есть предположение, что могут жить и до 80.

Долгое время фламинго были желанным охотничьим трофеем: особо лакомым блюдом в некоторых странах Европы считались языки фламинго (птицы уничтожались целыми колониями), а их роскошные перья шли на украшение одежды. Теперь стали охранять фламинго, существует немало заповедников,

где птиц подкармливают в трудное для них время.

В нашей стране основной район гнездования фламинго — Казахстан. Сюда прилетает один из видов — фламинго обыкновенный — и расселяется на островках и отмелях мелководных соленых озер или обмелевших заливов Каспия, где в изобилии корм и куда трудно добраться хищнику. Из книги мы узнаем о жизни фламинго. Описаны брачный ритуал, строительство гнезд, высиживание птенцов, повадки птиц, в частности их своеобразная манера добывать пищу, меню фламинго, особенности их перелетов и многое другое.

Геология

Р. К. Баландин. ЛЕДЯНЫЕ ИСПОЛИНЫ. История рождения, жизни и гибели великих ледников. Минск: Университетское, 1986. 176 с. Ц. 40 к.

Знакомство с этой книгой, адресованной самому широкому кругу читателей, позволяет получить глубокое представление о великих ледниках и обо всем том, что происходило во времена оледенений. Тема изложена объемно, с попутным обсуждением современных вопросов экологии и охраны окружающей среды, антропологии, технологии, истории науки. Впечатление от такого широкого взгляда на предмет описания усиливается тем, что автор сам иллюстрировал книгу.

Первая из трех ее частей представляет собой очерк ледниковой теории — от оснований, заложенных П. А. Кропоткиным, до гипотез и научных положений, занимающих современных ученых. Приводимые здесь факты благодаря умелой их подаче обращают внимание читателя на процесс развития научного знания: от удивления — к постановке вопросов, от поисков ответа — к выдвижению гипотез и от их анализа — к пониманию.

Во второй части автор, опираясь на собственный опыт экспедиционной работы, рассказывает, как следы великих

оледенений помогают работе специалистов по инженерной геологии.

Третья часть книги посвящена проблемам и перспективам четвертичной геологии, которая исследует последний и во многих отношениях самый интересный период, носящий кстати, сразу четыре названия: четвертичный, ледниковый, плейстоценовый и антропогенный.

Психология

Х. Хекхаузен. МОТИВАЦИЯ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ / Пер. с нем. под ред. Б. М. Величковского. Предисл. Л. И. Анциферовой и Б. М. Величковского. Т. 1—2. М.: Педагогика, 1986. Т. 1, 408 с. Ц. 3 р.; Т. 2, 392 с., Ц. 3 р. 10 к.

Это фундаментальная монография одного из наиболее значительных западноевропейских психологов нашего времени, президента Немецкого психологического общества, директора Института психологических исследований им. М. Планка в Мюнхене.

Из книги мы узнаем, как понимали движущие силы человеческих поступков психологи прошлого. В ней дан обзор современных зарубежных исследований, многие из которых мало известны советским ученым. Собственные теоретические взгляды автора наиболее отчетливо выражены в заключительных главах. В последней главе дано понятие о мотиве как комплексной динамической системе, когда мотив подкрепляется каждым действием (поступком) и, что особенно важно, может модифицироваться как случайно, так и направленно.

Исследователи найдут в работе Х. Хекхаузена описание и обсуждение базовых экспериментальных приемов и методик. Представители психолого-педагогической практики — конкретные подходы к выявлению дифференциальных особенностей мотивации, которая способствует тем или иным видам деятельности или затрудняет их. И, наконец, книгу с пользой прочтут все, кого интересуют проблемы психологии.

История культуры. Науковедение

ПРОБЛЕМЫ ГУМАНИТАРНОГО ПОЗНАНИЯ / Отв. ред. А. Н. Кочергин, В. П. Фофанов. Новосибирск: Наука, 1986. 335 с. Ц. 2 р. 30 к.

В первом разделе монографии обсуждаются философские предпосылки гуманитарного знания, особенности познания в конкретных науках, главным образом в языкознании и литературоведении, и общая характеристика гуманитарного познания, которая включает в себя рассмотрение проблемы онтологического статуса его объектов. Одним из таких объектов является человеческая деятельность, выявленная в тексте. Поэтому процедура объективации, предполагают авторы раздела, превращается в проблему, где и как существует объект гуманитарного познания: в пятнах ли краски на бумаге, в мозгу человека, в коллективном опыте группы людей или всего общества.

Во втором разделе дан анализ проблемы гуманитаризации естественных и технических наук. Авторы делают различие между понятиями гуманитаризации и гуманизации науки. Под гуманитаризацией понимается проникновение ценностей и стандартов гуманитарного познания в структуру естествознания, т. е. «изменение внутренних ориентиров науки», под гуманизацией — включение во внешние ориентиры науки вопросы о смысле науки, о сущности человека. В этом плане весьма примечательна статья А. В. Ахутина «Познание и экзистенция: к истории гуманитарных истоков научного познания».

Философия естествознания

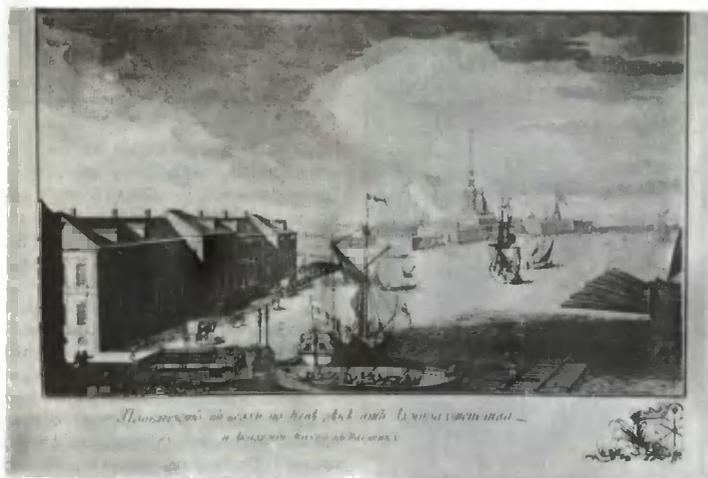
ФИЛОСОФИЯ И СОЦИОЛОГИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ. Ежегодник 1984—1985. М.: Наука, 1986. 252 с. Ц. 1 р. 90 к.

Ежегодник (перед нами уже второй его выпуск) подготовлен Научным советом по фи-

лософским и социальным проблемам науки и техники АН СССР. «Ведущая тема данного выпуска ежегодника, — отмечает его ответственный редактор член-корреспондент АН СССР И. Т. Фролов, — социальные и методологические проблемы научнотехнического прогресса... Обостренное исследовательское внимание к проблемам научнотехнического прогресса вполне естественно, ибо... сегодня в качестве главного стратегического рычага интенсификации народного хозяйства... выдвигается на первый план кардинальное ускорение научнотехнического прогресса».

Другая важная тема сборника — феномен знания, которое показано в тесной связи с историко-культурным контекстом. Внимание читателей привлечет подборка не издававшихся ранее текстов из рукописного наследия М. М. Бахтина (1895—1975). Она носит название «К философии поступка» и посвящена проблеме переформулирования определений философии и поэтики, проблеме активного включения субъекта в процесс познания и ответственности его («всем, даже мыслью и чувством») за каждый момент бытия. Человек, по М. М. Бахтину, не имеет нравственного права на алиби, на уклонение от той единственной ответственности, какой является реализация его единственного неповторимого «места» в бытии.

В разделе «Материалы к научной биографии ученого» помещена одна из последних статей академика Б. М. Кедрова (1903—1985), на протяжении многих лет бывшего членом редакционной коллегии «Природы». Статья носит название «Сергей Вавилов — каким я его запомнил».



«Перспект вверх по Неве-реке от Адмиралтейства и Академии наук к востоку». Гравюра Е. Г. Виноградова по рисунку М. И. Махеева. 1753 г.

М. Е. ГОЛОВИН — УЧЕНИК И ПОМОЩНИК Л. ЭЙЛЕРА

Г. И. Смагина
Ленинград

В последние годы своей жизни, закончившейся в Петербурге, великий Леонард Эйлер (1707—1783) был слеп. Но продуктивность его работы, и дотоле поразительная, росла как бы вопреки созданному природой жестокому препятствию. Уже потеряв зрение, он подготовил свыше 300 трудов по математике, механике, математической физике и другим областям науки. И за десять лет перед кончиной опубликовал столько же работ, сколько за предшествовавшие 46 лет.

Объяснение этому феномену известно. Тяготы последних лет жизни Эйлера были вознаграждены обстоятельством, которое почел бы за счастье каждый оказавшийся в его положении ученый, еще полный мыслей и духовных сил: рядом с Эйлером оказались преданные науке и понимавшие его ученики — Н. И. Фусс и М. Е. Головин. Сохранилось немало рассказов о том, как работал слепой Эйлер. Приведем один из них, записанный очевидцем:

«Хотя он (Эйлер. — Г. С.)

не может узнать никого в лицо, читать черное на белом и писать пером на бумаге, однако пишет на черном столе свои математические вычисления мелом очень ясно и порядочно в обыкновенную величину. Потом они вписываются в большую книгу одним или другим из его адъюнктов, Фуссом или Головиным. Из этих-то материалов составляются под его руководством статьи¹.

Такого рода свидетельства содержатся и в обширной эйлеровской историографии, и в литературе о Николае Ивановиче Фуссе (1755—1825), ставшем известным математиком, действительным членом Петербургской Академии наук.

Как же сложилась судьба другого ученика и помощника Эйлера, М. Е. Головина (1756—1790)? Публикаций о нем очень мало². В трудах по истории математики Головин упоминается лишь попутно. Во втором издании БСЭ была приведена его биография, содержавшая неточности, а из третьего его имя и вовсе исчезло.

Такое полужабвение Головина историками науки не прошло «безнаказанно». В недавнем прошедшем на телеэкране девятисерийном фильме «Михайло Ломоносов» голос за кадром авторитетно отрекомендовал Головина не только как племян-

¹ Цит. по: Пекарский П. П. История Имп. Академии наук в Петербурге. СПб, 1870. Т. 1. С. 295.

² Это, по сути, две статьи: Бобынин В. В. М. Е. Головин // Математическое образование. 1912. № 4—8; Морозов А. А. Талантливый северянин // Север. 1956. № 17. С. 183—203.



Студент. Гравюра XVIII в.

ника Ломоносова и ученика Эйлера, что соответствует истине, но и как человека, преуспевшего в жизни и получившего многие знаки официального признания. А это уже приходит с истиной в горькое противоречие. На самом деле судьба Головина печальна.

Детские и юношеские годы этого, как водится, не предвещали. Сын младшей сестры Ломоносова, Марии Васильевны, Михаил Евсеевич Головин восьми лет от роду был увезен из родного села Матигор, Архангельской губернии (неподалеку от Курострова), где отец его владел землей и кузницей, и был в феврале 1765 г. доставлен в Петербург, в дом Ломоносова. «С самого приезда сделано ему новое французское платье, — пишет Михаил Васильевич сестре, — сошиты рубашки и всем одет с головы до ног, и волосы убирает по-нашему, так что его на Матигорах не узнали бы. Мне всего удивительнее, что он не застенчив и тотчас к нам и к кушанью нашему привык, как бы век у нас жил, не показал никакого виду, чтобы тосковал или плакал»³.

Головин сразу же был оп-

ределен Ломоносовым в гимназию при Петербургской Академии наук — вопреки регламенту, который разрешал принимать «из всяких чинов людей, смотря по способности, кроме положенных в подушный оклад». В генеральном списке учеников гимназии напротив фамилии Головина графа об отце не заполнена.

Ломоносов продолжал трогательно заботиться о племяннике, «как должен добрый дядя и отец-крестный», навещал его, чтобы «нарочно осмотреть, с кем живет в одной камере», и на пороге смерти писал: «Я не сомневаюсь, что он через ученье счастлива будет»⁴.

Поначалу так, может быть, и было. В 1773 г. Головин успешно закончил гимназию и получил в знак поощрения шпагу — обязательную принадлежность студента академического университета. В университете Головин изучает физику у академика В. Л. Крафта, а математику — у Эйлера, который писал директору Академии наук графу В. Г. Орлову: «Все вечера я уделяю занятиям с юным Головиным, в чем также счастливо преуспел, ибо он благодаря своим выдающимся способностям и неустанному прилежанию достиг того, чего другие за многие

годы обучения в университете не смогли бы добиться»⁵.

31 октября 1774 г. Эйлер представил Конференции Академии (заседанию ее членов) записанное рукой Головина сочинение о колебаниях свободно подвешенной нити. Отметив при этом, что его ученик сделал весьма большие успехи, Эйлер обратился к Конференции с просьбой дать Головину звание адъюнкта — младшее научное звание, установленное в Академии наук. Хотя это предложение и было поддержано академиками В. Л. Крафтом, А.-Н. Лекселем, П.-С. Палласом, стать адъюнктом представителю податного сословия было не так-то просто, и Головин шел к этому около двух лет.

16 января 1775 г. указом Екатерины II (видимо, по просьбе Эйлера) он был освобожден от уплаты подушной подати. Затем потребовали представления научного сочинения. Спустя год Головин предложил на рассмотрение Конференции перевод книги Эйлера по теории корабля — знаменитой «Морской науки» (1773), снабдив его обширными замечаниями и дополнениями к каждой главе, подробным разъяснением хода рассуждений автора и дополнительным разделом «О действии весел». Она вышла в 1778 г. под названием «Полное умозрение строения и вождения кораблей, сочиненное в пользу учащихся навигации Л. Эйлером, а с французского подлинника переведенное Академией наук адъюнктом М. Головиным».

³ Ломоносов М. В. Полн. собр. соч.: В 10 т. М.; Л., 1950—1959. Т. 10. С. 598.

⁴ Там же.

⁵ Цит. по: Ожигова Е. П. Математика в Петербургской Академии наук в конце XVIII — первой половине XIX вв. М., 1980. С. 13.

ПОЛНОЕ УМОЗРЕНИЕ
СТРОЕНИЯ
И
ВОЖДЕНИЯ
КОРАБЛЕЙ,

сочиненное
въ пользу учащихся Навигаци
леонгардомъ Эйлеромъ,

съ Французскаго переложила въ русское
Академикъ Николай Адриановъ
Имѣавломъ Головинскимъ



ВЪ САНКТЪ ПЕТЕРБУРГѢ
при Императорской Академіи Наукъ
1778 года.

Титульный лист знаменитой «Морской науки» Л. Эйлера, вышедшей в переводе М. Е. Головина.

Некоторые исследователи ошибочно указывают, что Головин был адъюнктом по математике. На самом деле 15 января 1776 г. он был утвержден адъюнктом по экспериментальной физике⁶.

Почти десять лет связывают Головина с потерявшим зрение Эйлером. В «Записных книжках» Эйлера, хранящихся в Ленинградском отделении Архива АН СССР, нам довелось видеть записи, сделанные рукой Головина. Согласно «Протоколам Конференции», в период с 31 октября 1774 г. по 20 марта 1780 г. Головин участвовал в подготовке и представлении в Академию 78 мемуаров Эйлера.

В 1780 г. Головин представил самостоятельную работу на обсуждение Конференции Академии наук: трактат по плоской и сферической тригонометрии.

Историки математики единодушно в высоких оценках. Приведем слова А. П. Юшкевича: «Плоская и сферическая тригонометрия... представляла собой выдающееся и переводное руководство. Уроки Л. Эйлера не пропали даром, и его ученик написал курс тригонометрии, значительной превосходящий в научном отношении не только более ранние, но и многие последующие русские и иностранные учебники»⁷.

Другие сочинения Головина — по математике и физике — также носили на себе печать влияния его великого учителя, перед которым он благоговел, говоря о себе: «...вспомоществованный ежедневным наставлением знаменитого му-

жа, коее благоденствие я буду чтить до конца последнего дня моей жизни»⁸.

Влияние Эйлера без труда прослеживается, например, в работе Головина по физической акустике, начатанной в «Актах Академии» за 1781 г., или в другой — «Примечания над плоскими зеркалами» (1784), автограф которой нам посчастливилось обнаружить в академическом архиве — пять небольших листов, исписанных с обеих сторон, по-русски.

Большая часть сочинений Головина — учебники. Он разработал методику обучения многим предметам и составил весьма прогрессивные и талантливые учебные руководства по физике, математике, механике, астрономии, архитектуре, которые неоднократно переиздавались. Преподавал эти дисциплины в Главном народном училище, Воспитательном обществе благородных девиц (Смольном институте), Пажеском корпусе и в Учительской семинарии, где

создал первый в России учебный физический кабинет, оборудовав его новейшими приборами и машинами.

Перу Головина принадлежит большое число переводов, самых разнообразных по тематике и жанру — от «Сокращения астрономии или звездозакония» Ж. Ж. Лаланда до древней классической драматургии.

В обязанности Головина входило составлять месячные календари, в которых содержалось немало научно-популярных сведений. Кстати сказать, видимому, все же ему, а не Эйлеру, как считает Н. М. Раскин⁹, принадлежит анонимная статья 1776 г. о методе определения грузоподъемности моста, разработанном Эйлером. Много сил положил Головин на подготовку собрания сочинений Ломоносова, публиковавшегося Академией наук в 1784—1787 гг.

Головину постоянно поручалось множество разнообразных дел. То он сам трижды в день производил измерения и составлял таблицы прибыли и убыли воды в Неве и количества осадков; то занимался обработкой информации, получаемой от астрономической экспедиции, уточнявшей географические координаты городов России, и передавал эти сведения для публикации в «Новых актах Академии». Он был также членом возглавляемой Эйлером комиссии, занимавшейся экспертизой проектов мостов через Большую Неву. Из протоколов Конференции видно, что вся тяжесть работы по изучению чертежей, описаний и расчетов, а также проведение испытаний легла на плечи Фусса и Головина.

Не перечать всех полез-

⁶ Протоколы заседаний Конференции Академии наук. 1725—1803. Т. 3. СПб, 1898. С. 223.

⁷ Юшкевич А. П. Эйлер и русская математика в XVIII в. // Тр. Ин-та истории естествозн. и техн. АН СССР. 1949. Т. 3. С. 84.

⁸ Ленинградское отделение Архива АН СССР (ЛО ААН). Разряд 1. Оп. 109. № 51. Л. 1.

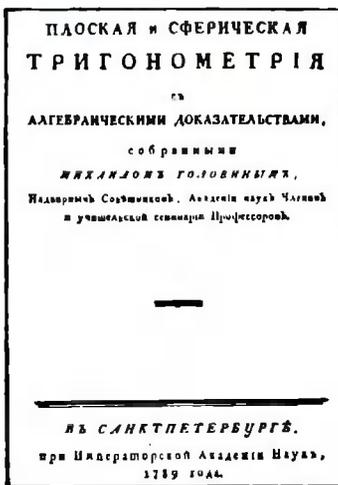
⁹ Раскин Н. М. // Известия АН СССР. Отд. техн. н. 1957. № 3. С. 38.

ных и трудоемких дел, которые успел сделать за десять лет работы в Академии этот просвещенный и передовой по своим научным взглядам человек, преданный и скромный труженик науки. Однако должной оценки его деятельности не находила, что подтверждается его прошением, поданным 6 марта 1783 г. в Академию наук:

«Высокопоставленные господа!

Все мои товарищи напминали ученому собранию о трудах своих, один только я пребыл сие время безмолвен. И так не испрашивая у вас (ибо не моей просьбе, но нашему желанию и согласию должно предшествовать) имени Академика или Профессора, и сопряженных с оным выгод, но избегая, чтобы не сочли меня за человека ничего для Академии не сделавшего, вознамерился и я с моей стороны о трудах своих донести»¹⁰. Далее шел длинный перечень дел, выполненных Головиным в Академии наук.

Академическая Конференция поддержала прошение Головина. Но директор Академии Е. Р. Дашкова отнеслась к делу иначе. Головину было предложено одно из двух: либо сразу получить денежное вознаграждение, либо через некоторое время звание профессора. Он, конечно, выбрал второе. Однако прошло три года, ничего не изменилось, а отношения с могущественной статс-дамой осложнялись. Ее демонстративная недоброжелательность сделала службу Головина в Академии невозможной и вынудила его 25 января 1786 г. подать прошение об отставке, сославшись на плохое здоровье.



Титульный лист «Тригонометрии»
М. Е. Головина.

6 февраля 1786 г. Головин делает последнюю попытку привлечь к себе внимание — пишет письмо сыну Л. Эйлера И. А. Эйлеру, неременному секретарю Академии наук. «Покорнейше прошу... представить Академии наук, что она могла бы оказать мне милость, осуществив то, о чем уже за несколько лет было вынесено твердое решение, а именно — возвести меня в звание профессора. Сие будет служить как к моей, так и к ее чести. За все время пребывания в Академии я всегда старался исполнять то, что мне было поручено, в дальнейшем я обещаю то же самое»¹¹.

13 февраля 1786 г. Дашкова, удовлетворяя «просьбу» Головина об увольнении, соизволила дать согласие на то, чтобы ему было присвоено звание почетного члена Академии¹². Ни-

каких средств к существованию это не давало. 8 июня 1790 г., на 34-м году жизни он скончался в нищете и одиночестве. Предсказание, а точнее, пожелание Ломоносова — «через учение счастлив будет» — не сбылось.

10 июня 1790 г. академик П. Б. Иноходцев, докладывая о безвременной кончине Головина, сказал, что он с 13 февраля 1786 г. числился в составе почетных членов Академии наук¹³. В официальном же списке умерших в 1790 г. членов Академии наук Головин назван только адъюнктом¹⁴.

Готовя в 1974 г. к изданию справочник «Персональный состав Академии наук (1724—1917)», составители поместили Головина в раздел «Действительные члены Академии наук», который объединил в себе, как отмечено в предисловии, ординарных и экстраординарных академиком и адъюнктов¹⁵. В основу систематизации данных положен хронологический принцип — год избрания. Головин помещен в книгу под 1776 г., а это год избрания его адъюнктом по экспериментальной физике. «Советский энциклопедический словарь» (М., 1984) ошибочно указывает: «академик с 1776 г.»

Все здесь сказанное рождает уверенность, что жизнь и творчество Головина станут когда-нибудь благодарной темой более обстоятельного научно-биографического исследования.

¹³ Там же. С. 230.

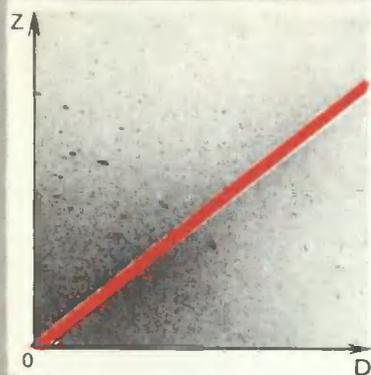
¹⁴ Nova Acta Academiae. 1790. T. VIII. P. 14.

¹⁵ Академия наук СССР. Персональный состав. Кн. 1, 1724—1917. М., 1974. С. 7.

¹¹ Там же. Оп. 2-1786. № 2. Л. 3—4.

¹² Протоколы заседаний Конференции Академии наук. Т. 4. СПб, 1911. С. 10.

¹⁰ ДО ААН. Ф. 1. Оп. 2-1783. № 3. Л. 7—7 об.



Взаимодействие излучения с веществом имеет случайный характер, так что поглощенная энергия распределяется в облученном объеме неравномерно. Зная параметры этого распределения, удастся точнее предсказать последствия облучения.

Иванов В. И. МИКРОДОЗИМЕТРИЯ

История с загадочным исчезновением и счастливым обнаружением антарктической станции Дружная-1 в течение нескольких месяцев была в центре внимания самой широкой общественности. Автор статьи провел экспедиционный сезон на этой станции накануне драматических событий.

Дюргеров М. Б. 50 ДНЕЙ НА АЙСБЕРГЕ



Анализ психологических черт мифологического плута — трикстера порождает новый взгляд на эволюцию ранних стадий речи и мышления.

Манин Ю. И. «МИФОЛОГИЧЕСКИЙ ПЛУТ» ПО ДАННЫМ ПСИХОЛОГИИ И ТЕОРИИ КУЛЬТУРЫ

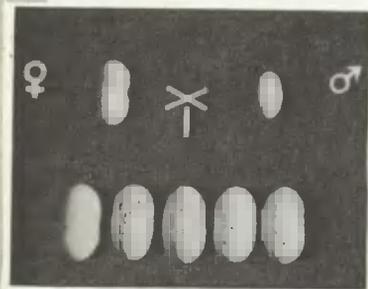
Алексей Андреевич Ляпунов был человеком энциклопедических знаний и широких интересов, но несравненное значение его личности в истории нашей науки состоит в редком даре катализатора идеи и новых научных направлений.

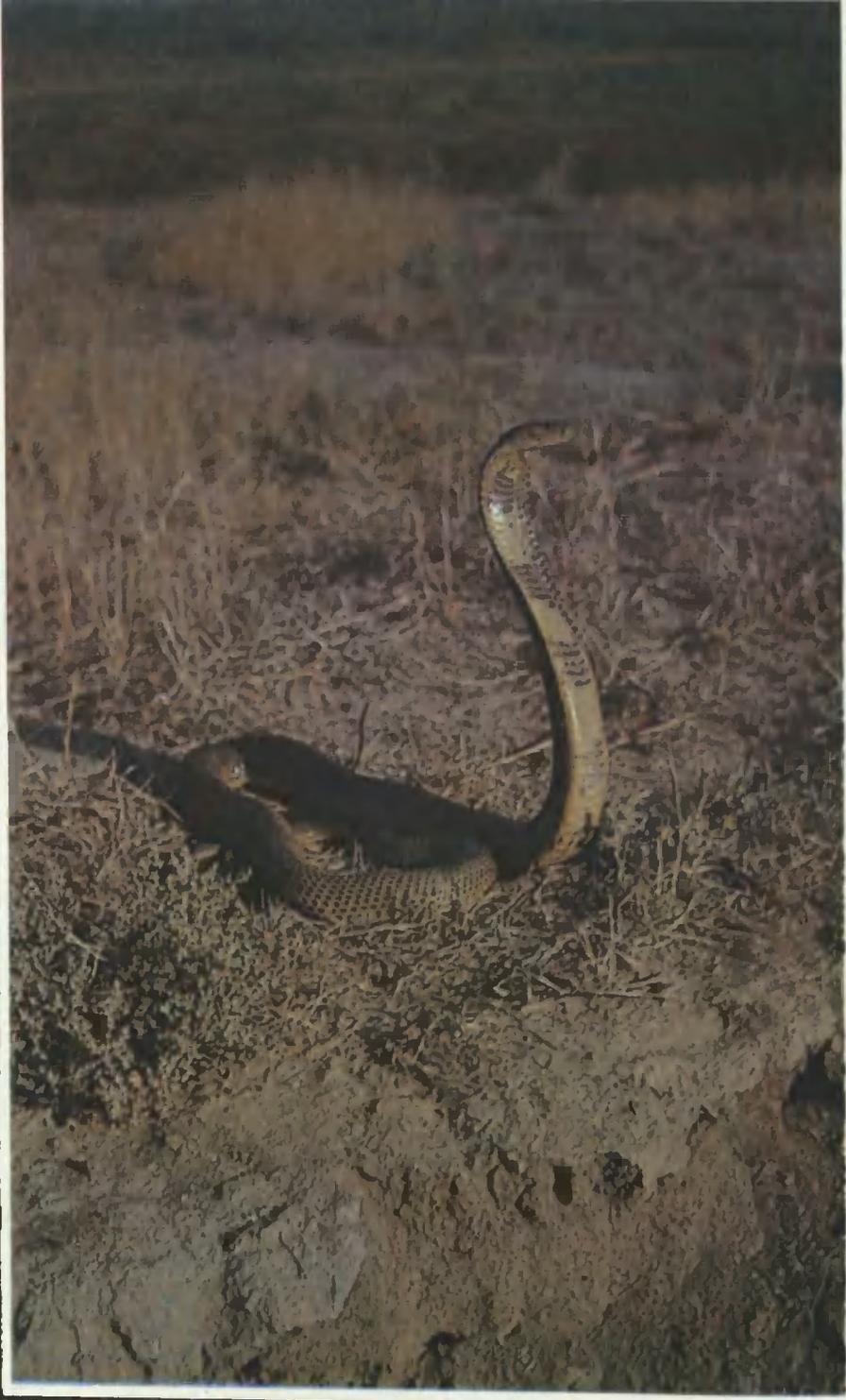
УРОКИ А. А. ЛЯПУНОВА
Ершов А. П. УЧИТЕЛЬ
Воронцов Н. Н. ОКРУЖЕНИЕ И ЛИЧНОСТЬ



Новый взгляд на природу гетерозиса открывает совершенно отличные от прежних, эффективные способы повышения продуктивности скота и урожайности культурных растений.

Струнников В. А. ПРИРОДА И ПРОБЛЕМЫ ГЕТЕРОЗИСА





Природа, 1987, № 4, 1—128.

Цена 80 к.

Индекс 70707