

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Февраль **2** 1983

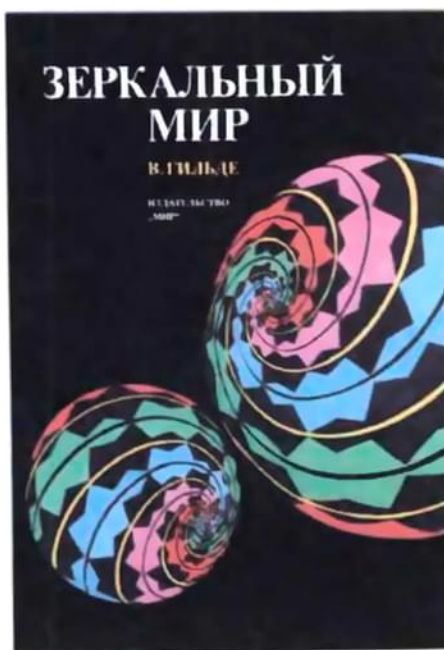
МОРСКИЕ
НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫЕ
ПЛАТФОРМЫ

Издательство МИР предлагает:

В. Гильде

ЗЕРКАЛЬНЫЙ МИР

Перевод с немецкого



**Человек — существо симметричное
Как отражает зеркало
Пестрый мир калейдоскопа
Путь к Нобелевской премии
Двух одинаковых яиц не бывает**

Приведенное здесь оглавление затрагивает лишь крохотную часть проблем, рассмотренных в книге. Мы знаем, что человек симметричен — но заменить у него, скажем, правую ногу левой нельзя, хотя такая замена, возможно, и приветствовалась бы обувщиками. Симметричны листья деревьев, детали машины, драгоценные камни, свойства симметрии определяют целебную силу многих лекарств, наши унаследованные от предков качества закодированы в симмет-

ричной спирали ДНК — и так далее, вплоть до микромира, где законы симметрии дают нам ключ к познанию тайн вещества. Диапазон величин, с которыми мы встречаемся в книге, определяется, как указывает сам автор, числом с сорока нулями — от 15^{-15} до 10^{25} . Рассмотрение сложнейших вопросов — таких, как строение материи или загадки Вселенной, перемежаются забавными рассказами и примерами, что делает книгу доступной для широкого круга читателей.

1982, 120 стр.

Цена 1 р. 80 к.



SCIENTIFIC AMERICAN

BOARD OF EDITORS

Gerard Piel
PUBLISHER

Dennis Flanagan
EDITOR

Brian P. Hayes
ASSOCIATE EDITOR

Philip Morrison
BOOK EDITOR

Francis Bello
John M. Benditt
Peter G. Brown
Michael Feirtag
Jonathan B. Piel
John Purcell
James T. Rogers
Armand Schwab, Jr.
Joseph Wisnovsky

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
PRODUCTION MANAGER

George S. Conn
GENERAL MANAGER

© 1982 by Scientific American, Inc.

Товарный знак *Scientific American*, ее текст и шрифтовое оформление являются исключительной собственностью Scientific American, Inc. и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ
З. Е. Кожанова
О. К. Кудрявов
Т. А. Румянцева

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ
Л. И. Леонова
М. М. Попова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ РЕДАКТОРЫ
Н. М. Козлов и С. А. Стулов

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Л. П. Чуркина

КОРРЕКТОР
И. И. Дериколенко

ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ,
ТИПОГРАФИКА РУССКОГО ИЗДАНИЯ,
МАКЕТ СМЕННЫХ ПОЛОС:
М. Г. Жуков

ТИТУЛЬНАЯ НАДПИСЬ,
ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ:
В. В. Ефимов

АДРЕС РЕДАКЦИИ
129820, Москва, И-110, ГСП
1-й Рижский пер., 2

ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ
286.2588

© Составление, перевод на русский язык и оформление, издательство «Мир», 1983

На обложке



МОРСКИЕ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ

На первой странице обложки изображена часть морской платформы «Статфьорд Б», установленной в Северном море (к статье Фреда С. Эллера «Современные морские платформы», с. 4). Это самая массивная конструкция, которая когда-либо доставлялась на нефтяное месторождение по морю с полной оснасткой всем необходимым эксплуатационным оборудованием. Платформа массой 1,2 млн. т установлена в водах глубиной 145 м в 160 км от берегов Норвегии. Скоро с этой платформы начнут бурить первую из 32 скважин. После завершения бурения всех скважин с платформы можно будет ежедневно добывать 24 000 м³ нефти. Подсчитано, что эта платформа обойдется владельцам (главным образом норвежской национальной нефтяной компании Statoil) в 1,8 млрд. долл. «Статфьорд Б» — это сооружение гравитационного типа: четыре его мощные бетонные колонны (три из них видны на рисунке) покоятся на сотообразной бетонной конструкции на морском дне. Все сооружение было построено на судостроительной верфи, а затем отбуксировано к месту установки.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Ted Lodigensky

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
4	Norsk Fly og Flyfoto a.s.	48	Andrew Tomko		National Museum of Natural History (в середине);
6-14	Walken Graphics	47	Patricia J. Wynne		L. L. Robins, from <i>Animals without Backbones</i> , by Ralph Buchsbaum (внизу)
15	International Software Services	48	Brigitte and Gilles Dellic (вверху); Arlette Leroi-Gourhan, Musée de l'Homme (внизу)	67	Carla Skinder
19	Technicare Corporation	49	André Glory	70	George K. Aghajanian, Yale University School of Medicine
20-25	Walken Graphics	50	Patricia J. Wynne	71-78	Alan D. Iselin
26	Technicare Corporation (вверху, в середине), <i>Journal of Computerized Axial Tomography</i> (внизу)	52	Palomar Observatory (вверху) Richard S. Simon (внизу)	81	Archives of the City of Siena
27	James M. S. Hutchison, Francis Smith and John R. Mallard (слева, в середине), Ilil Arbel (справа)	53-56	Allen Beechel	82	Gordon Moyer (вверху), Library of Congress (внизу)
28	Walken Graphics	57	Alan T. Moffet	83	Edmondo Lamalle, S. J. (слева), Cornell University Library (справа)
31-34	National Radio Astronomy Observatory	58	Palomar Observatory (вверху) Kevin J. Hussey (в середине) Kitt Peak National Observatory (внизу)	84	National Library of Naples, photograph by Giovanna De Vita (слева); National Central Library of Florence, photograph by Guido Sansoni (справа)
35-39	Ian Worpole	59	Kevin J. Hussey (слева), Allen Beechel (справа)	85-86	Ilil Arbel
43	J. Oster, Musée de l'Homme Denis Vialou, Muséum National d'Histoire Naturelle	60	National Geographic Society — Palomar Observatory Sky Survey (вверху), Kevin J. Hussey (внизу)	88-98	Jerome Kuhl
45	Andrew Tomko (вверху); Pamela B. Wandiver, Massachusetts Institute of Technology (внизу)	62-64	Tom Prentiss	103-109	Michael Goodman
		65	Tom Prentiss (вверху); Clyde F. E. Roper,		

В МИРЕ НАУКИ

Scientific American Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО ВЫХОДИТ 12 РАЗ В ГОД ИЗДАЕТСЯ С 1983 ГОДА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР», МОСКВА

№2 ФЕВРАЛЬ 1983

В номере:

СТАТЬИ

- 4 Современные морские платформы для бурения скважин и добычи нефти
Фред С. Эллерс
Создание сооружений для бурения скважин и добычи нефти в открытом море на глубине до 180 м требует смелых инженерных решений и больших капиталовложений. В статье приведено описание четырех новых морских платформ (Scientific American, April 1982, Vol.246, No.4)
- 18 ЯМР-интроскопия в медицине *Ян Л. Пикетт*
Ядерный магнитный резонанс (ЯМР) позволяет обнаружить распределение атомов в образце исследуемого материала. Этот метод может быть использован для получения изображений внутреннего строения организма человека без рентгеновских лучей (Scientific American, May 1982, Vol. 246, No.5)
- 30 Космические выбросы *Роджер Д. Блэнфорд, Митчелл С. Беджелмен, Мартин Дж. Рис*
Бурная активность в центрах многих галактик проявляется в образовании узких направленных потоков ионизованного газа. Протяженность некоторых из них — несколько световых лет, других — в миллион раз больше (Scientific American, May 1982, Vol.246, No.5)
- 42 Археологические исследования пещеры Ласко *Арлетт Леруа-Гуран*
Результаты сорокалетней работы дали много для понимания того, как были созданы знаменитые росписи пещеры Ласко периода палеолита. Они также привлекли внимание к сотням гравировок, не уступающих по значению росписям (Scientific American, June 1982, Vol.246, No.6)
- 51 Радиоинтерферометры со сверхдлинными базами в астрономии *Энтони Ридхед*
С появлением атомных стандартов частоты стало возможным синхронизировать астрономические наблюдения, выполняемые одновременно несколькими радиотелескопами, разнесенными на тысячи километров. Это позволяет достичь разрешения, не виданного в истории астрономии (Scientific American, June 1982, Vol.246, No.6)
- 62 Гигантский кальмар *Клайд Ф. Е. Роупер, Кеннет Д. Босс*
Этот глубоководный моллюск попадался на глаза — как живой, так и мертвый — настолько редко, что может показаться существом мифическим. Тем не менее уже изучено достаточно экземпляров, чтобы обсуждать его анатомию и экологию (Scientific American, April 1982, Vol.246, No.4)
- 69 Питательные вещества, влияющие на функции мозга *Ричард Дж. Вуртман*
Речь пойдет о предшественниках нейромедиаторов. Повышение концентрации этих веществ в тканях мозга усиливает сигналы от нервных клеток. В результате они действуют как лекарства и, возможно, найдут применение в медицине (Scientific American, April 1982, Vol.246, No.4)
- 80 Григорианский календарь *Гордон Мойер*
Четыреста лет назад папа римский Григорий XIII ввел современный календарь, чтобы исправить накапливавшуюся ошибку юлианского календаря и сохранить празднование пасхи весной (Scientific American, May 1982, Vol.246, No.5)

РУБРИКИ

- 3 Об авторах
17 50 и 100 лет назад
88 Магия математики
110 Книги
29, 41, 100 Наука и общество
103 Наука вокруг нас
115 Библиография

ФРЕД С. ЭЛЛЕРС («Современные морские платформы для бурения скважин и добычи нефти») является руководителем специальных разработок в отделении Pipeline Division фирмы Bechtel Incorporated. В 1940 г. он получил степень бакалавра в Государственном университете шт. Оклахома и после этого стал работать в нефтяной компании Tidewater Associated Oil Co., инспектируя нефтеочистительные предприятия. С 1942 по 1946 г. он служил в инженерных войсках тихоокеанского флота. В фирме Bechtel Эллерс работал с 1946 по 1948 г. В это время он в основном занимался разработкой нефтяных месторождений в Саудовской Аравии. В 1948 г. перешел на работу в компанию Arabian American Oil Co. (ARAMCO) и, проработав там до 1961 г., вновь вернулся в фирму Bechtel. Большинство его работ посвящено техническим вопросам добычи и транспортировки нефти. В начале 60-х годов Эллерс занимался разработкой первых крупных месторождений нефти в Абу-Дхаби, а в последние годы разработкой месторождения Аргилл в британском секторе Северного моря.

ЯН Л. ПИКЕТТ («ЯМР-интроскопия в медицине») — физик, проводит исследования в Массачусетской больнице общего типа. Получил степень бакалавра в 1974 г. в Лондонском политехническом институте, а в 1978 г. — докторскую степень в Ноттингемском университете, где до 1980 г. был научным сотрудником, работая в области техники получения изображений. В 1980 г. был приглашен в фирму Technicare (США), где занимается проблемами получения ЯМР-изображений, работая в составе научно-исследовательской группы Массачусетской больницы.

РИЧАРД ДЖ. ВУРТМАН («Питательные вещества, влияющие на функции мозга») — профессор Массачусетского технологического института, специалист по нейрогуморальной регуляции. Степень бакалавра он получил в 1956 г. в Пенсильванском университете, а степень доктора медицины в Гарвардской медицинской школе в 1960 г. С 1965 по 1967 г. Вуртман работал научным сотрудником в Национальном институте охраны психического здоровья. Затем он перешел в Массачусетский технологический институт. Помимо проблем, затронутых в публикуемой в этом номере статье, Ричард Вуртман интересуется катехоламинами, ацетилхолином, глутаматом, а также гормонами, вызывающими появление первых менструаций и овуляцию.

КЛАЙД Ф. РОУПЕР и КЕННЕТ ДЖ. БОСС («Гигантский кальмар») — зоологи, специалисты по анатомии и систематике морских животных. К. Роупер заведует кафедрой зоологии беспозвоночных в Национальном музее естественной истории в Смитсоновском институте. В 1959 г. он окончил Трансильванский университет со степенью бакалавра искусств, после этого учился в Университете в Майами, где он получил магистерскую, а затем и докторскую степень. В 1966 г. Роупер поступил на службу в Национальный музей, в 1972 г. он получил должность хранителя и в 1980 г. стал заведующим кафедрой зоологии беспозвоночных. К. Босс — профессор биологии Гарвардского университета, хранитель в Музее сравнительной зоологии при Гарвардском колледже. Его специальность — малакология, т.е. наука о моллюсках. В 1957 г. он получил степень бакалавра искусств в Колледже Центрального Мичигана, в 1959 г. — степень магистра естественных наук в Мичиганском университете и в 1963 г. — степень доктора философии в Гарварде. После этого Босс работал в лаборатории Отдела рыбного хозяйства Смитсоновского института. В 1966 г. он поступил помощником хранителя в Музей сравнительной зоологии. В 1970 г. Босс стал профессором биологии.

АРЛЕТТ ЛЕРУА-ГУРАН («Археологические исследования пещеры Ласко») — специалист по Древнему Востоку; руководит лабораторией палинологии (палинологи изучают споры и пыльцу растений) в парижском Музее человека. Окончила Эколь дю Лувр, где получила ученую степень, а затем два года провела в Японии вместе с мужем — антропологом Андре Леруа-Гураном. По возвращении во Францию Арлетт Леруа-Гуран в течение трех лет вела исследовательскую работу в Музее естественной истории: изучала возможности применения достижений ботаники в археологических исследованиях. В Музее человека Арлетт Леруа-Гуран работает над проблемой влияния климатических и биологических условий последних 100 000 лет на развитие человеческих цивилизаций в Европе.

ГОРДОН МОЙЕР («Григорианский календарь») — специализируется в области истории науки, особо интересуется принципами составления календарей. Он получил степень бакалавра по английской филологии в Мэрилендском университете. До 1980 г. Г. Мойер работал консультантом по вопросам календаря и хронологии астрономических явлений в планетарии им. Дэ-

виса Мэрилендской академии наук. В 1980 г. он переехал во Франкфурт-на-Майне (ФРГ), где по приглашению покойного профессора В. Хартнера читал лекции о Григорианском календаре в Институте истории науки при Университете им. Гёте. Г. Мойер также опубликовал несколько своих стихотворений в журналах и антологиях.

ЭНТОНИ К. С. РИДХЕД («Радиоинтерферометры со сверхдлинными базами в астрономии») — профессор астрономии Калифорнийского технологического института и директор радиообсерватории Оуэнс Валли. Уроженец Южной Африки, он обучался в университете г. Витватерстранда и в 1968 г. получил степень бакалавра. В 1972 г. он защитил докторскую диссертацию по философии в Кембриджском университете. С 1972 по 1977 г. Э. Ридхед выполнял научную работу по программе, финансируемой Лондонским королевским обществом, сначала в Кембриджском университете, а затем в Калифорнийском технологическом институте. В 1977 г. Э. Ридхед был приглашен на преподавательскую работу в Калифорнийский технологический институт, и с 1981 г. он совмещает преподавание на кафедре с исследовательской деятельностью в радиообсерватории.

РОДЖЕР Д. БЛЭНДФОРД, МИТЧЕЛЛ С. БЕДЖЕЛМЕН и МАРТИН ДЖ. РИС («Космические выбросы») — астрофизики, занимаются изучением радиосточников за пределами нашей Галактики. Р. Блэндфорд — англичанин, учился в Кембридже, где получил степени бакалавра (1970 г.), магистра и доктора (1974 г.). В 1974 — 1975 г. — сотрудник научно-исследовательского института при Принстонском университете (США). В 1976 г. Р. Блэндфорд перешел на работу в Калифорнийский технологический институт ассистентом на кафедре теоретической физики. М. Беджелмен работает в постдокторантуре Калифорнийского университета в Беркли. Получил степени бакалавра и магистра в Гарвардском университете в 1974 г., а степень доктора — в Кембриджском университете в 1978 г.; с 1979 г. работает в Беркли, а также ведет научные исследования в Кембриджском университете. М. Рис, как и Блэндфорд, уроженец Англии, является профессором астрономии в Кембридже и там же директором Астрономического института. Получил в этом университете степени бакалавра (1963 г.) и доктора (1967 г.). Читает лекции и ведет исследовательскую работу в Калифорнийском технологическом институте и Научно-исследовательском институте при Гарвардском университете. До 1973 г. он также преподавал в Суссекском университете в Англии.



МОРСКАЯ ПЛАТФОРМА «СТАТФЬОРД Б» во время буксировки из фьорда Ставангер (Норвегия) в августе 1981 г. Это сооружение, водоизмещение которого при буксировке составляло 899 000 т, установлено на глубине 145 м на нефтяном месторождении Статфьорд в 160 км от берегов Норвегии. Она сконструирована так, чтобы выдерживать натиск штормов в Северном море только за счет своей колоссаль-

ной массы. Платформа «Статфьорд Б» оснащена жилыми помещениями для 200 человек бригады в восьмиэтажном центральном здании с двумя семиэтажными боковыми корпусами. На постройку платформы стоимостью 1,8 млрд. долл. было затрачено более 11 000 человеко-лет. Платформа рассчитана на суточную добычу нефти 24 000 м³.

Современные морские платформы для бурения скважин и добычи нефти

Создание сооружений для бурения скважин и добычи нефти в открытом море на глубине до 180 м, способных противостоять волнам высотой 30 м, требует смелых инженерных решений и больших капиталовложений. В статье приведено описание четырех новых морских платформ

ФРЕД С.ЭЛЛЕРС

ЗА ПОСЛЕДНЕЕ десятилетие морские платформы по конструкции, размерам и стоимости коренным образом изменились. Сегодня около 2 млн. м³ нефти в сутки (примерно 22 % мировой добычи) поступает через скважины на платформы, находящиеся в море, причем многие из них расположены за пределами видимости с берега. Первые морские платформы сооружались главным образом в довольно мелких водах: так было в Мексиканском заливе или в озере Маракайбо в Венесуэле. Их создание не вызвало больших технических затруднений. С открытием крупных нефтяных месторождений в Северном море платформы пришлось устанавливать в водах глубиной до 150 м и проектировать их с учетом воздействия волны высотой 30 м.

Одно из таких гигантских сооружений высотой 270 м и водоизмещением 899 000 т было смонтировано в 1981 г. Речь идет о платформе «Статфьорд Б». Она опирается на морское дно в водах глубиной 145 м на расстоянии 160 км от берегов Норвегии. Вскоре с нее будет пробурена первая из 32 скважин, которые обеспечат ежесуточную добычу 24 000 м³ нефти из продуктивного пласта. Подсчитано, что платформа обойдется владельцам (главным из которых является норвежская национальная компания Statoil) в 1,8 млрд. долл. Для создания такого колоссального сооружения были разработаны полупогружные баржи с деррик-кранами, способными поднимать грузы весом 5000 т (вес двух эскадренных миноносцев времен второй мировой войны) на высоту примерно 60 м над поверхностью воды, и это при работе в открытом море.

Чтобы проиллюстрировать достижения современной техники, позволяющей возводить морские сооружения на еще больших глубинах в суровых морских условиях, остановимся подробнее на описании платформы «Стат-

фьорд Б», а также платформ трех других типов, которые расширяют возможности разработки новых морских месторождений. К трем другим платформам относятся «Магнус» в британском секторе Северного моря, «Хаттон» в том же секторе и «Блок 280» в Мексиканском заливе. Платформа «Магнус», самая обычная из всех четырех, имеет четыре стальные колонны, закрепленные на морском дне с помощью свай. Плавающая платформа «Хаттон» удерживается на месте четырьмя вертикальными стальными трубами, прикрепленными по углам платформы и постоянно находящимися в натянутом состоянии вне зависимости от погодных и эксплуатационных условий. Платформу «Блок 280» можно представить себе как башню с растяжками — это стройная стальная конструкция, удерживаемая в вертикальном положении в водах глубиной 300 м с помощью веерообразной системы из 20 якорных канатов. Платформу «Статфьорд Б» предполагалось ввести в эксплуатацию в апреле 1982 г., а остальные три планируется установить в течение ближайших двух лет.

ПОИСКИ месторождений нефти и газа в глубоководных районах Северного моря и Мексиканского залива первоначально велись с помощью плавучих буровых устройств: буровых судов и полупогружных буровых установок. После того как были найдены месторождения с промышленными запасами нефти и газа, перед нефтяными компаниями встала проблема проектирования стационарных платформ, обеспечивающих оптимальную добычу нефти и газа на протяжении всего срока разработки месторождений, который во многих случаях превышает 20 лет. С таких платформ можно бурить наклонные скважины и вскрывать нефтега-

зоносный пласт на площади около 10 км². В зависимости от плотности продуктивных пород с одной платформы можно пробурить более 30 нефтяных и газовых скважин. С нее же можно бурить вспомогательные скважины для нагнетания в пласт попутного газа или воды с целью поддержания пластового давления.

Морские платформы состоят из двух основных частей: одной или нескольких палуб с буровым и эксплуатационным оборудованием (обычно эта часть называется надводным сооружением) и несущей конструкции с основаниями. На палубах размещаются буровые установки, оборудование для предварительной очистки нефти и газа, перекачивающие насосы, а также подсобное хозяйство и жилые помещения примерно для 300 человек обслуживающего персонала. В настоящее время все крупные платформы оборудованы посадочными площадками для вертолетов. После предварительной очистки нефть либо сразу перекачивается на берег по подводному трубопроводу, либо поступает в хранилище, откуда загружается в танкеры. В последнем случае морские платформы обычно имеют нефтехранилища достаточной вместимости, чтобы производить налив танкеров с перерывами без необходимости снижать дебиты скважин.

Надводные сооружения четырех описываемых платформ весят от 16 до 40 тысяч тонн и имеют площадь от 7 до 37 тысяч м², значительная часть которой отводится под жилые помещения для персонала. Эти массивные надстройки должны располагаться выше гребня самой высокой волны, вероятность появления которой — раз в 100 лет. Это значит, что в условиях Северного моря основание самой нижней палубы платформы должно находиться на высоте не менее 25 м над средним уровнем воды.

Вторая часть платформы — несущая конструкция, и именно ее создание потребовало наибольшей изобретательности, поскольку на нее воздействуют ветры, волны, течения, а иногда и землетрясения. Основными факторами внешнего воздействия, которые необходимо принимать в расчет, обычно

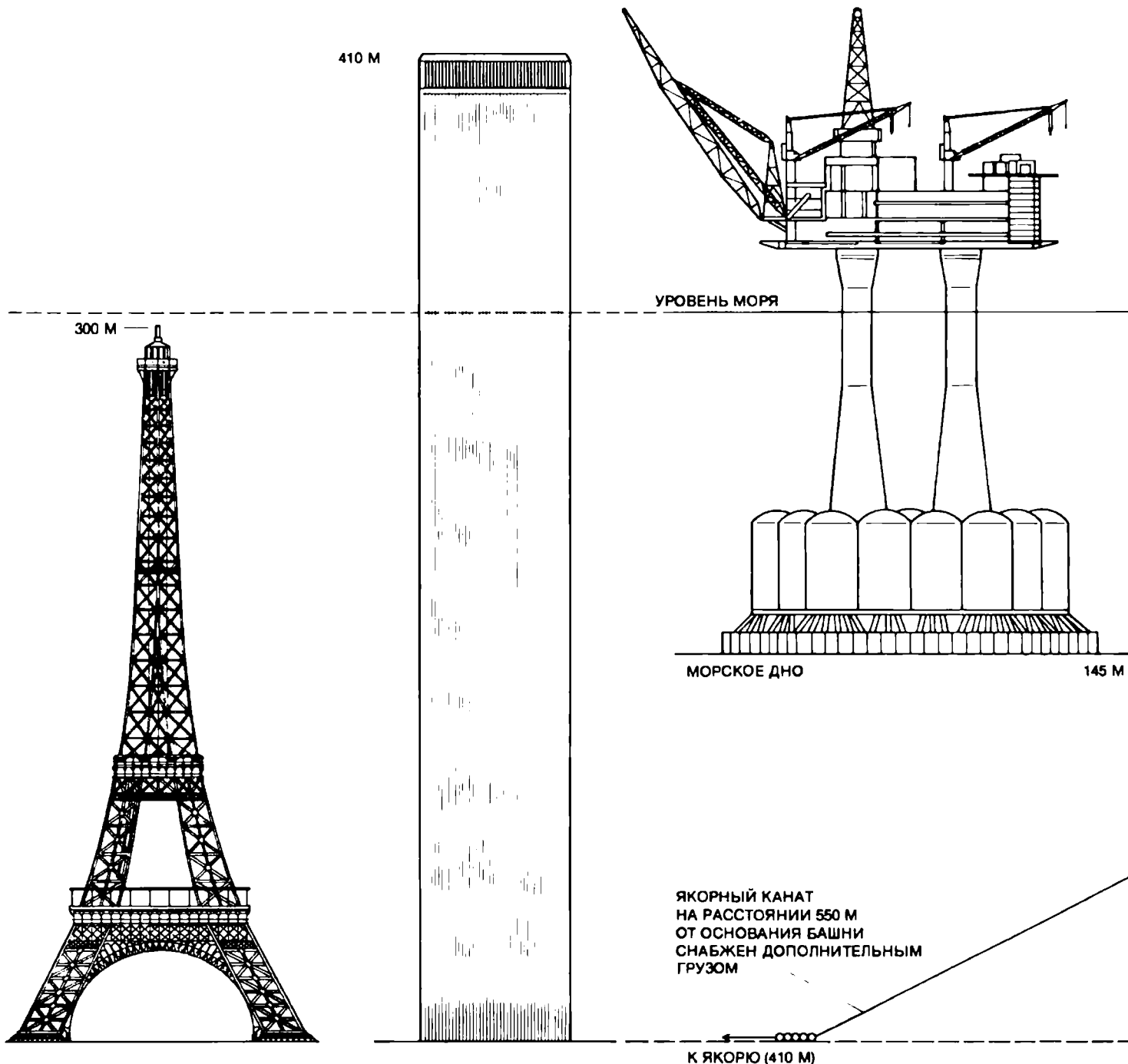
считаются ударные волновые нагрузки. Заслуживающим внимания исключением являются конструкции, которые будут сооружены вдоль западного побережья США, где наибольшее значение имеют сейсмические силы. Решающую роль при разработке несущих конструкций играют два фактора. Пер-

вый из них — наиболее высокая волна, которая может появиться один раз в течение всего срока службы сооружения. Эта вероятностная волна определяет максимальную прочность конструкции. Вторым фактором является кумулятивное воздействие в течение года нескольких миллионов волн, пери-

ЭЙФЕЛЕВА БАШНЯ
(ПАРИЖ)

ЦЕНТР МИРОВОЙ ТОРГОВЛИ
(НЬЮ-ЙОРК)

БЕТОННАЯ ПЛАТФОРМА «СТАТФЬОРД Б»
ГРАВИТАЦИОННОГО ТИПА
(НОРВЕГИЯ)



СОВРЕМЕННЫЕ МОРСКИЕ ПЛАТФОРМЫ в сравнении с двумя наземными сооружениями — Эйфелевой башней, построенной в 1889 г., и одной из башен Центра мировой торговли в Нью-Йорке. С точки зрения условий окружающей среды это сравнение весьма неравноценно. Наземные здания испытывают поперечные нагрузки, не превышающие по силе напор сильного ветра. Морские башни должны выдерживать удары волн высотой до 30 м. Три из показанных здесь платформ предназначены для установки на соседних нефтяных месторождениях в Северном море. Платформа «Статфьорд Б» опирается на четыре массивные бетонные колонны, в основании которых сделаны резервуары для

хранения нефти. Так как устойчивость платформы обусловлена только массой, ее называют платформой гравитационного типа. Начиная с 1970 г. построено более 20 таких сооружений. Несущая конструкция платформы «Магнус», известная под названием каркасно-свайной, весит 41 000 т и на сегодняшний день является самым тяжелым сооружением этого типа. Две из четырех опор оснащены встроенными камерами плавучести, которые позволяют отбуксировать ее к месту установки в британском секторе Северного моря примерно в 400 км к северо-востоку от берегов Шотландии и в 40 км к северу от платформы «Статфьорд Б», где она будет закреплена на дне с помощью свай. Платформа

од которых соответствует периоду собственных колебаний платформы. Хотя подобные резонансные силы сами по себе и невелики, они динамически усиливаются самим сооружением и поэтому определяют усталостный срок службы платформы.

Наконец, несущая конструкция дол-

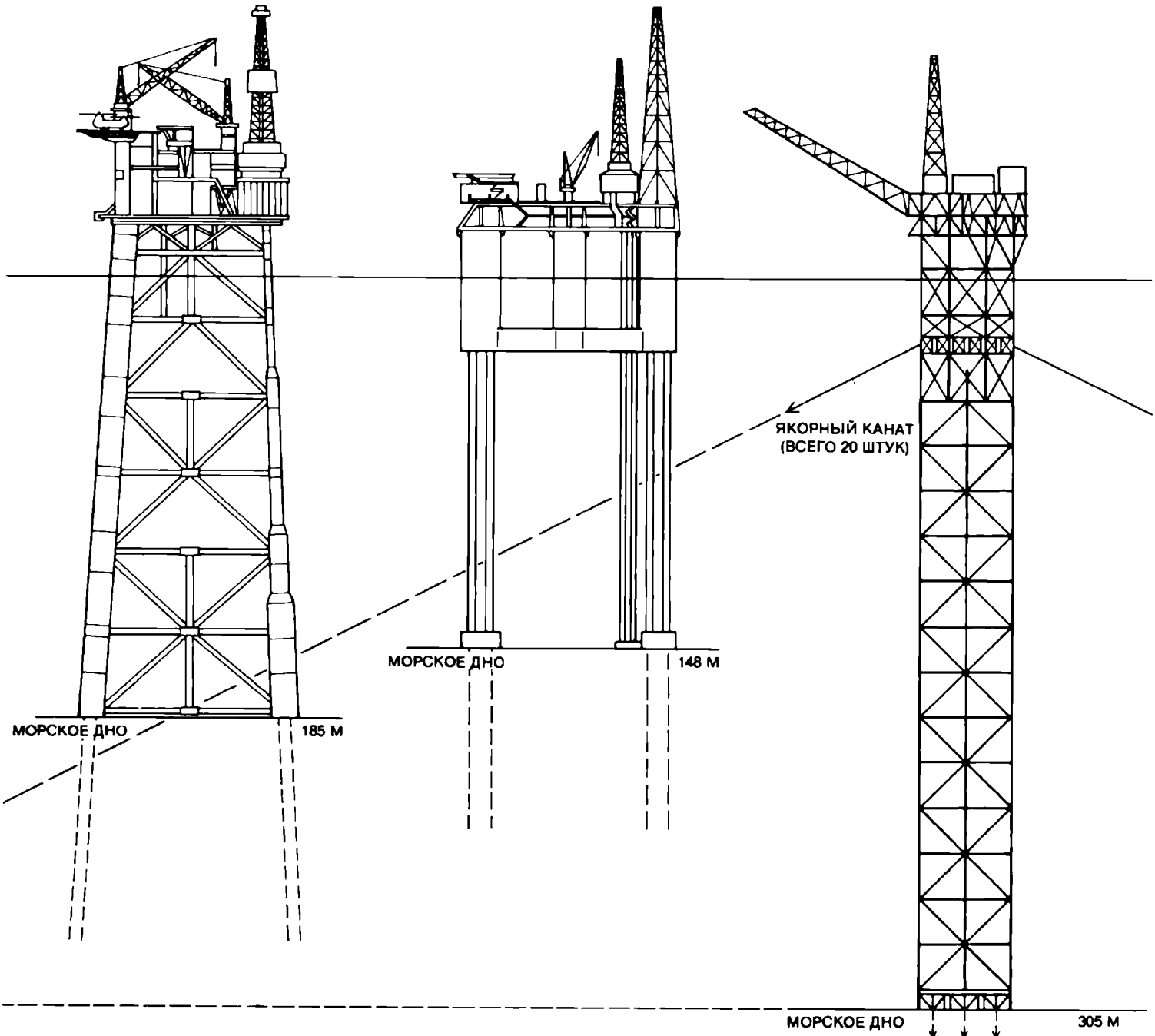
жна иметь надежное основание. В мягких грунтах на морском дне, возможно, придется забивать сваи на глубину более 150 м. Поэтому общая длина свай, включая подбабок между сваями и молотом над водой, может превысить 300 м, а вес такого узла может составить несколько сотен тонн.

ПЕРВЫЕ стационарные сооружения для бурения скважин и добычи нефти и газа в открытом море были построены в 1947 г. у берегов шт. Луизиана. Эти первые морские платформы состояли из ряда стальных ферм, которые изготавливали на берегу, транспортировали на плоскодонных баржах и устанавли-

СТАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА «МАГНУС» С КАРКАСНО-СВАЙНОЙ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИЕЙ (ВЕЛИКОБРИТАНИЯ)

ПЛАТФОРМА «ХАТТОН» С НАТЯЖНЫМИ ОПОРАМИ (ВЕЛИКОБРИТАНИЯ)

БАШЕННАЯ ПЛАТФОРМА «БЛОК 280» С ЯКОРНЫМИ РАСТЯЖКАМИ (США)



«Хаттон» — сооружение с натяжными опорами — состоит из плавучего корпуса, соединяемого с фундаментами в грунте тонкими стальными трубами по всем четырем углам сооружения. В 1983 г. платформа «Хаттон» будет отбуксирована на месторождение Хаттон в британском секторе Северного моря, расположенное приблизительно в 25 км к юго-западу от платформы «Статфьорд Б». Четвертая платформа — это башенное сооружение с якорными растяжками. Она предназначена для установки на месторождении Блок 280 в Мексиканском заливе в водах глубиной 305 м. Платформа будет удерживаться веерообразной системой из 20 стальных якорных канатов около 1 км каждый. Башня

вместе с якорными канатами весит 43 000 т, то есть несколько больше, чем каркасно-свайная несущая конструкция платформы «Магнус», и более чем вчетверо превосходит по высоте Эйфелеву башню. Платформа «Магнус» — самое дорогостоящее из всех четырех сооружений. Ее сметная стоимость около 2,6 млрд. долл., что в 2,5 раза превышает стоимость всего комплекса Центра мировой торговли, состоящего из двух десятиэтажных башен и четырех зданий меньших размеров. Собственный вес каждой башни Центра мировой торговли равен 325 000 т, что составляет чуть больше трети водоизмещения платформы «Статфьорд Б» при ее буксировке.

вали на место с помощью плавучих деррик-кранов. Затем их закрепляли на морском дне сваями, которые забивали через стальные направляющие патрубки, входящие в конструкцию ферм. Такие несущие конструкции получили название каркасно-свайных.

С 1947 г. и до середины 70-х годов почти все морские нефтяные платформы имели каркасно-свайные несущие конструкции. Накопив опыт, строительные компании стали сооружать платформы в более глубоких водах, используя более крупные каркасно-свайные несущие конструкции. Эти конструкции изготавливались в доках, доступных для транспортно-монтажных барж. До начала разработки нефтяных месторождений в Северном море подавляющее большинство портовых мастерских для изготовления каркасно-свайных несущих конструкций было сосредоточено вдоль побережья Мексиканского залива на территории США. Каждая секция конструкции собиралась в виде плоской панели на земле, а затем ставилась в вертикальное положение двумя гусеничными кранами с длинными стрелами, которые медленно передвигались бок о бок по мере подъема панели. После этого панели сваривались в единую конструкцию, которая спускалась на полозьях на специальную транспортно-монтажную баржу, транспортировалась к месту установки в океане и спускалась в воду с помощью двух балансиров. Конструкция обладала достаточной плавучестью, позволявшей ей оставаться в горизонтальном положении у поверхности воды. Путем заполнения системы водой в определенной последовательности конструкцию переводили в вертикальное положение и ставили на дно, после чего закрепляли на месте сваями.

Каркасно-свайные несущие конструкции можно устанавливать на место с транспортно-монтажной баржи также в районах с мелкими прибрежными водами, поскольку даже самые крупные баржи имеют умеренную осадку. В мировой практике транспортировка массивных каркасно-свайных несущих конструкций осуществлялась с помощью барж, которые по длине были значительно короче перевозимых сооружений. Поэтому для безопасности последние приваривались к барже.

Отсутствие достаточно крупных барж, способных нести свисающие палубные грузы при транспортировке каркасно-свайных несущих конструкций в открытом море, было одним из очевидных ограничений описанного метода сооружения морских платформ. Эта проблема, однако, стала насущной только после открытия мощных нефтеносных пластов в Северном море. К 1972 г. в норвежском и британском секторах этого моря были найдены крупные месторождения с извлекаемыми запасами нефти более

80 млн. м³. Специалисты нефтяной промышленности пошли по пути простого заимствования практики разработки нефтяных месторождений в Мексиканском заливе. Однако вскоре стало ясно, что условия Северного моря и Мексиканского залива существенно различны.

После этого технология сооружения морских платформ стала развиваться по двум все более расходящимся направлениям. При проектировании платформ для Мексиканского залива можно рассчитывать на продолжительные периоды штиля, необходимые для закрепления платформы на морском дне и монтажа надводного оборудования. Более того, в этом районе сами платформы могут быть сравнительно небольшими, поскольку нефтяные пласты здесь довольно маломощны, а цены на нефть до недавнего времени не оправдывали больших капиталовложений. С другой стороны, создание платформ для разработки огромных нефтяных пластов в Северном море, где волны высотой 30 м не редкость, потребовало принципиально новых решений.

ТАКИМ образом, самые большие различия в принципах сооружения морских платформ у берегов Америки и в Северном море обусловлены факторами окружающей среды. На одной платформе в Северном море может находиться до 300 человек без каких-либо надежных средств эвакуации на случай сильного шторма, так как ураганные ветры и большие волны здесь довольно обычны, и все платформы для этого района проектируются с учетом того, что рабочая бригада не покинет их даже в самый жестокий шторм. Напротив, в Мексиканском заливе ведется тщательное наблюдение за ураганами и бригады снимаются с платформ еще до того, как положение станет угрожающим.

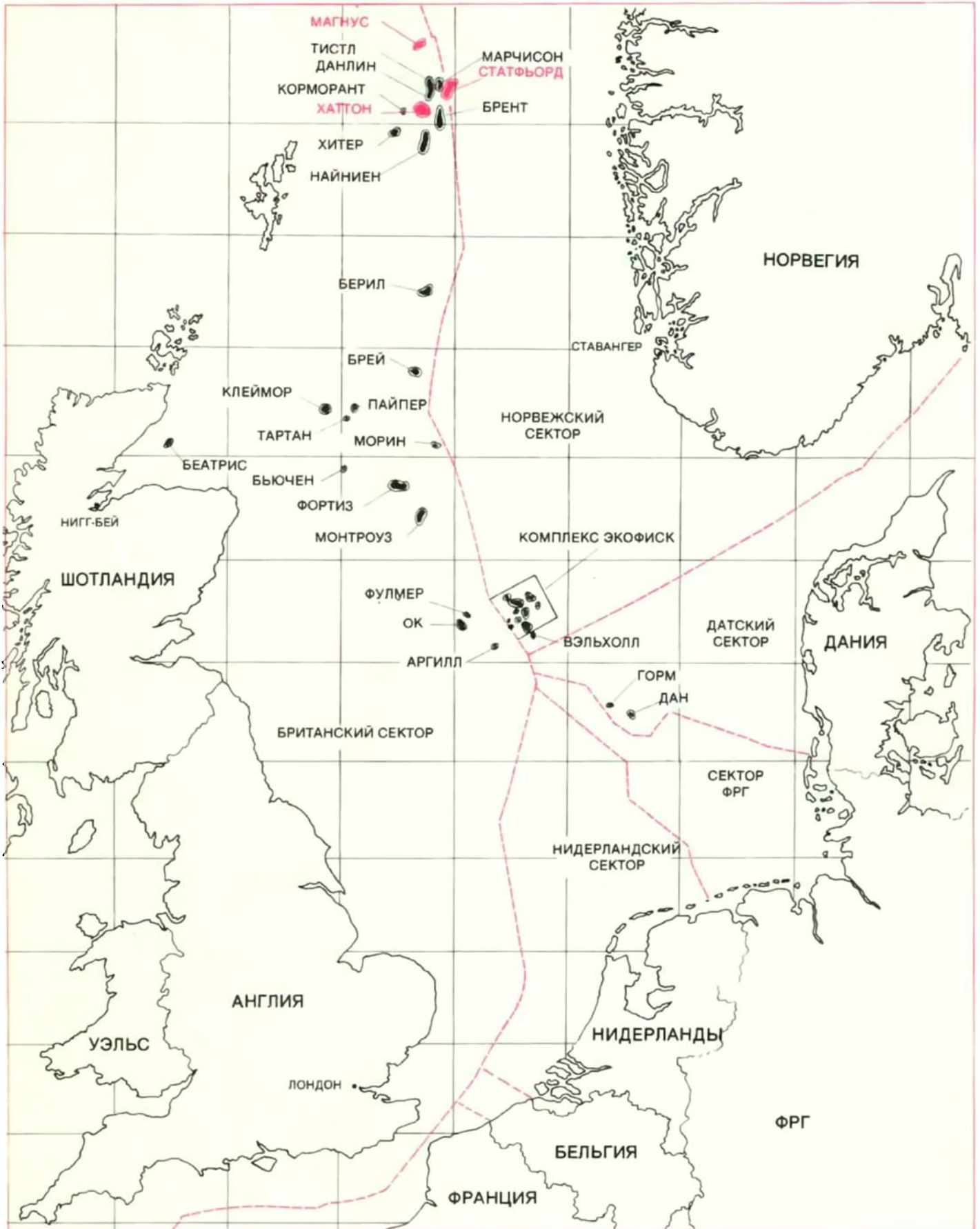
В настоящее время проектированием, сооружением и эксплуатацией морских платформ занимается около 150 000 человек. На проведение этих работ во всем мире расходуется более 15 млрд. долл. в год, причем, по большинству прогнозов, в дальнейшем затраты будут ежегодно возрастать более чем на 20 %. В освоении морских месторождений участвуют специалисты не только таких традиционных отраслей, как гражданское строительство, машиностроение, химическая технология, электротехника и кораблестроение, но и специалисты новых профессий, например гидроакустики, морские геологи и расчетчики нелинейного поведения неупругих систем. О всем многообразии используемых при проектировании морских конструкций научных и технических дисциплин можно судить хотя бы по широте тематики Ежегодной конференции по

проблемам разработки морских месторождений, организаторами которой являются 11 крупнейших международных научно-технических обществ, объединяющих более 400 000 специалистов. Ежегодно в работе этой конференции участвует около 85 000 человек. В течение последнего десятилетия было опубликовано несколько тысяч статей по вопросам, связанным с морскими платформами.

Три из четырех платформ, описываемых ниже, будут сооружены в Северном море довольно близко одна от другой. В основу конструкции каждой из них заложены совершенно разные принципы, однако все они должны отвечать одинаковым эксплуатационным требованиям. Условия окружающей среды для всех них примерно идентичны, за исключением глубины вод и особенностей морского грунта в месте установки. Вообще говоря, в каждой точке можно было бы установить любую из трех платформ. Выбор конкретной конструкции в каждом случае определялся в основном методами изготовления платформы, ее транспортировки к месту установки и закрепления на морском дне. Поэтому эти три платформы рассматриваются главным образом с точки зрения их конструктивных решений.

Первое из трех сооружений, платформа «Магнус», предназначенная для установки в британском секторе Северного моря, в настоящее время строится компанией British Petroleum. Это самая тяжелая каркасно-свайная конструкция из всех проектировавшихся до сих пор. Ее разработка — новый этап в развитии традиционной конструкции. При стоимости 2,6 млрд. долл. она будет самой дорогостоящей из всех четырех описываемых здесь платформ.

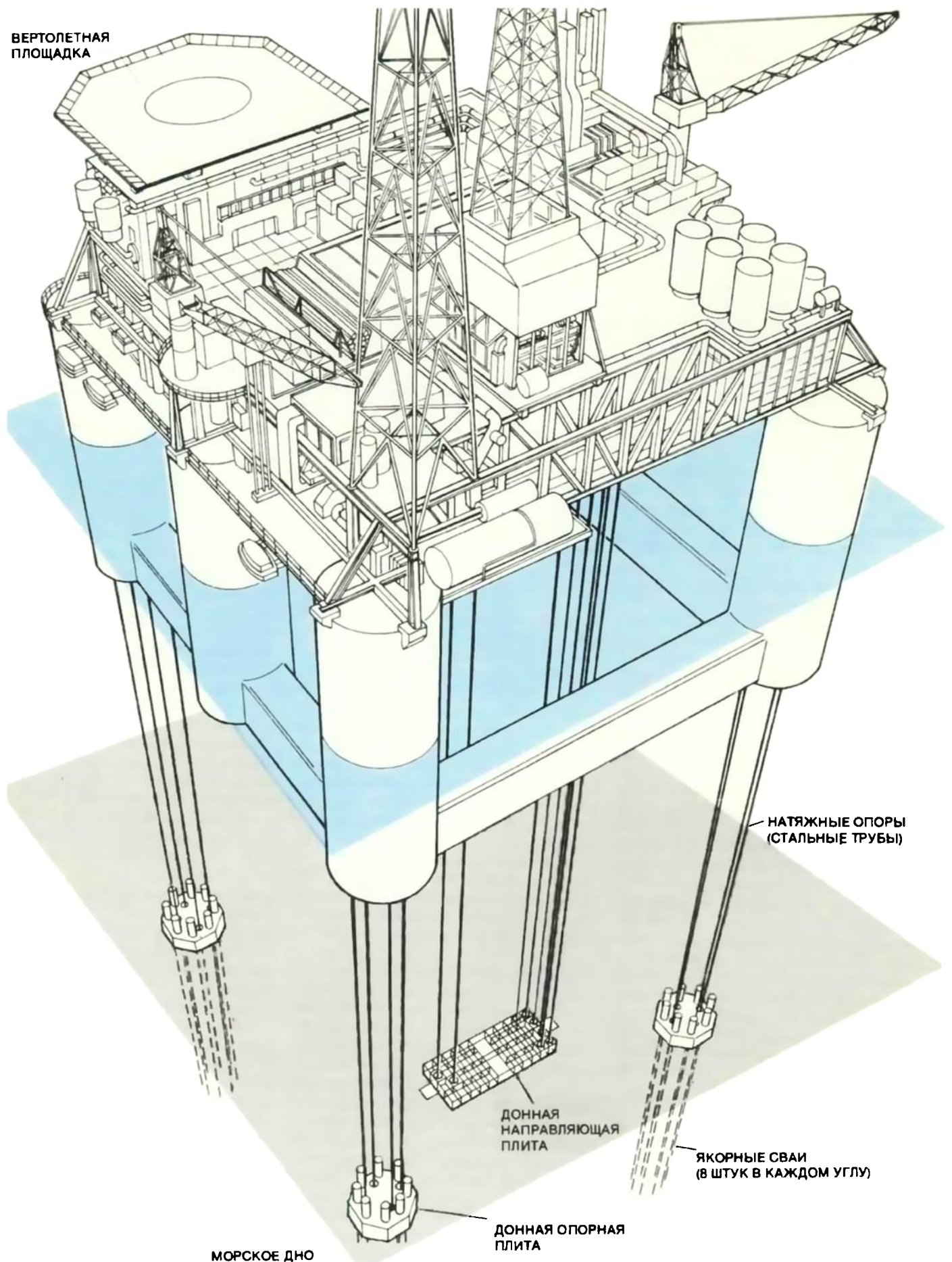
Вес каркасно-свайной несущей конструкции платформы «Магнус» (41 000 т) превышает грузоподъемность ныне существующих транспортно-монтажных барж, поэтому ее проектировали так, чтобы она обладала собственной плавучестью. Две ее угловые опоры имеют гораздо большие размеры, чем две другие; они оснащены встроенными камерами плавучести, которые позволяют конструкции плавать на боку с умеренной осадкой, так что большая ее часть находится над водой. Эта конструкция в настоящее время изготавливается в положении «лежа на боку» в специальном сухом доке в бухте Нигг-Бей (Шотландия). После сборки несущей конструкции сухой док будет заполнен, а конструкция отбуксирована на месторождение Магнус с помощью нескольких буксировщиков. В месте установки, которое находится в 400 км к северо-востоку от берегов Шотландии, плавучие опоры будут заполнены водой, в результате чего конструкция примет нормальное вертикальное положение. Затем несущая конструкция будет посажена на «грязе-



ОСНОВНЫЕ НЕФТЯНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В СЕВЕРНОМ МОРЕ находятся в британском и норвежском секторах. В британском секторе еще в 1965 г. был найден газ. Через 4 года открыли первое крупное нефтяное месторождение Экофиск в норвежском секторе. К 1972 г. как в британском, так и в норвежском секторах были обнаружены крупные нефтяные месторождения с извлекаемыми запасами нефти более 80 млн. м³. В настоящее время 21 из 27 показанных на карте месторождений ежедневно дают более 384 000 м³ не-

фти. Три месторождения, на которых будут установлены платформы, показанные на с. 6 и 7, находятся на расстоянии менее 40 км друг от друга в районе 61-го градуса северной широты. Месторождение Статфьорд стало первым, на котором была начата добыча нефти (в ноябре 1979 г.) с прототипа платформы «Статфьорд Б», имевшего меньшие размеры. Начало добычи с платформы «Магнус» запланировано на 1983 г. Платформа «Хаттон» с натяжными опорами будет введена в эксплуатацию в 1984 г.

ВЕРТОЛЕТНАЯ
ПЛОЩАДКА



МОРСКАЯ ПЛАТФОРМА «ХАТТОН» с натяжными опорами. Надводное оборудование платформы установлено на плавучем корпусе. Корпус присоединен к фундаментам в грунте с помощью четырех групп сильно натянутых опор из стальных труб. Натяжные опоры всегда остаются под напряжением, даже в случае поладания корпуса платформы во впадину самой высокой волны, вероятность появления

которой составляет 1 раз в 100 лет. После установки платформы скважины будут буриться через морской стояк и направляющую плиту на дне моря. В самые сильные штормы корпус платформы будет отклоняться от вертикали максимум на 24 м, оставаясь при этом в горизонтальной плоскости. Платформа «Хаттон» разрабатывается компанией Сопосо.

вую подушку» (специально сконструированную донную опорную плиту), которая предотвратит погружение конструкции в грунт.

После установки на дно несущая конструкция будет выровнена и в каждом ее углу забьют по девять основных свай. Сваи предполагается сваривать из стальных труб. На каждой угловой колонне конструкции на равном расстоянии друг от друга предусматриваются направляющие патрубки, позволяющие забивать сваи с поверхности, а не под водой. При забивке с поверхности между молотом и свайей необходимо иметь подбабок, который будет наращиваться по мере забивки сваи на глубину примерно 90 м. В процессе забивки свая пройдет через сальниковое уплотнение, которое после забивки сваи на заданную глубину будет расширяться и герметизировать пространство между свайей и направляющим патрубком. Затем пространство между каждой свайей и патрубком заполнят цементным раствором.

НАДВОДНОЕ сооружение с оборудованием, необходимым для бурения скважин и предварительной очистки добываемой нефти, и жилыми помещениями для 200 человек персонала предполагается собирать из 14 модулей. Последние будут доставляться к установленной каркасно-свайной несущей конструкции и монтироваться на ней с помощью одной из полупогружных барж с деррик-краном грузоподъемностью 3000 т, которые эксплуатируются в Северном море. Некоторые из модулей будут весить более 2000 т, и их нужно будет точно установить на место на высоте 46 м над уровнем моря. В ходе проектирования и изготовления модулей необходимо строго контролировать их вес и размеры, с тем чтобы они могли быть безопасно и быстро установлены на место.

Может сложиться впечатление, что деррик-кран номинальной грузоподъемностью 3000 т легко справится с установкой модуля весом 2000 т. Однако это не так. Дело в том, что подъемный кран имеет номинальную грузоподъемность, когда стрела находится в поднятом положении, а при установке модулей в центре палубы надводной части морской платформы стрела деррик-крана должна сильно отклоняться от этого положения. Более того, необходимо иметь кран с большим запасом грузоподъемности на случай непредвиденных изменений веса модулей, а также различных осложнений, которые могут повлечь под угрозой успех монтажных работ. Так как для установки надводного оборудования требуется довольно спокойное море, монтажные работы запланированы на определенное погодное «окно» примерно на четыре года вперед. Поэтому графиком работ определяются абсо-

лютно жесткие сроки, в которые должно уложиться сооружение всего объекта.

После установки модулей на место потребуются еще миллионы человеко-часов для пуско-наладочных работ, прежде чем можно будет приступить к бурению. Численность рабочего персонала, необходимого для этих работ, намного превышает вместимость жилых помещений на платформе, рассчитанных на 200 человек. Дополнительные помещения будут расположены в одном или нескольких «плавающих отелях», поставленных на якорь рядом с платформой. Такие отели обычно создают, оснащая полупогружные буровые установки жилыми помещениями, киосками и т.д. Их предполагается поставить на якорь так близко, что на платформу «Магнус» можно будет перейти по сходням.

После окончания монтажа оборудования с платформы «Магнус» будет пробурено 15 скважин. Путем бурения скважин с углом отклонения ствола от вертикали до 55 градусов можно будет вскрыть участки нефтеносного пласта, расположенные на расстоянии почти 3,5 км от платформы. Еще до установки платформы на месторождении будет пробурено шесть скважин, которые вскроют пласты в точках, находящихся от платформы на таком расстоянии, что их невозможно достичь наклонным бурением. В дальнейшем эти скважины будут соединены с платформой подводными трубопроводами. Добыча нефти на платформе «Магнус» достигнет проектной мощности в 1985 г., т.е. почти через 12 лет после открытия месторождения. Вполне возможно, что платформа «Магнус» так и останется самым крупным морским сооружением с каркасно-свайной несущей конструкцией. В течение еще многих лет она, по-видимому, останется также и самой дорогостоящей из всех когда-либо сооружавшихся морских платформ. Капиталовложения на добычу с платформы 1 м³ нефти в сутки, вероятно, превысят 120 000 долл., что в 40 раз больше, чем для месторождений на суше в странах Ближнего Востока.

РАССМОТРИМ теперь платформу «Статфьорд Б», которая считается самым совершенным бетонным сооружением в море. За последние десять лет норвежскими, британскими и французскими фирмами-подрядчиками было построено более 20 платформ такого типа. Техническим руководителем проекта платформы «Статфьорд Б» является корпорация Mobil Oil, которая владеет небольшой частью акций огромного нефтяного месторождения Статфьорд. Некоторые инженеры, которые вначале скептически относились к бетонным морским сооружениям, теперь признают, что применение их в ус-

ловиях Северного моря имеет ряд преимуществ.

Основанием платформы служит стовидный фундамент из 24 ячеек, каждая из которых имеет 20 м в поперечнике, а толщина стенок равна 1 м. Строительство основания было начато в большом сухом доке в порту Ставангер, в одноименном фьорде в Норвегии. Когда в процессе изготовления ячейки основания приобрели достаточную плавучесть и конструктивную прочность, сухой док затопили и не совсем еще готовое основание отбуксировали в защищенную глубоководную бухту, где работа была закончена с помощью плавучего бетонного завода. Двадцать ячеек перекрыли сводами, а четыре оставшиеся с помощью скользящих опалубок продолжали наращивать, чтобы создать несущие колонны платформы. По мере изготовления несущую конструкцию постепенно притапливали, с тем чтобы место укладки бетона оставалось на наиболее удобном уровне по отношению к плавучему бетонному заводу.

Перекрытые ячейки в основании платформы «Статфьорд Б» предназначаются для хранения нефти и дизельного топлива, которые будут закачиваться насосами по трубам, размещенным в одной из четырех колонн. Еще две колонны будут служить в качестве направляющих при бурении скважин; четвертая колонна будет отведена для различных второстепенных работ. Все колонны, за исключением той, в которой размещены насосы и трубопроводы, после установки платформы на место будут затоплены. Эта платформа, как и все конструкции гравитационного типа, буксируется к месту установки в вертикальном положении, что позволяет заранее в защищенных водах оснастить ее надводным оборудованием.

Одновременно со строительством бетонного основания платформы «Статфьорд Б» на близлежащей верфи производилась сборка надводного оборудования общим весом 41 000 т. Различные части оборудования монтировались на полозьях, а затем собирались в единую массивную стальную конструкцию, которую в конечном счете должны были поместить на бетонные колонны платформы. На этом этапе опорная рама надводной части, весящая 7000 т, покоилась на четырех монтажных колоннах, установленных в мелких водах рядом с верфью. Впоследствии на раму установили буровые модули и восьмизатяжные жилые помещения для бригады из 200 человек. Для большей безопасности жилые помещения, предельно удаленные от производственных зон, были отделены от последних противопожарными и взрывозащитными стенами. Все эти меры гарантируют высокую степень безопасности работ на платформе «Статфьорд Б».

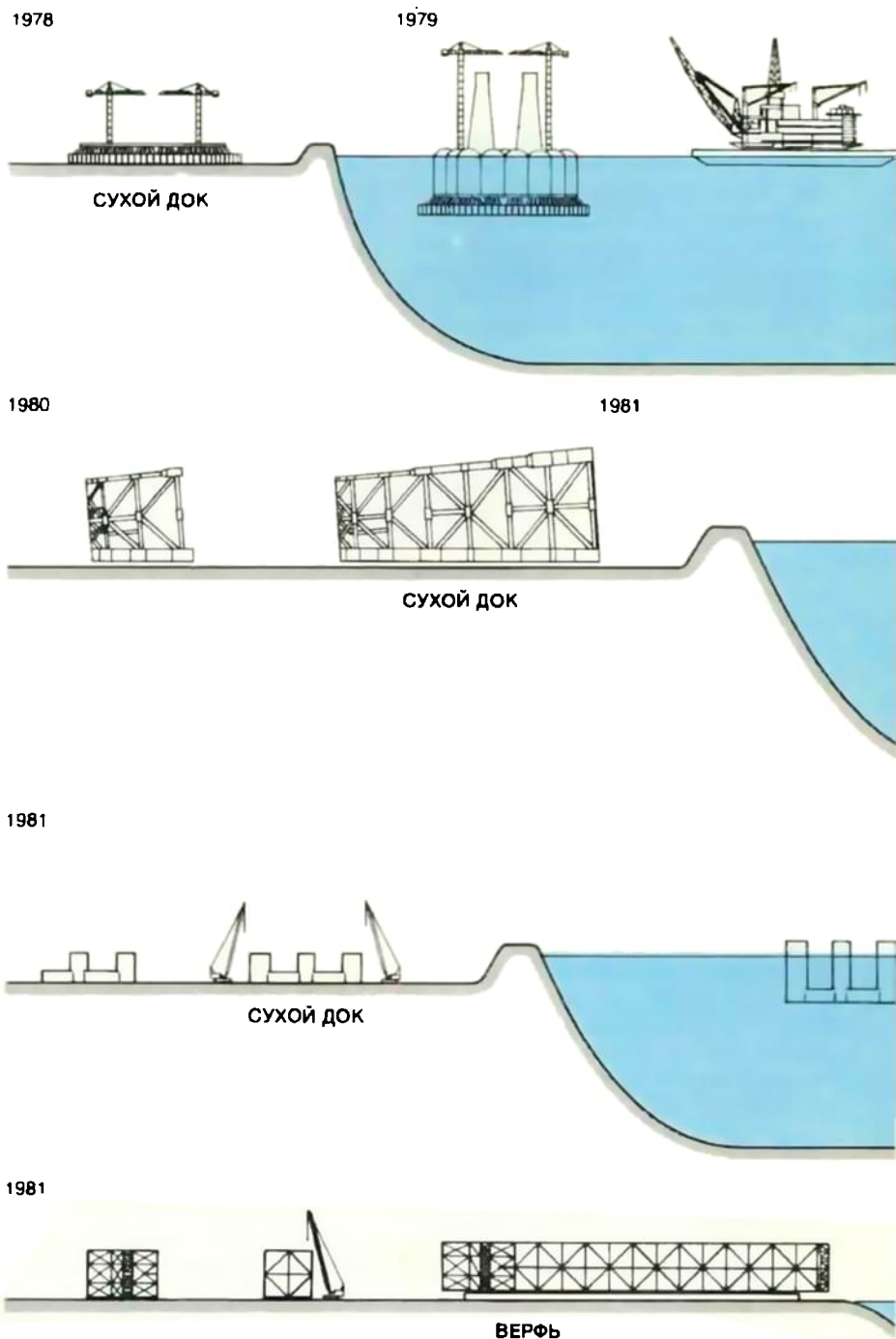
После завершения монтажа оборудо-

дования в начале 1981 г. под опорную раму подвели четыре баржи, тяжело нагруженные балластом. Когда балласт удалили, баржи подняли всю надводную часть платформы как одно целое. Затем ее перевезли в глубоководный район фьорда Ставангер, куда ранее уже была отбуксирована несущая конструкция, которую притопили так, что высота ее колонн над водой была равна высоте монтажных колонн. Маневрируя баржами, надводную часть платформы расположили точно над колоннами несущей конструкции, затем последнюю начали освобождать от балласта. Когда несущая конструкция приобрела такую плавучесть, что смогла полностью нести надстройку весом 41 000 т, обе эти части платформы соединили с помощью стяжных стержней, заделанных в бетонные колонны.

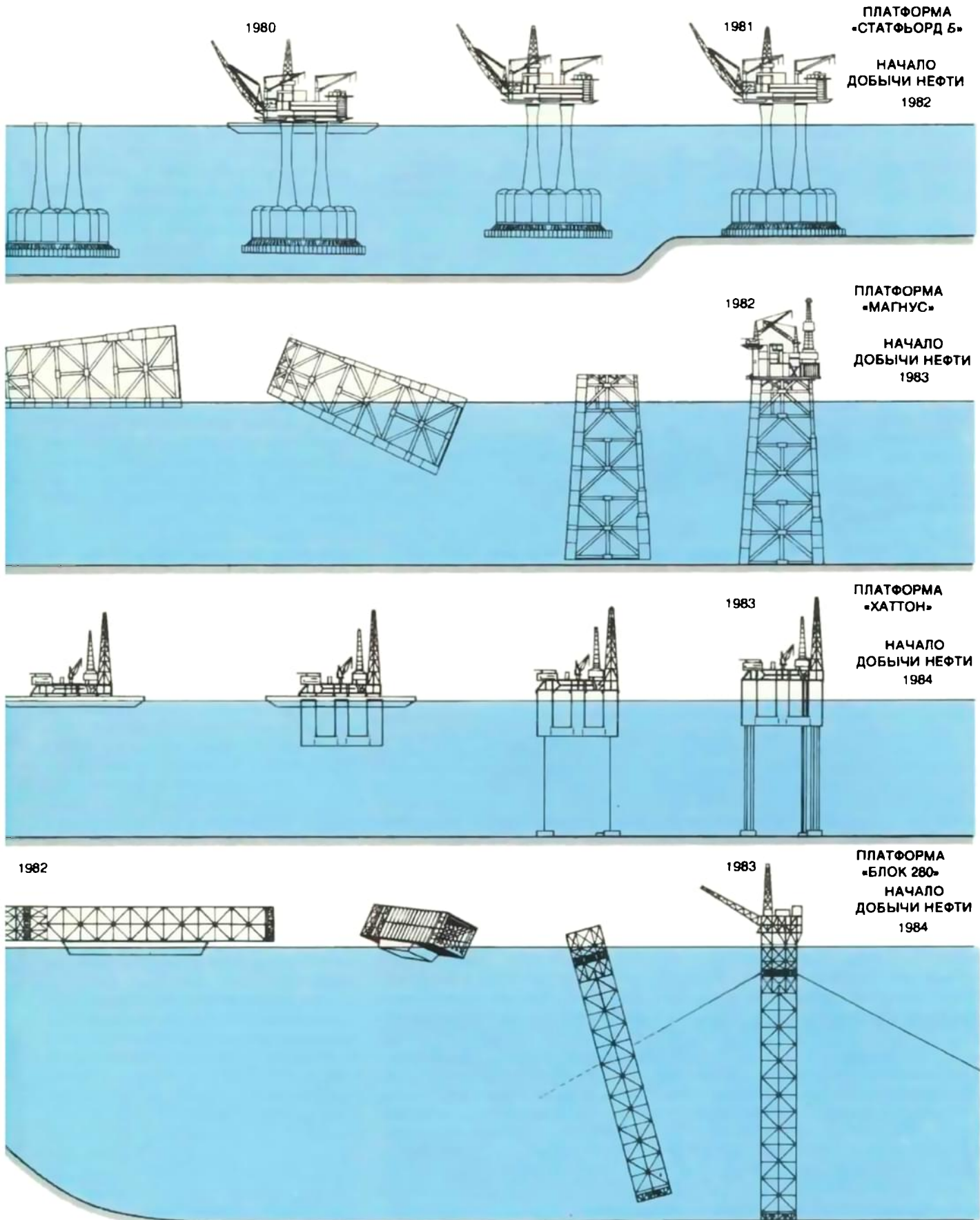
В августе 1981 г. пять крупнейших в мире буксировщиков перегнали платформу «Статфьорд Б» водоизмещением 899 000 т со скоростью 3,2 км/ч на расстояние 370 км к месту установки в Северном море, по возможности держась вблизи берегов Норвегии. По прибытии на место платформу посадили на предварительно выровненную площадку на глубине около 145 м и окончательно установили без применения свай. Нагрузка на морское дно, создаваемая весом этого гигантского сооружения, вызвала выдавливание воды в нижележащие слои грунта. Эта свободная вода была затем отведена с помощью неглубоких скважин, пробуренных через колонну, предназначенную для второстепенных работ. Такой дренаж предотвращает также разжижение грунта в результате повышения нагрузки на наружную поверхность основания и небольшого крена конструкции под воздействием штормовых волн.

Совершенно ясно, что такая платформа, как «Статфьорд Б», могла быть построена только в особых условиях. Если бы глубоководного защищенного бассейна не было, строить подобное массивное бетонное сооружение оказалось бы невыгодно. Глубина норвежских фьордов, участие промышленных фирм, имеющих богатый опыт в проектировании и строительстве бетонных морских сооружений, — вот основные факторы, сделавшие возможным создание платформы «Статфьорд Б».

Бетонная несущая конструкция платформы была спроектирована в расчете на ее транспортировку совместно с надстройкой, установленной на ней в виде единого узла. Такое решение оказалось осуществимым только благодаря тому, что несущая конструкция могла все время оставаться в вертикальном положении. На месте установки платформы морской грунт мог выдержать ее вес без забивки свай. Возможность хранения добываемой нефти в огромных ячейках основания позволи-



МЕТОДЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И УСТАНОВКИ современных морских платформ. Конструктивное решение платформы «Статфьорд Б» в некоторых отношениях является самым смелым. Когда постройка бетонного основания достаточно продвинулась, его отбуксировали на плаву в фьорд Ставангер, где были отлиты четыре опорные колонны путем заливки бетона в скользящие опалубки с плавучего бетонного завода. Одновременно на временном фундаменте сооружалась надстройка, которая затем с помощью барж была установлена над колоннами несущей конструкции, притопленной до надлежащего уровня. Собранное в единое целое сооружение отбуксировали на расстояние около 370 км к заранее подготовленному месту установки на месторождении Статфьорд. Постройка каркасно-свайной несущей конструкции платформы «Магнус» в бухте Нигг-Бей в Шотландии в настоящее время приближается к завершению. Камеры плавучести, встроены в две из четырех опор конструкции весом 41 000 т, дадут возможность отбуксировать ее на плаву на месторождение Магнус; из всех разрабатываемых месторождений оно расположено в самых высоких широтах Северного моря. Эта платформа будет закреплена на морском дне с помощью трубчатых стальных свай, забитых на глубину 90 м. Громоздкое надводное оборудование затем установят на несущую конструкцию с помощью полупогружных барж с деррик-кранами. Корпус платформы «Хаттон» с натяжными опорами также строится в сухом доке в



бухте Нигг-Бей. После того как корпус будет отбуксирован в глубокие воды и притоплен, всю надстройку платформы в виде единой секции доставят к нему на баржах и установят на место. Собранный сооружение затем отбуксируют на месторождение Хаттон, расположенное на расстоянии видимости с платформы «Статфьорд Б», и присоединят с помощью натяжных опор к заранее созданным фундаментам. Башенная платформа с якорными растяжками в настоящее время строится в г. Корпус-Кристи, шт. Техас, и к концу года

будет доставлена на барже на расстояние около 800 км к месту установки в Мексиканском заливе, где ее спустят в воду с борта баржи. Платформа обладает достаточной плавучестью, чтобы удерживаться у поверхности воды. Путем регулируемого заполнения системы водой башню переведут в вертикальное положение, поставят на дно и закрепят на месте с помощью 20 якорных канатов. После забивки фундаментных свай можно будет установить на место надводное оборудование.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАТФОРМ	ПЛАТФОРМЫ			
	«СТАТФЬОРД Б»	«МАГНУС»	«ХАТТОН»	«БЛОК 280»
Место установки	Северное море (Норвегия)	Северное море (Великобритания)	Северное море (Великобритания)	Мексиканский залив (США)
Тип конструкции	Бетонное сооружение гравитационного типа	Стальное сооружение с каркасно-свайной несущей конструкцией	Плавающее сооружение с натяжными опорами	Башенное сооружение с якорными растяжками
Тип крепления	Жесткое	Жесткое	Нежесткое	Нежесткое
Глубина моря в месте установки, м	145	185	148	305
Максимальная высота волны (1 раз в 100 лет), м	30	36	29	12
Добыча нефти, тыс. м ³ /сут	24	19	17,5	4
Начало добычи (год)	1982	1983	1984	1984
Максимальное отклонение палубы от вертикали, м	< 0,9	1,2	24	12
Приблизительная стоимость платформы, млрд. долл.	1,8	2,6	1,3	0,8
Удельные капиталовложения, тыс. долл./м ³ /сут	75	137	74	200
Фирма — руководитель проекта	Mobil	British Petroleum	Сonoco	Exxon

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ современных морских платформ, показанных на с. 6 и 7. Основное различие в конструкции платформ «Статфьорд Б» и «Магнус», с одной стороны, и платформ «Хаттон» и «Блок 280» — с другой, состоит в том, что первые две жестко закреплены на морском дне, так что максимальные перемещения их палуб даже в самые сильные штормы не превышают нескольких десятков сантиметров, а вторые представляют собой сооружения, допускающие некоторую податливость и рассчитанные на гораздо большие перемещения под воздействием волн и сильных течений. В настоящее время, когда цены на нефть возросли до 214 долл. за 1 м³, оправдываются даже такие крупные удельные капиталовложения, как 200 000 долл. на 1 м³/сут добываемой нефти.

ла перевозить нефть танкерами, сделав ненужным прокладку подводного трубопровода к берегам Норвегии. При отсутствии хотя бы одного из этих условий платформа «Статфьорд Б» имела бы другую конструкцию.

выполненные из стальных труб и рассчитанные на высокие нагрузки на растяжение, удерживают плавающий корпус, постоянно находясь в напряженном состоянии, так что их натяжение не ослабевает даже при попадании корпуса во впадину самой высокой волны, вероятность появления которой составляет 1 раз в 100 лет. Хотя система натяжных опор и позволяет корпусу несколько перемещаться в горизонтальном направлении, она предотвращает вертикальную качку или подъем корпуса платформы на волне, что характерно для свободно плавающих буровых судов.

В конструкции корпуса платформы должно быть выдержано точное соотношение между плавучестью и высотой надводного борта, чтобы не бояться ни самых глубоких впадин, ни самых высоких гребней волн. Большим преимуществом плавающих платформ с натяжными опорами является относительная независимость их стоимости от глубины моря в месте установки; и

действительно, при прочих равных условиях с увеличением глубины возникает необходимость лишь в удлинении опор. Когда специалисты по строительству морских сооружений приблизились к пределу экономической выгодной глубины установки жестких платформ, все больше внимание они стали уделять конструкциям с некоторой податливостью, и особенно платформам с натяжными опорами. Такие платформы имеют еще одно, хотя и второстепенное, но экономически важное преимущество: их можно освободить и перемещать на новое место. На прошлогодней Конференции по проблемам разработки морских месторождений наибольшее число докладов было посвящено именно таким платформам.

Платформа «Хаттон», спроектированная и сооружаемая в настоящее время компанией Сопосо для применения в британском секторе Северного моря, представляет собой первое промышленное плавающее сооружение с натяжными опорами. Подобно бетонному основанию платформы гравитационного типа, плавающий корпус собирается в большом сухом доке, а затем перемещается в глубокие воды, где его можно притопить для установки надстройки. После монтажа надстройки все сооружение буксируется к месторождению, притапливается для присоединения опор к предварительно заложенным фундаментам, а затем освобождается от балласта с целью натяжения опор. По динамическим характеристикам платформа с натяжными опорами может быть уподоблена обратному маятнику с той лишь разницей, что платформа удерживается в горизонтальной плоскости благодаря своеобразной конфигурации системы креплений, напоминающей пантограф. В самый сильный шторм платформа «Хаттон», которая должна быть закреплена на глубине 148 м, может отклоняться от вертикали на 24 м, ослабляя тем самым удары волн.

Еще до установки платформы «Хаттон» на место на дно моря внутри периметра фундаментов для крепления опор будет уложена плита с направляющими отверстиями, через которую с помощью полупогружной буровой установки будет пробурено 13 наклонных скважин. После доставки платформы на место эти скважины подсоединят трубопроводами к эксплуатационному оборудованию, смонтированному на платформе. Таким образом, добычу нефти можно будет начать гораздо раньше, чем если бы все 24 запланированные скважины были пробурены только после установки платформы.

Выбор конструкции платформы «Хаттон» был обусловлен тремя соображениями. Во-первых, ожидаемый срок эксплуатации этого месторождения короче, чем других месторождений Северного моря, и поэтому

платформа, которая может быть отбуксирована на новое месторождение, имеет преимущество перед жесткими сооружениями. Во-вторых, на этом месторождении выделение газа из нефти по мере падения пластового давления незначительно. Это значит, что отсутствует необходимость в нагнетании газа в пласт по мере извлечения нефти, а следовательно, и в соответствующем оборудовании, составляющем значительную долю груза на платформе. В-третьих, сметная стоимость платформы с натяжными опорами оказалась, по существу, не больше, чем для платформы с каркасно-свайной несущей конструкцией, поэтому компания, финансирующая проект, решили всесторонне испытать новое сооружение. Если платформа «Хаттон» окажется подходящей для суровых условий Северного моря, то будет получена информация, необходимая для применения подобных сооружений и в других районах мира. Таким образом, платформа «Хаттон» может стать важной вехой в развитии морских сооружений.

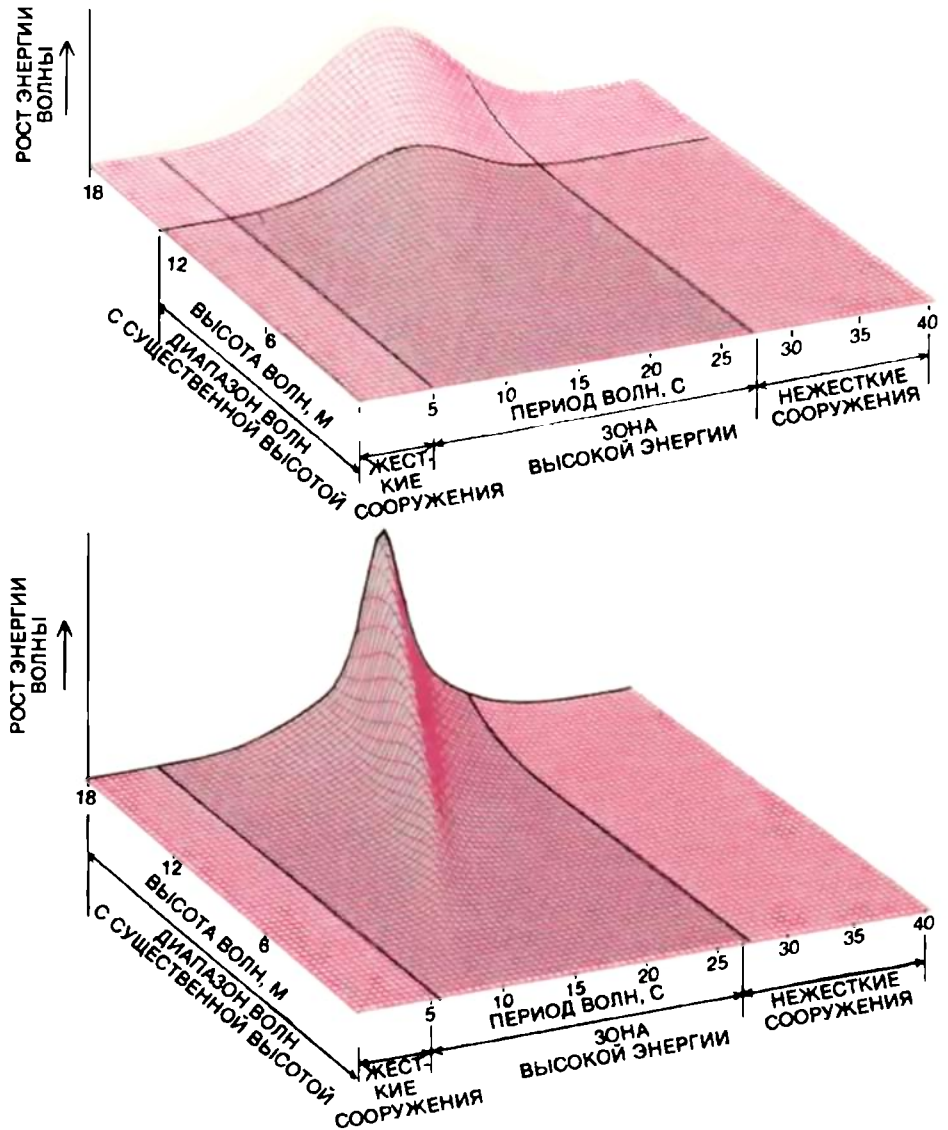
ИНАКОНЕЦ, еще одно современное морское сооружение — платформа башенного типа с якорными растяжками, которая проектируется корпорацией Ехноп для месторождения Блок 280 в Мексиканском заливе. Хотя она будет самой дешевой из всех четырех платформ (сметная стоимость 800 млн. долл.), удельные капиталовложения в добычу с платформы нефти окажутся самыми высокими — около 200 000 долл. на 1 м³. Основной проблемой, стоявшей перед специалистами корпорации Ехноп, была глубина моря в месте установки платформы (305 м). Кроме того, платформа должна быть способной нести значительные палубные грузы, чтобы обеспечить бурение и эксплуатацию 58 скважин. Подобно платформе «Хаттон», башенная платформа с якорными растяжками — это нежесткое сооружение. Она будет состоять из стальной башни квадратного сечения со стороной 36,5 м. В вертикальном положении башня должна удерживаться всеобъемлющей системой из 20 якорных канатов длиной около 1 км каждый. На расстоянии примерно 550 м от башни к каждому канату будет прикреплен груз массой 180 т. В условиях относительно спокойного моря грузы будут лежать на дне, натягивая канаты, а во время сильного шторма они будут медленно приподниматься, позволяя башне наклоняться. Башенная платформа рассчитана на максимальное отклонение от вертикали на уровне палубы, равное 12 м. При таком отклонении палуба платформы будет иметь наклон не более 2 градусов.

Расчетный вес башни вместе с якорными канатами составляет около 43 000 т, что сопоставимо с весом платформы «Магнус». Надводное оборудование будет размещаться на трех палу-

бах площадью 7000 м². Система якорных канатов будет охватывать площадь в 2,5 км², однако даже в местах присоединения канатов к башне они будут достаточно глубоко погружены в воду и поэтому не помешают плаванию надводных судов.

В начале статьи говорилось, что усталостный срок службы морских платформ в значительной степени за-

висит от числа волн в год, период которых соответствует периоду собственных колебаний сооружения. Башенная платформа с якорными растяжками имеет важное преимущество перед платформой с каркасно-свайной несущей конструкцией: если погруженная в воду башня высотой 305 м имеет период собственных колебаний 30 с, то каркасно-свайная несущая конструкция



ДИАГРАММЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА МОРСКИХ ВОЛН показывают, какое важное значение имеет соотношение между энергией волн и частотой собственных колебаний морских платформ различных конструкций. Сооружение должно выдерживать не только удар самой высокой волны, появление которой вероятно 1 раз в течение всего срока его службы, но и кумулятивное воздействие нескольких миллионов волн в год, период которых совпадает с частотой собственных колебаний сооружения. Морские платформы конструируют с таким расчетом, чтобы частота их собственных колебаний выходила за пределы зоны высокой энергии в спектре морских волн. Если это не будет сделано, то динамическое усиление колебаний самими сооружениями намного сократит их усталостный срок службы. Верхняя спектральная диаграмма соответствует условиям Мексиканского залива, где будет установлена башенная платформа «Блок 280» с якорными растяжками. Нижняя диаграмма отражает условия, типичные для Северного моря. Эти трехмерные диаграммы получены путем преобразования зарегистрированных сложных картин случайных волн в большое число простых геометрически правильных волн с малой амплитудой и случайной фазой. «Существенная высота» волны представляет собой среднее значение для верхней трети высот волн при любом конкретном состоянии моря, и поэтому она намного меньше вероятного максимума для данного моря. Волна с существенной высотой 18 м на диаграммах может быть интерпретирована как волна с максимальной высотой 30 м. Эти диаграммы были получены Россом Кованом из Международной службы по математическому обеспечению (г. Сан-Матео, шт. Калифорния) с помощью автоматизированного графопостроителя.

тех же размеров имеет период собственных колебаний 5 с. В Мексиканском заливе сооружение, имеющее период собственных колебаний 5 с, будет попадать в резонанс с гораздо большим числом волн, чем сооружение с большим периодом колебаний. При периоде собственных колебаний 30 с башенная платформа с якорными растяжками выходит за пределы зоны высокой энергии в спектре морских волн.

Башенная платформа корпорации Еххоп будет построена на верфи с приливным бассейном в г. Корпус-Кристи, шт. Техас; при этом будет использоваться техника кантовки секций, хорошо отработанная при изготовлении каркасно-свайных несущих конструкций. Сборную башню загрузят по полозям на длинную баржу, которая доставит ее к месту установки. По прибытии на место башня будет спущена в воду с борта баржи, что позволит свести к минимуму напряжения, возникающие в конструкции при спуске. Каркасно-свайные несущие конструкции морских платформ обычно спускаются в воду с кормы баржи, что нередко влечет за собой возникновение в них напряжений, намного превышающих напряжения при эксплуатации. Башня будет обладать плавучестью, которая позволит удерживать на поверхности воды только ее верхнюю панель. Путем заполнения системы водой в определенной последовательности башню переведут в вертикальное положение.

Еще до прибытия башни на месторождение Блок 280, которое расположено в 105 км к юго-востоку от г. Гранд-Айл, шт. Луизиана, на месте ее установки в морское дно на глубину 45 м будут забиты 20 свай, к которым затем прикрепят якорные канаты. Кроме того, у основания башни поместят донную плиту с направляющими отверстиями для бурения. Используя эту плиту как направляющую, башню установят на грязевую подушку, и в дно моря забьют 8 фундаментальных свай на глубину 170 м.

СТОИМОСТЬ описанных выше морских платформ равна или даже выше стоимости крупной атомной электростанции или целого нефтеперерабатывающего завода, поэтому ясно, что специалисты по строительству морских сооружений вынуждены полагаться только на хорошо проверенные конструкции. С другой стороны, они постоянно сталкиваются с условиями, которые в их практике еще не встречались. Наряду с четырьмя описанными конструкциями морских платформ исследовалось множество оригинальных гибридных сооружений из стали и бетона, сочетающих в себе конструктивные особенности жестких, обладающих некоторой податливостью и

плавучих платформ. Хотя некоторые из этих решений и нашли практическое применение в особых случаях, маловероятно, что они сильно повлияют на конструкцию будущих морских платформ.

Одним из районов, в которых ощущается насущная необходимость в принципиально новых конструкциях морских платформ, является Арктика с ее мощными ледовыми полями и айсбергами, оказывающими на платформы воздействия небывалой силы. В частности, на северном склоне Аляски нефтяные компании проводили эксперименты с насыпными гравийными островами, сооружаемыми в море на глубине до 20 м. Такие искусственные острова оказались вполне подходящими для разведочного бурения. Они могут выдерживать натиск морских льдов в течение нескольких лет, однако вряд ли можно отнести их к разряду стационарных сооружений.

В более глубоких открытых арктических морях айсберги представляют собой капризную стихийную силу. Оказалось, что небольшие айсберги, которые могут перемещаться штормовыми волнами с огромной скоростью, представляют большую угрозу, чем крупные айсберги, движущиеся со скоростью морского течения. Проблема разработки нефтяного месторождения в районе с интенсивным движением айсбергов, по-видимому, может быть решена путем применения одного из следующих трех основных типов сооружений: бетонных платформ, поглощающих энергию удара айсберга благодаря своей огромной массе, платформ с натяжными опорами, которые отсоединяются при сильном ударе, и защитных котлованов в морском грунте, в которых «укрывается» от айсбергов фонтанная арматура скважин, в сочетании с плавучими эксплуатационными системами. В ближайшем будущем все три типа сооружений, вероятно, пройдут промышленные испытания.

От технического описания морских сооружений перейдем к рассмотрению процесса их разработки, который в отличие от других областей техники имеет свои особенности. Проект освоения месторождения с использованием крупной морской платформы проходит через восемь четко различимых фаз (от открытия месторождения до начала добычи нефти) и занимает 5 — 14 лет. Эти восемь фаз можно сгруппировать в два основных этапа — планирование и исполнение. Хотя для достижения оптимальных результатов на каждом из этих этапов требуются совершенно иные технические подходы к решению задач, неразрывность связи между этапами имеет очень важное значение.

Первый этап, на котором решается, что именно должно быть построено, представляет собой период напряженного поиска с привлечением передового опыта, накопленного в этой быстро развивающейся отрасли промышленности. Этот поиск должен быть всеобъемлющим и проводиться объективно и независимо от интересов фирм. При правильной постановке дела коллектив разработчиков и руководители проекта приходят в итоге к единому мнению об основных эксплуатационных требованиях, которым должна удовлетворять морская платформа. Они принимают согласованные решения по ключевым вопросам конструкции платформы, методов ее сборки, графика работ и затрат. Как правило, 85 % решений, определяющих конечную стоимость объекта, принимаются на этом этапе. Результирующий документ можно представить себе как энциклопедию, которая охватывает все существенные стороны проекта без излишних подробностей. Этот документ (который можно назвать руководством к проекту) служит переходным звеном ко второму этапу. Его начало сопровождается сменой главных участников работы.

НА ВТОРОМ этапе производится детальная разработка конструкции платформы, приобретаются необходимые материалы, а также строится и изготавливается платформа. Именно на этом этапе, когда уже были произведены основные затраты, специалисты по созданию морских сооружений столкнулись с наибольшими трудностями. Дело в том, что всего через 10 лет после открытия крупнейших месторождений в Северном море цены на нефть подскочили с 12,6 до 214 долл. за 1 м³. Началась инфляция. Структура налогообложения постоянно изменялась, а нормы по защите окружающей среды все более ужесточались. В этих условиях в нефтедобывающей промышленности все же внедрялось множество технических новшеств. Никогда ранее эта отрасль не знала таких быстрых перемен.

Понятно, что как бы хорошо ни был составлен первоначальный план, его необходимо почти сразу корректировать, чтобы учесть технические, финансовые и политические изменения, которые нельзя было предвидеть с самого начала. Как раз в этот трудный период, занимающий 5 — 7 лет, окончательные затраты могут возрасти до астрономических размеров, если в проекте и при его воплощении были допущены просчеты. Происходит постоянная борьба между теми, кто в стремлении к совершенству использует новейшие достижения, и теми, кто пытается сопоставить явные преимуще-

щества этих достижений с менее очевидными нежелательными последствиями для проекта. Опыт показывает, что возможности внесения изменений в проект на этом этапе относительно невелики.

Оценивая будущее всех разрабатываемых в настоящее время сооружений для добычи нефти в открытом море, можно сказать, что платформа с натяжными опорами наиболее перспективна при использовании в очень глубоких водах. Так как эта конструкция пригодна для широкого диапазона глубин моря, она представляется более перспективной для стандартизации, чем конструкции других типов. Поскольку платформа с натяжными опорами — это не жесткое сооружение, она нечувствительна к сейсмической активности. Единственным недостатком этой платформы является, пожалуй, необходимость сохранения ею плавучести при всех погодных условиях, что несколько лимитирует палубный груз. Конструкции платформ с натяжными опорами и башенных платформ с якорными растяжками находятся в самом начале развития, и, несомненно, в ближайшем будущем в них будет внесено множество усовершенствований. В арктических районах с подходящим грунтом на морском дне найдут, вероятно, применение сооружения гравитационного типа с глубоко проникающими в грунт стальными юбками. Эти сооружения будут достаточно прочны и смогут выдерживать мощный натиск морских льдов, торосов и айсбергов.

Наряду с разработкой морских платформ большие надежды возлагаются на подводные сооружения. Примером могут служить шесть скважин с подводной устьевой арматурой, которые будут соединены с платформой «Магнус» трубопроводами. Другим примером является плита с направляющими отверстиями для бурения, устанавливаемая рядом с платформой «Хаттон» и предназначенная для ускорения разбуривания месторождения. По мере накопления опыта работы по созданию подводных сооружений, по-видимому, будут распространяться все шире. И тем не менее, хотя продолжается разработка подводного бурового и эксплуатационного оборудования, располагаемого в воздушных колоколах с атмосферным давлением, решающая роль сохранится за надводными устройствами на платформах.

SCIENTIFIC AMERICAN

МАЙ 1932. Сообщение о крупнейшем научном открытии последнего времени пришло недавно из Кембриджа (Англия), где доктор Джеймс Чедвик доказал существование элементарной частицы материи — нейтрона. Для оценки этого открытия необходимо напомнить, что атом, считавшийся ранее наименьшей элементарной частицей, сейчас рассматривается как система, состоящая из электронов и протонов, которые удерживаются за счет взаимного притяжения отрицательных и положительных зарядов. Нейтрон состоит из электрона и протона, электрические заряды которых нейтрализуются при их соединении в одну частицу.

ИЮЛЬ 1932. Можно только догадываться о том, что произойдет, если физикам удастся использовать ни с чем не сравнимую энергию, заключенную в атоме, — в десятицентовой монете ее достаточно для того, чтобы дважды провести пароход через Атлантику. В знаменитой Кавендишской лаборатории Кембриджского университета докторам Кокрофту и Уолтону удалось расщепить атом; при этом за кратчайший промежуток времени выделяется гораздо больше энергии, чем необходимо для проведения самого процесса. Хотя наука высоко ценит и хранит, как сокровище, каждую добытую крупницу знания о природе, в данном случае, к несчастью, существует вероятность того, что результаты этого открытия превратятся в сомнительное наследство для человека. Сэр Оливер Лодж полагает, что человечество пока еще слишком юное и незрелое для такого подарка. Вряд ли люди смогут разумно его использовать. Власть над этими колоссальными силами может оказаться в безжалостных руках солдат-фанатов, которые ради забавы способны уничтожить весь род человеческий и цивилизацию!

SCIENTIFIC AMERICAN

АПРЕЛЬ 1882. Чарлз Роберт Дарвин, влияние которого на ход современной научной мысли не превзошел ни один другой исследователь, скончался в своем доме возле Орпингтона (Англия) в

среду, 19 апреля. Чарлз Дарвин родился в г. Шрусбери (Англия) 12 февраля 1809 г. По окончании классической школы в Шрусбери поступил в Эдинбургский университет, где проучился два года. Затем перешел в Крайст-Колледж в Кембриджском университете, который закончил в 1831 г. Во время учебы Дарвин не изменил своему пристрастию к исследованию природы.

Вскоре после выпускных экзаменов он подготовил работу о зоологии обитателей моря на таком высоком уровне, что ему было предложено место натуралиста на ставшем теперь историческим корабле «Бигл». По возвращении из плавания в 1836 г. Дарвин подготовил к публикации свой «Дневник изысканий», а в 1840 — 1842 гг. — многотомный труд «Зоология». Вскоре он опубликовал классическую работу по строению и распределению коралловых рифов. Вслед за этими трудами вышли в свет «Геологические наблюдения над вулканическими островами» (1844 г.) и «Геологические наблюдения над Южной Америкой» (1846 г.). В 1853 г. Лондонское королевское общество наградило его Королевской медалью, а в 1859 г. Геологическое общество — медалью Волластона. В том же году вышла в свет самая знаменитая книга Дарвина, открывшая новую эпоху в естествознании, — «Происхождение видов путем естественного отбора». Полемика, разгоревшаяся вокруг этой работы, привлекла внимание как широкой публики, так и ученых к вопросам естественных наук, возможно, в большей степени, чем любое другое открытие нашего века.

АПРЕЛЬ 1882. Наконец-то началась прокладка туннеля под Ла-Маншем, она идет очень быстро. Работа ведется при помощи землеройного устройства фирмы «Бомон», снабженного двумя вращающимися захватами, каждый из которых имеет семь режущих кромок из стали. Платформа с этим оборудованием медленно движется вперед, примерно на 1,5 см за один оборот захватывающего землеройного устройства. Таким образом, за один оборот с фронтальной поверхности грунта снимается тонкий слой и получается цилиндрическое отверстие диаметром примерно 2,3 м. В настоящее время это устройство продвигается со скоростью около 100 м в неделю. Предполагается, что если работы с французской стороны будут проводиться с такой же скоростью, то за три с половиной года прокладку туннеля удастся закончить.

ЯМР-интроскопия в медицине

Ядерный магнитный резонанс (ЯМР) позволяет обнаружить распределение атомов в образце исследуемого материала. Этот метод может быть использован для получения изображений внутреннего строения организма человека без рентгеновских лучей

ЯН Л. ПИКЕТТ

ПОТРЕБНОСТЬ медиков заглянуть внутрь организма человека в течение многих десятилетий удовлетворялась рентгенографией — методом, основанным на различной способности тканей поглощать рентгеновские лучи. Главным недостатком этого метода заключается в невозможности различать перекрывающиеся структуры на пути рентгеновских лучей. В последние годы от этого недостатка удается в значительной мере избавиться благодаря разработке рентгеновской вычислительной томографии (РВТ). В этом методе регистрируется рентгеновское излучение по многим направлениям и при помощи ЭВМ создаются изображения поперечных сечений выбранных участков в любой части тела. Метод рентгеновской вычислительной томографии (РВТ) оказался чрезвычайно полезным в диагностике, однако и здесь получаемая информация в основном носит анатомический характер, так как не содержит сведений о функциональном или физиологическом состоянии внутренних органов. Некоторые патологически измененные органы почти так же поглощают рентгеновские лучи, как и окружающие их ткани, поэтому они не могут быть обнаружены методом РВТ, если патология не сопровождается изменением размера или формы внутреннего органа. Следует помнить и о том, что рентгеновское облучение даже в малых дозах представляет определенную опасность для организма.

Новый метод получения изображений поперечных сечений различных органов человеческого тела, исключая использование ионизирующих излучений — ЯМР-интроскопия*, — на пороге клинического применения. Изображения, полученные при помощи

ЯМР, содержат не только информацию анатомического характера, во многом сходную с информацией, содержащейся в рентгеновских томограммах, но и позволяют более четко разделять здоровые и поврежденные ткани. Эта возможность основана на хорошо известной способности ЯМР-спектроскопии определять строение сложных органических молекул и исследовать динамику химических процессов. В последние годы биохимики использовали ЯМР для изучения метаболических реакций, протекающих у лабораторных животных и у человека. Новейшие усовершенствования, позволяющие представлять ЯМР-информацию в виде изображений, дают медикам новый мощный метод диагностики.

Экспериментальные основы ЯМР-спектроскопии заложили более 30 лет назад Ф. Блох из Станфордского университета и Э. Пёрселл из Гарвардского университета. Эта работа была удостоена Нобелевской премии в 1952 г. Еще в 20-х годах было установлено, что многие атомные ядра имеют собственный момент количества движения (спин), обусловленный их «вращением». Ядра имеют электрический заряд, поэтому спин соответствует кольцевому току, протекающему вокруг оси вращения и индуцирующему слабое магнитное поле. Следовательно, каждое ядро с ненулевым спином имеет собственный магнитный момент, т.е. является магнитным диполем. Только ядра с нечетным числом нуклонов (протонов или нейтронов) обладают ненулевым результирующим спином и могут проявлять эффект ЯМР.

В общем случае магнитные диполи ядер, имеющих спин, ориентированы хаотически, однако в магнитном поле они ориентируются по его силовым линиям. Для ядер со спином $\frac{1}{2}$, таких, как протоны (ядра водорода ^1H), возможны только две ориентации — параллельно и антипараллельно (навстречу) полю. Эти две ориентации характеризуются несколько различающимися энергиями, которые проявляются в зеемановском расщеплении

уровней энергии. В случае протонов разность между числом протонов со спином, направленным «вверх» (параллельно полю), и со спином, направленным «вниз» (антипараллельно полю), очень мала: примерно одна частица из 10^8 частиц с небольшим избытком на нижнем энергетическом уровне (спин направлен «вверх»).

МАГНИТНОЕ поведение ансамбля ядер можно описать при помощи вектора макроскопической (объемной) намагниченности M , соответствующей результирующему эффекту всех магнитных моментов данного типа ядер в исследуемом образце. В отсутствие внешнего магнитного поля полная макроскопическая намагниченность равна нулю. Однако если образец поместить в магнитное поле, то ядерные диполи ориентируются так, что появляется равновесная объемная намагниченность, направленная параллельно полю. Это направление обычно принимают за ось z .

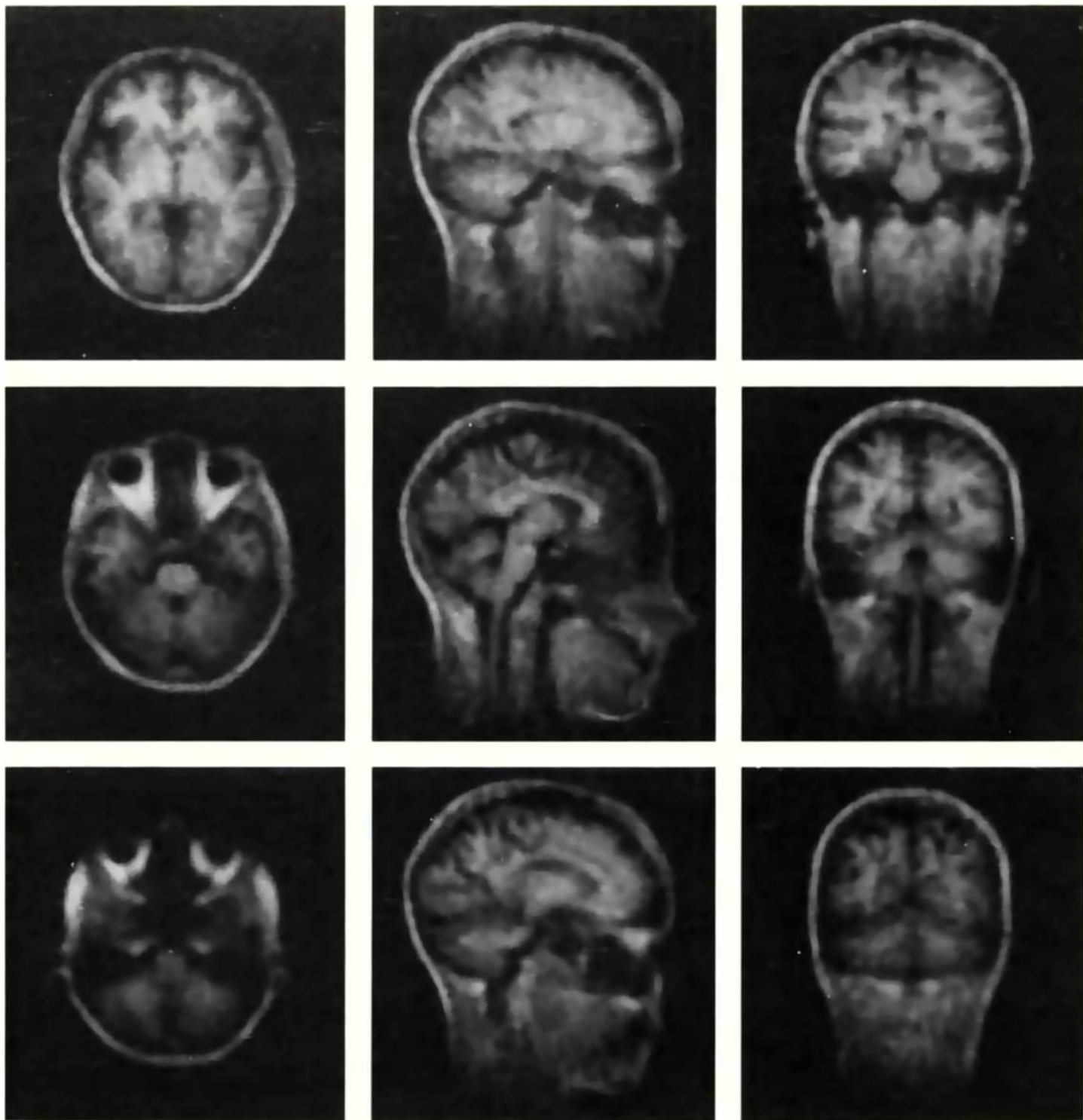
Вращающиеся ядра с ненулевым спином ведут себя как крошечные волчки (гироскопы). Если ось вращающегося гироскопа отклонить от вертикали, то он будет двигаться вокруг вертикальной оси по образующей конуса. Это движение называют прецессией. Аналогично, если результирующий вектор M , соответствующий ансамблю ядер, вращающихся в магнитном поле, отклонить от направления z , то он начнет прецессировать вокруг оси z . Такое отклонение можно получить действием намного более слабого магнитного поля, которое вращается в плоскости $x - y$ и перпендикулярно постоянному (невращающемуся) полю. На практике вращающееся магнитное поле получают, окружая образец катушкой, соединенной с радиочастотным (РЧ) генератором. Чтобы отклонить вектор макроскопической намагниченности от оси z , необходимо соответствие частоты приложенного поля частоте естественной прецессии ядер образца. Отсюда термин — ядерный магнитный резонанс.

*Английский термин "NMR imaging", который использует автор статьи, не имеет однозначного перевода на русский язык. Наш термин «ЯМР-интроскопия» охватывает как методы ЯМР-томографии (получение «сечений» живых организмов), так и локальную ЯМР-спектроскопию организма человека (неинвазивный физико-химический анализ состояний и функций внутренних органов). — Прим. ред.

Резонансную частоту, иногда называемую ларморовой, с внешним постоянным магнитным полем связывает простое математическое соотношение. Эта частота равна напряженности магнитного поля, умноженной на «гиро-

магнитное отношение», которое постоянно для каждого типа ядер со спином, отличным от нуля. Для ядер водорода (протонов) в магнитном поле напряженностью 1 тесла ($1 \text{ T} = 10000 \text{ Гс}$) резонансная частота равна $42,57 \text{ МГц}$.

Для ядер изотопа фосфора ^{31}P резонансная частота в том же поле составляет $17,24 \text{ МГц}$, а для ядер натрия ^{23}Na — $11,26 \text{ МГц}$. Эти значения находятся в радиочастотной области электромагнитного спектра, намного ниже



ЯМР-ИЗОБРАЖЕНИЯ тонких поперечных срезов тела человека, полученные с применением радиочастотного поля для «опроса» протонов, которые ориентированы определенным образом в магнитном поле. ЯМР наблюдается на ядрах с нечетным числом нуклонов (нейтронов или протонов), обладающих благодаря этому результирующим спином. Ядра водорода (протоны) — самые распространенные в живой материи. После возбуждения эти ядра дают сигнал определенной частоты, по которому можно определить их положение. С помощью ЭВМ по этим сигналам можно создать соответствующее изображение. Здесь представлено девять изображений головы человека, полученные из трехмерного набора данных, которые показывают распределение протон-

содержащих молекул — воды и липидов — в крови и тканях. Три изображения слева представляют собой сечения на трех уровнях: через центр мозга (*вверху*), на уровне глаз (*в середине*) и сразу под уровнем глаз (*внизу*). Три изображения в середине — сечение по средней линии (*в центре*) и параллельные сечения порядка трех сантиметров влево и вправо от нее. Справа изображены сечения головы во фронтальной плоскости, проходящей через самую широкую часть мозга (*вверху*), и в двух плоскостях дальше и ближе от нее. Изображения получены в исследовательской лаборатории ЯМР Массачусеттской больницы общего типа на приборе фирмы Technicare (г. Солон, шт. Огайо), который снабжен магнитом с напряженностью поля $0,15 \text{ T}$ (1500 Гс).

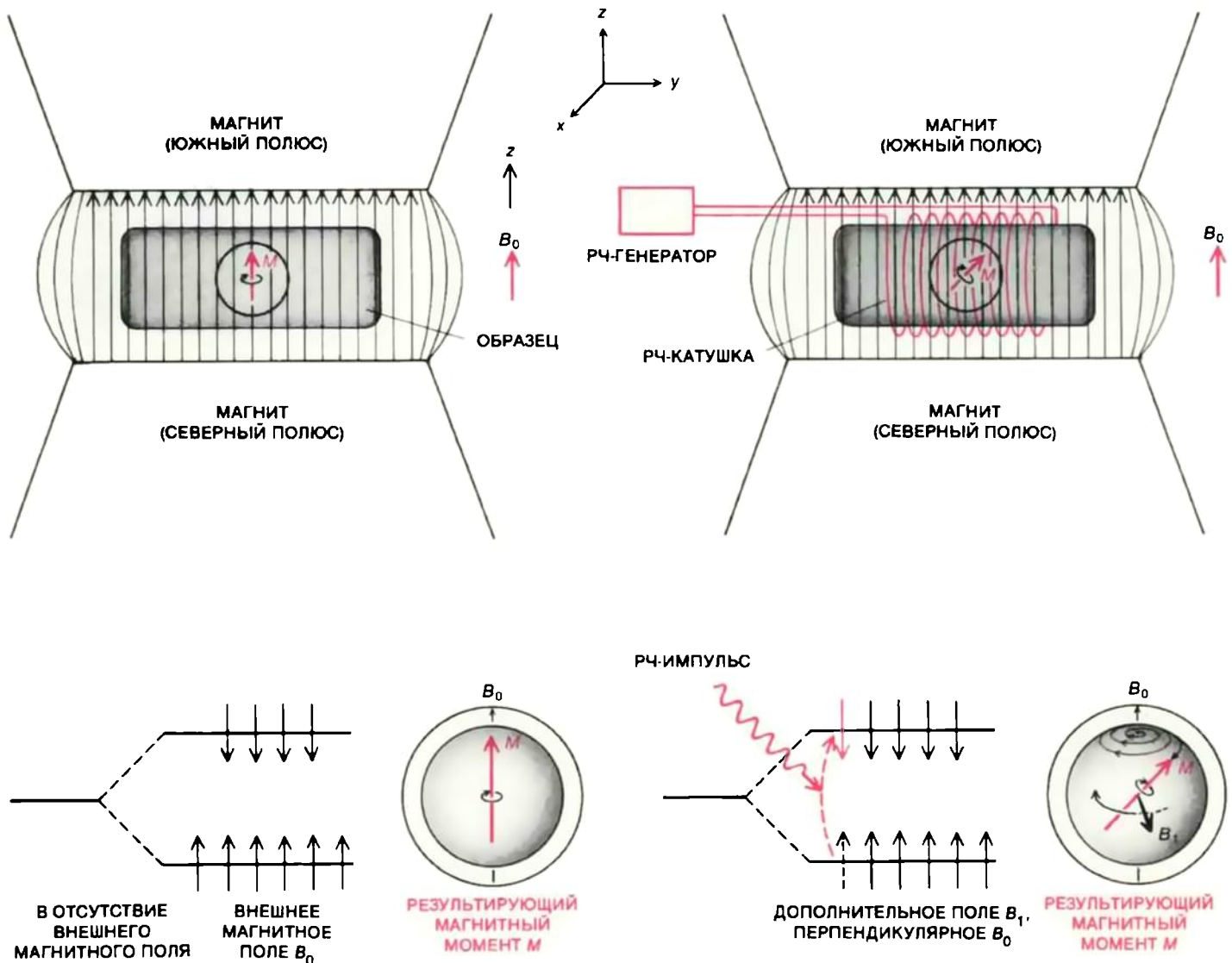
частот рентгеновского излучения и видимого света, поэтому соответствующее излучение не оказывает разрушающего действия на живые организмы.

Таким образом, при правильном подборе частоты можно «настроиться» на специфический тип ядер и наблюдать соответствующий им сигнал. До сих пор для получения ЯМР-изображений в медицине использовался только резонанс на ядрах водорода. Что же касается остальных ядер, то они обладают не только меньшей чувствительностью к ЯМР, но и содержатся в биологических объектах в более низких концентрациях.

Согласно квантовой механике, отклонение результирующего вектора

объемной намагниченности для ансамбля ядер от равновесного положения эквивалентно переходу с более низкого энергетического уровня на более высокий. Такой переход возможен только тогда, когда энергия кванта радиочастотного излучения равна разности энергий между этими двумя уровнями. То, что ЯМР-изображения в медицине проще всего получают путем использования резонанса на ядрах водорода, очень удобно, так как наше тело на 75 % состоит из молекул воды, в каждую из которых входят по два протона. Распределение молекул воды и других малых водородсодержащих молекул (например, липидов) изменяется при многих заболеваниях.

УГЛОВОЕ отклонение между вектором ядерной намагниченности M и направлением постоянного магнитного поля все время увеличивается, пока на образец действует вращающееся поле; причем скорость его увеличения зависит от напряженности этого поля. Импульс, достаточно длительный и мощный для того, чтобы перевести M из начального положения во вращение в плоскости $x-y$, называют 90-градусным. Но как узнать, что отклонение имело место? Непосредственно после действия 90-градусного импульса вектор намагниченности продолжает свободно вращаться в плоскости $x-y$ и при этом порождает небольшую электродвижущую силу, которую мо-



В ПРИСУТСТВИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ B_0 ядра с ненулевым спином ориентируются по силовым линиям магнитного поля, которые направлены вдоль оси z (слева). В образце создается результирующий магнитный момент M , направленный параллельно полю. Согласно квантовой механике, такой ориентации соответствует образование нескольких магнитных энергетических уровней. Для ядер со спином $1/2$, включая протоны, появляются два уровня с небольшим избытком ядер в нижнем энергетическом состоянии. Вектор M можно заставить прецессировать вокруг направления магнитного поля подобно падающему волчку. Это достигается наложением второго магнитного поля B_1 , кото-

рое имеет компоненту, вращающуюся в плоскости $x-y$ под прямым углом к направлению постоянного (не вращающегося) поля (справа). Только в том случае, когда частота вращающегося поля точно совпадает с ларморовой частотой (естественной резонансной частотой) ядер, вектор M отклоняется к плоскости $x-y$. Поле B_1 генерируется окружающей образцу катушкой, передающей радиочастотную энергию спиновой системе. Согласно квантовой механике, квант электромагнитной энергии, точно совпадающий с разностью этих уровней, вызывает «перескок» ядер с нижнего энергетического состояния на более высокое.

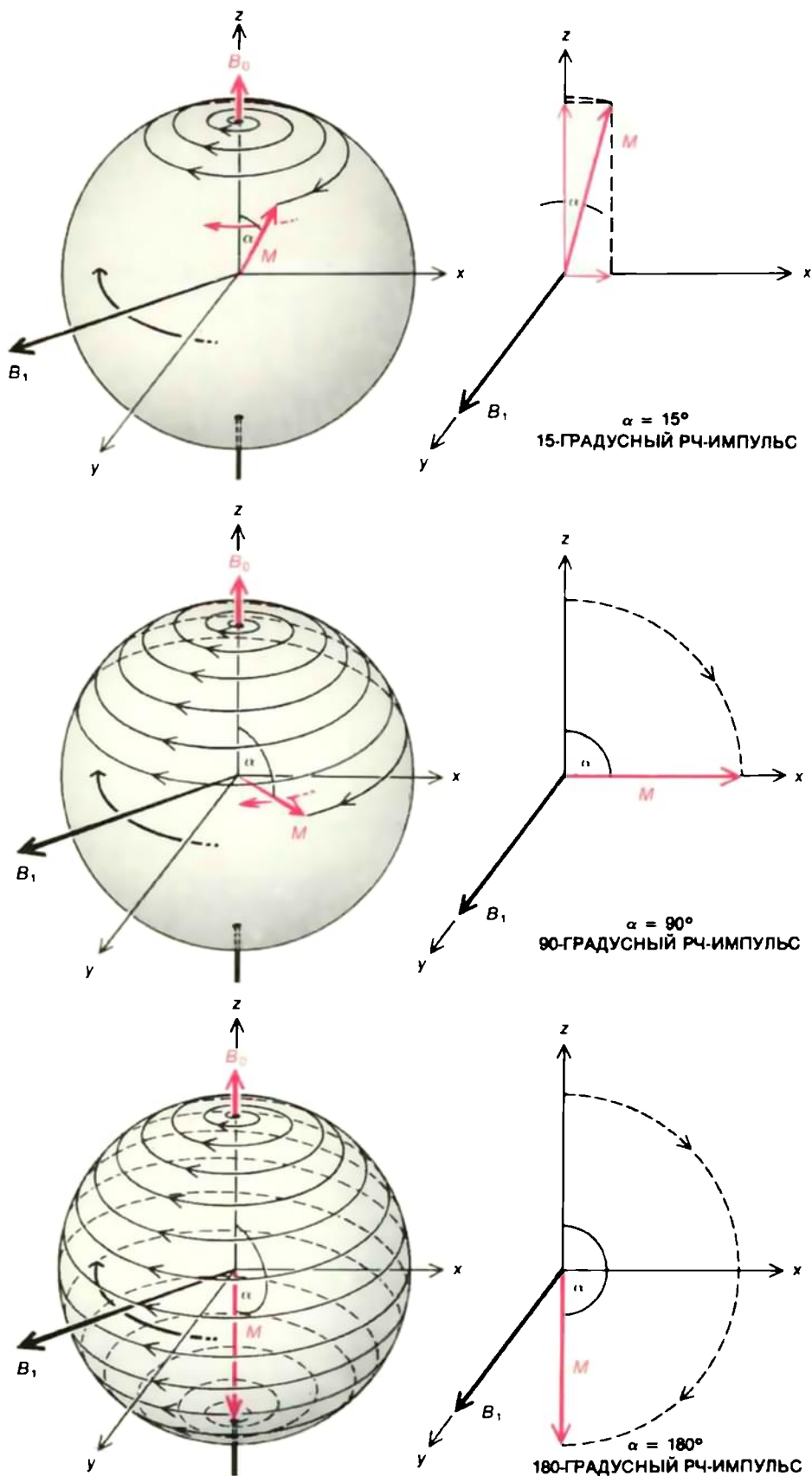
жно детектировать при помощи радиочастотной катушки, или специальной приемной катушки. Полученный сигнал называют сигналом свободной индукции или спадом свободной индукции. В терминах квантовой механики считается, что этот сигнал излучается при переходе ядра с возбужденного энергетического уровня в основное состояние, т.е. на нижний энергетический уровень.

После прекращения подачи возбуждающего импульса вектор ядерной намагниченности постепенно возвращается к своему начальному направлению вдоль оси z . Возвращение в состояние равновесия характеризуется двумя основными временами «релаксации» — T_1 и T_2 . Рассмотрим сначала T_2 , которое называют временем спин-спиновой, или поперечной, релаксации. Явление спин-спиновой релаксации определяет естественное время жизни сигнала свободной индукции, в течение которого разные компоненты намагниченности в плоскости $x - y$ остаются более или менее в фазе. После возбуждения каждое ядро продолжает «чувствовать» не только внешнее постоянное поле, но и локальные поля, связанные с магнитными свойствами соседних ядер. Таким образом, ядра приобретут слегка отличающиеся частоты прецессии, что и вызовет расфазировку сигнала свободной индукции.

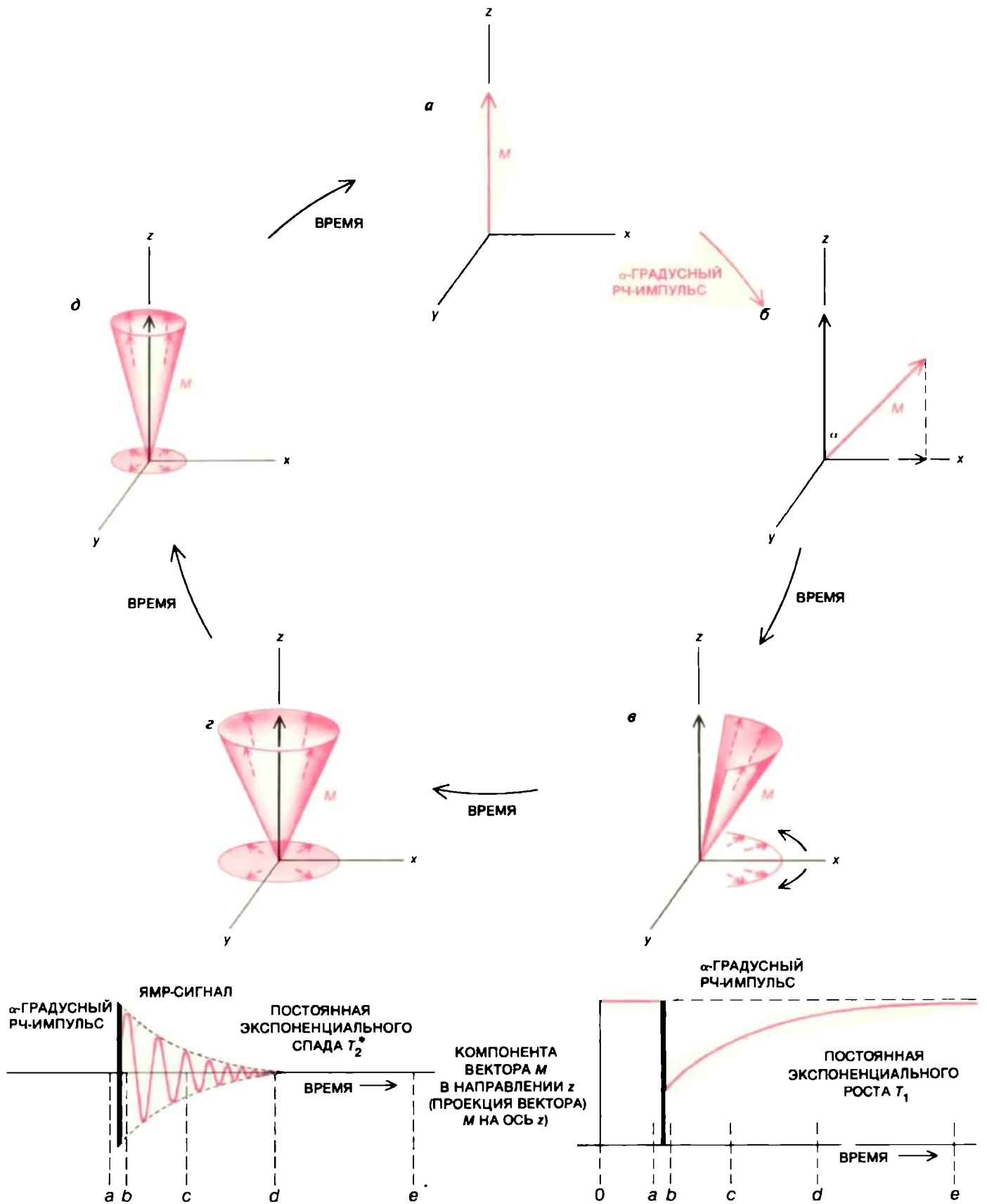
В жидкости атомы и их ядра находятся в постоянном движении и межъядерные магнитные поля, отвечающие за спин-спиновую релаксацию, имеют тенденцию к усреднению до нуля. В результате сигнал затухает намного медленнее, чем в твердом теле, где ядра остаются фиксированными в пространстве. Для чистой жидкости время T_2 может достигать нескольких секунд. В твердом теле оно обычно составляет несколько микросекунд, т.е. сигнал затухает так быстро, что обычно его не удается зарегистрировать.

Если бы постоянное магнитное поле было совершенно однородно, то T_2 можно было бы определить путем измерения скорости спада сигнала свободной индукции. Однако поля, создаваемые реальными магнитами, всегда неоднородны. Даже несмотря на то, что в лучших магнитах, используемых для ЯМР-спектроскопии, эти несовершенства поля очень малы, они приводят к тому, что сигнал свободной индукции затухает быстрее, чем в однородном поле. Временную константу, определяющую наблюдаемое время спада сигнала в неоднородном поле, обозначают T_2^* (T_2 со звездочкой), чтобы отличить ее от истинного времени релаксации T_2 .

МОЖНО определить истинное значение T_2 для образца даже в том случае, когда он находится в неоднородном поле, поскольку неоднородности магнит-



УГОЛ ПРЕЦЕССИИ α продолжает увеличиваться, пока действует вращающееся магнитное поле B_1 . Однако частота прецессии остается постоянной, так как она определяется природой ядер и напряженностью постоянного поля B_0 . РЧ-импульсы, требуемый для отклонения вектора результирующего магнитного момента M на 15° , называется 15-градусным импульсом. 90- и 180-градусные импульсы вызывают соответствующие увеличения угла прецессии. Для воображаемого наблюдателя, вращающегося вместе с вектором намагниченности с ларморовой частотой (справа), возрастание угла прецессии будет выглядеть как простое вращение M вокруг направления приложенного поля B_1 , которое в свою очередь будет казаться постоянным. Наличие проекции результирующего вектора M на плоскость $x - y$ порождает электродвижущую силу, которую можно зарегистрировать при помощи катушки, окружающей образец. Эта электродвижущая сила и является источником сигнала ЯМР.



В ИМПУЛЬСНОМ МЕТОДЕ сигнал ЯМР наблюдается после прекращения подачи радиочастотной энергии, вызывающей прецессию. На диаграммах система координат изображена вращающейся со средней ларморовой частотой. После выключения РЧ-импульса результирующий вектор магнитного момента M отклонится на угол α и появится компонента вектора M в плоскости $x - y$ (б). В течение короткого промежутка времени сигнал ЯМР максимален (кривая внизу слева). Однако ядра сразу же начинают прецессировать с несколько отличающимися скоростями, что обусловлено магнитными взаимодействиями между ними и слабыми неоднородностями магнитного поля. Поэтому проекция век-

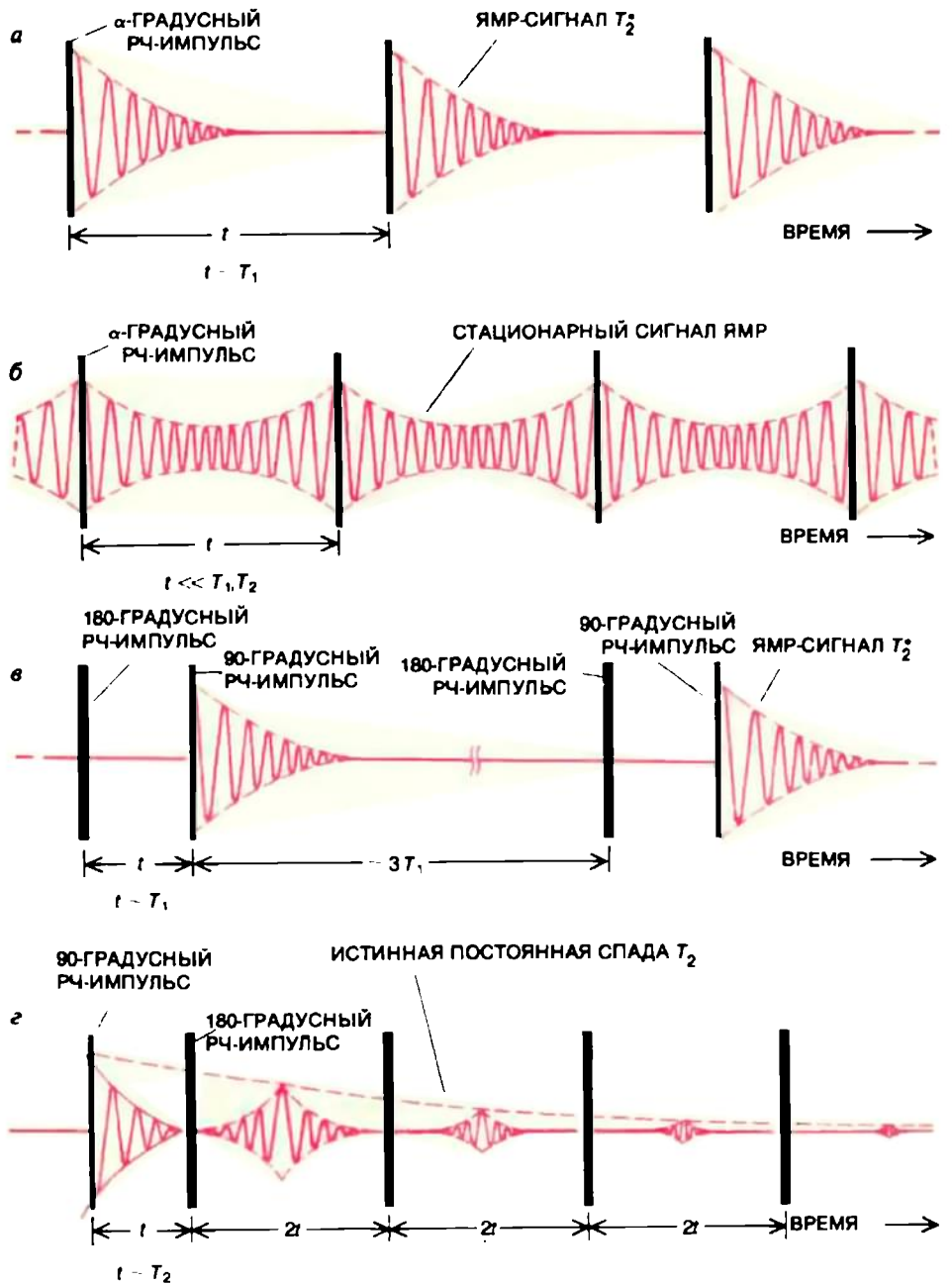
тора M на плоскость $x - y$ уменьшается и амплитуда сигнала убывает с постоянной времени T_2^* (в, г). Если магнитное поле B_0 очень однородно, то время спада сигнала будет больше и постоянной времени будет равна T_2 — времени спин-спиновой релаксации. Одновременно будет возрастать продольная компонента намагниченности, так как M возвращается к равновесному положению вдоль оси z (д). Этот процесс определяется временем T_1 (время спин-решеточной релаксации), необходимым для того, чтобы спиновая система вернулась в состояние термического равновесия (кривая внизу справа).

ного поля постоянны и могут быть выявлены и исключены. Для этого можно вернуть сигнал в форме «спигового эха» или серии сигналов «спигового эха», применяя набор РЧ-импульсов — так называемую последовательность Карра — Перселла. В этом случае начальный сигнал спада свободной индукции и каждое импульсное спиновое эхо убывают с постоянной времени T_2 , но амплитуда пиков последовательных спиновых эхо убывает с постоянной времени, равной истинному значению T_2 для данного образца.

Другое время T_1 известно как время спин-решеточной, или продольной, релаксации; T_1 — мера времени, необходимого для того, чтобы спиновая система вернулась в состояние термического равновесия с окружением («решеткой») после действия возбуждающего импульса. В терминах квантовой механики флуктуирующие магнитные поля ядер, составляющих решетку, должны иметь соответствующие частотные компоненты для возбуждения обратных переходов с верхнего магнитного уровня энергии в основное состояние. В твердых телах и образцах при низких температурах, где молекулы и атомы почти неподвижны, таких компонент будет мало и T_1 может достигать нескольких часов. Для протонов в чистых простых жидкостях, таких, как дистиллированная вода, T_1 и T_2 почти одинаковы (несколько секунд), что свидетельствует о зависимости обоих времен релаксации от флуктуирующих внутренних магнитных полей.

Для жидкостей и подобных материалов отношение T_2 к T_1 стремится к единице, но для твердых тел оно очень мало. Внутримолекулярные («диполь-дипольные») магнитные взаимодействия, которые обуславливают очень небольшое время T_2 в твердых телах, могут быть исключены при помощи сложных многоимпульсных циклов. Однако такие циклы пока не используются для получения ЯМР-изображений в медицине, так как в биологических объектах заметные сигналы дают участки, структура которых близка к жидкости.

Мы показали, что можно измерить истинное время релаксации T_2 для данного материала. Можно также определить истинное значение T_1 ; это достигается подачей второго импульса после исчезновения сигнала, но до того, как полностью завершится спин-решеточная релаксация. Второй импульс вызывает еще один сигнал свободной индукции, но амплитуда его будет меньше. Причина этого заключается в том, что амплитуда второго сигнала пропорциональна продольной компоненте намагниченности, направленной вдоль оси z перед подачей импульса. Перед первым возбуждающим импульсом все ядра ориентированы по полю, и поэтому получаемый сигнал максимален.

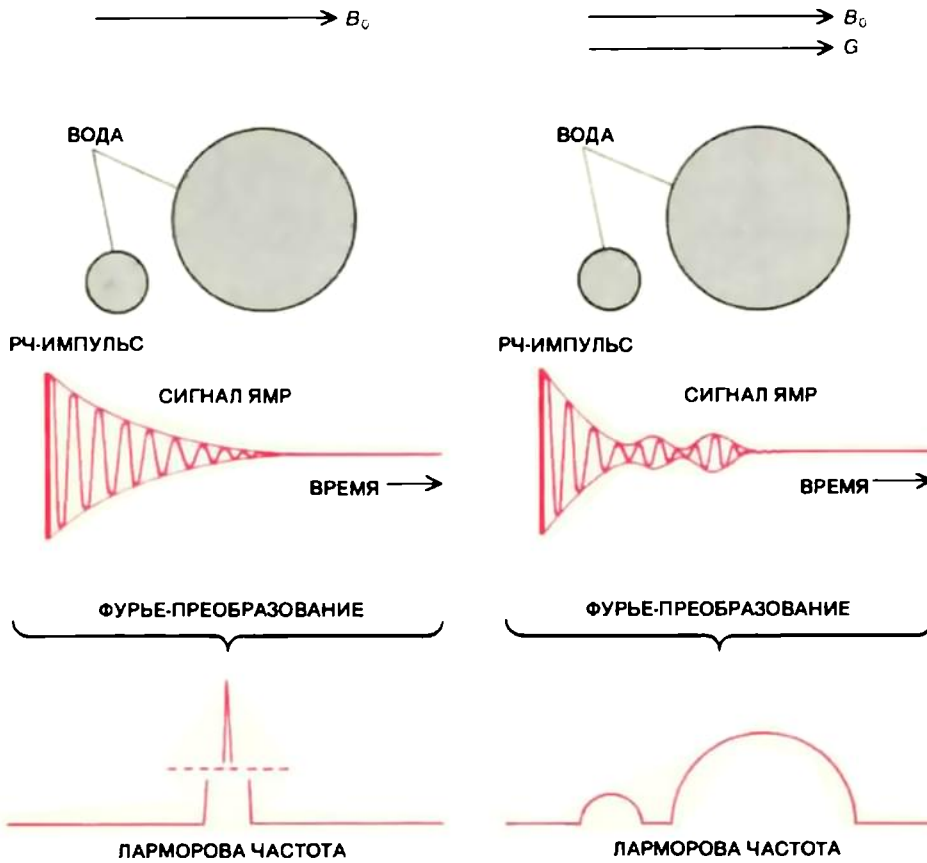


РАЗНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ, которые выделяют соответствующие характеристики сигнала ЯМР, можно использовать для изменения контрастности ЯМР-изображений. В последовательности «насыщение — восстановление» (а) применяют серию 90-градусных импульсов с интервалом t , который больше времени релаксации T_2 и почти равен T_1 . При изменении t различия значений T_1 в разных частях образца будут проявляться в интенсивности изображения и можно построить «карту значений T_1 ». Если t намного меньше T_2 , то сигнал не будет затухать до нуля между следующими друг за другом импульсами. Таким образом, возникает режим стационарной свободной прецессии, ССП (б). Теперь контрастность изображения можно изменять, варьируя угол α . В последовательности «инверсия — восстановление» (в) вектор намагниченности инвертируется при помощи 180-градусного импульса, а затем «считывается» 90-градусным импульсом. Эта последовательность также характеризует изменения T_1 в образце. Последовательность «спиновое эхо Карра — Перселла» (г) состоит из 90-градусного импульса, сопровождаемого серией 180-градусных импульсов. В этом случае получают изображения, строго зависящие от времени спин-спиновой релаксации T_2 .

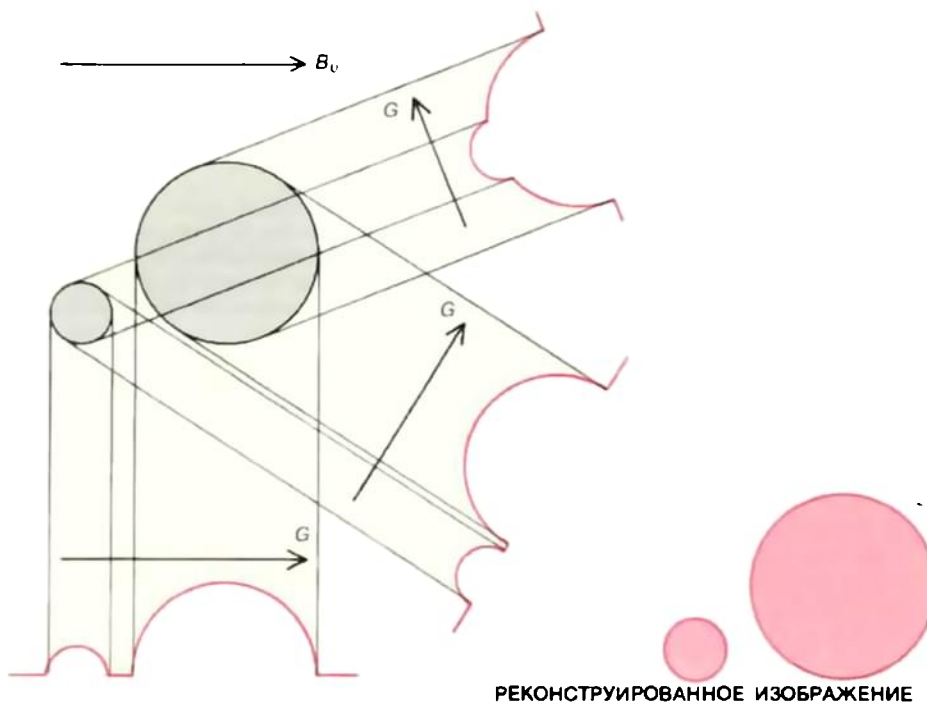
Второй импульс подается в тот момент, когда данная компонента намагниченности продолжает возвращаться к исходному положению, поэтому второй сигнал будет слабее, чем первый. Поскольку компонента намагниченности возвращается к равновесному значению экспоненциально с постоянной

времени T_1 , амплитуды этих двух сигналов являются мерой T_1 .

ПРИ СОЗДАНИИ ЯМР-ИЗОБРАЖЕНИЙ различия значений T_1 могут быть использованы для усиления контраста между отдельными участками в образ-



МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЯМР-ИЗОБРАЖЕНИЯ требуют пространственного «кодирования» сигналов ЯМР. Здесь образцом является вода в двух цилиндрических ампулах, показанных сверху. Сигнал ЯМР водорода, получаемый в ЯМР-спектроскопии, проявляется после фурье-преобразования (математической процедуры, преобразующей зависимость сигнала от времени в зависимость сигнала от частоты) в виде единичного пика (слева). Если к исходному постоянному полю B_0 добавить линейный градиент магнитного поля G , то после фурье-преобразования сигнал примет вид кривой, которая отражает форму образца (справа). Площади под кривыми соответствуют числу протонов в образце, поэтому в случаях однородного поля и поля с градиентом они будут одинаковы.



ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ по проекциям градиент магнитного поля вращается для получения «моментальных снимков» образца под различными углами, перекрывающими сектор величиной не менее 180° . Из такого набора значений ЭВМ может построить изображение поперечного сечения образца. Этот метод аналогичен рентгеновской вычислительной томографии (РВТ).

цах мягких тканей. Разность значений T_1 может быть определена при помощи серии импульсов, таких, как, например, последовательность «насыщение — восстановление». В этом случае образец подвергают действию ряда РЧ-импульсов с постоянным интервалом между ними. Когда происходит полная спин-спиновая релаксация (T_2) в течение каждого интервала между импульсами, амплитуда сигнала свободной индукции будет зависеть от T_1 и плотности ядер в молекулах жидких веществ, обуславливающих сигнал. Связь с интенсивностью сигнала будет следующей: на участках ЯМР-изображения, где T_1 велико по сравнению с интервалами между импульсами, интенсивность будет ниже.

Такая методика дает изображения, называемые взвешенными по T_1 . Если два или более изображений созданы с разным интервалом между импульсами, то из полученных данных можно рассчитать значение T_1 для каждой точки или элемента изображения (pixel) независимо от спиновой плотности. В результате получается «карта значений T_1 ». Разности T_1 очень удобны для построения изображений при помощи протонного магнитного резонанса, поскольку для мягких тканей они намного больше соответствующих разностей плотности подвижных протонов.

Если импульсы подаются так часто, что сигнал не успевает затухнуть до нуля в интервале между ними, то устанавливается другой стационарный режим, при котором интенсивность зависит от T_2 так же, как и от T_1 . Такой режим называют стационарной свободной прецессией (ССП). Хотя методом СПП были получены изображения очень высокого качества, в них совсем не просто выделить индивидуальный вклад T_1 и T_2 в интенсивность изображения.

Другая часто применяемая последовательность импульсов — так называемая «инверсия — восстановление» — аналогична серии «насыщение — восстановление», в которой также усиливаются изменения величин T_1 в образце. В этом случае вектор объемной намагниченности сначала инвертируется при помощи 180° -градусного импульса. Релаксация, которая описывается временем T_1 , происходит в течение выбранного интервала между импульсами. Затем подается 90° -градусный «считывающий» импульс. Сигнал свободной индукции, который следует за считывающим импульсом, служит для формирования изображения.

Последовательность «инверсия — восстановление» дает изображение с большой контрастностью, чем серия «насыщение — восстановление», но при этом увеличивается время получения изображения или ухудшается пространственное разрешение. Причина

этого заключается в том, что для устранения ошибок в определении T_1 перед повторением пары 180- и 90-градусного импульсов необходим временной интервал, равный по крайней мере трем T_1 . Карты значений T_1 можно получить и из последовательности импульсов «инверсия — восстановление». Упомянутый выше метод спинного эха пригоден для формирования изображения, зависящих от времени спин-спиновой релаксации T_2 .

Следовательно, выбирая подходящую последовательность импульсов, получают изображение, по интенсивности которого можно определить один или несколько параметров ЯМР, характеризующих исследуемую ткань. Эти параметры, в свою очередь, чувствительны к физико-химическому окружению ядер. Таким образом, ЯМР-интроскопию, может быть, удастся использовать для ранней диагностики заболеваний и контроля за их течением.

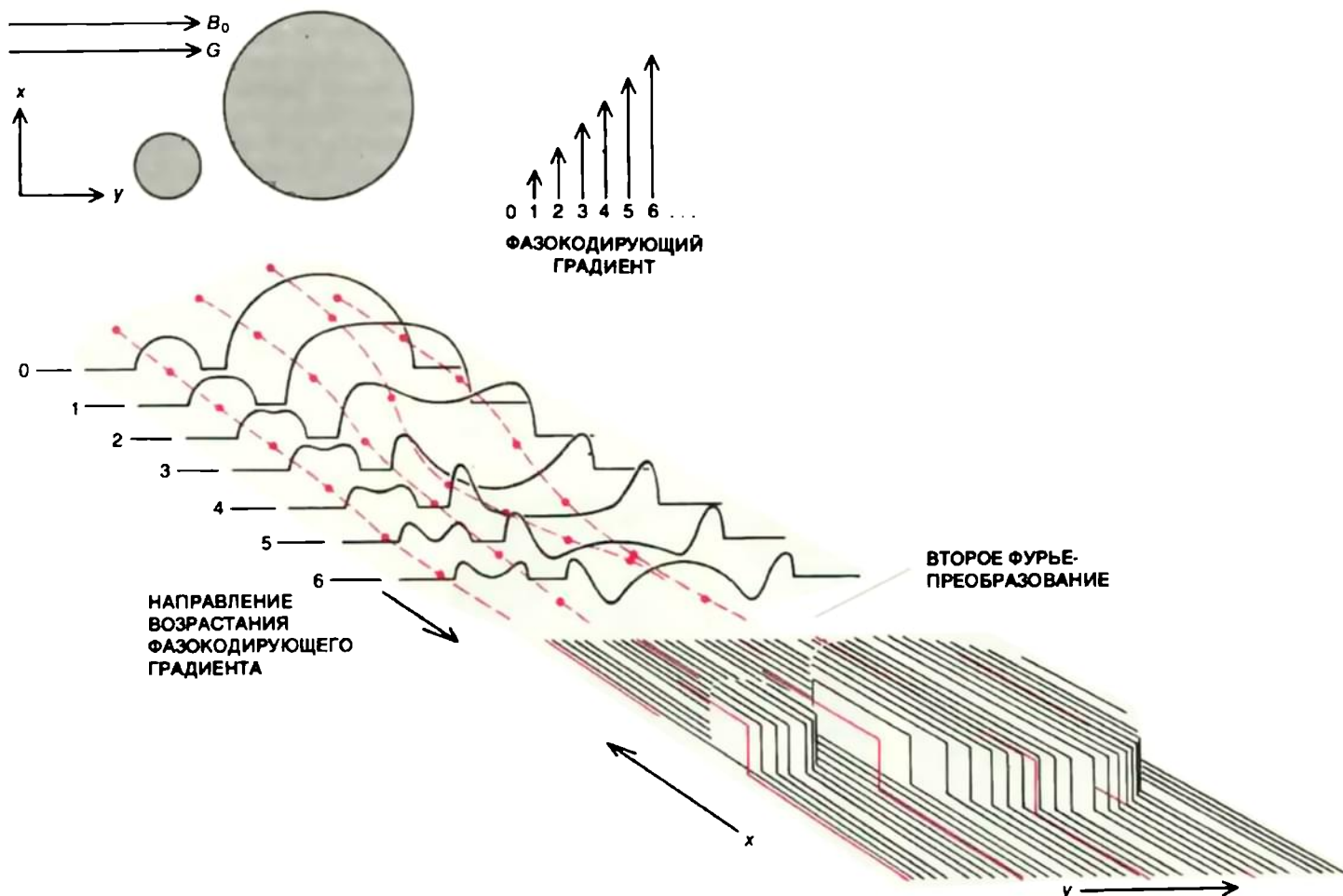
ОПИСАННЫЕ методы обработки данных применяются не только в

ЯМР-интроскопии, но и в ЯМР-спектроскопии, когда сигнал характеризует образец в целом. Но если сигнал ядерного магнитного резонанса приходит от всего образца, каким образом его можно кодировать пространственной информацией? Еще в 1951 г. Р. Габийяр из Высшего педагогического училища (Париж) поставил вопрос иначе и использовал ЯМР для измерения неоднородностей магнитного поля. Он обнаружил, что сигнал ЯМР может искажаться в соответствии с формой и размерами образца. Это явление было правильно приписано влиянию неоднородностей постоянного магнитного поля. Степень искажения зависит от того, какая часть образца находится в областях с неоднородным полем, и от величины этих неоднородностей.

При разработке приборов для изучения ЯМР прилагаются большие усилия для того, чтобы устранить влияние размеров образца на сигнал путем создания магнитов с полями все возрастающей стабильности и однородности. Эти поиски вполне могли задержать развитие ЯМР-интроскопии,

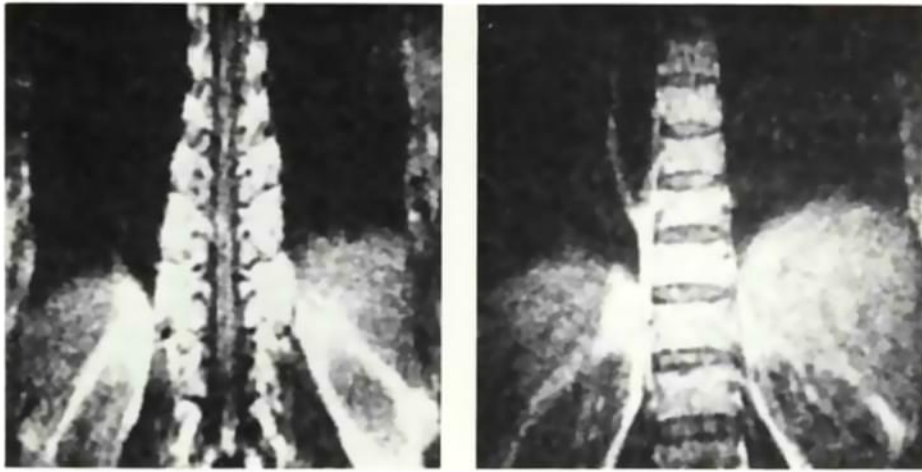
поскольку для получения ЯМР-изображения необходима существенная неоднородность поля; обычно для этого на него налагают линейный градиент магнитного поля.

Основная причина достижения однородности постоянного поля магнитов заключается в том, что ЯМР-спектроскопистам нужно измерять весьма малый «химический сдвиг» в образцах со сложной структурой молекул. Можно предположить, что все ядра одного образца в однородном магнитном поле имеют одинаковую резонансную частоту; иначе говоря, можно ожидать, что в спектре ЯМР будет наблюдаться одиночный узкий пик. В образцах, состоящих из простых молекул (например, для протонов в чистой воде), это действительно так. Однако в более сложных молекулах магнитное поле вокруг некоторых ядер слегка изменяется в результате влияния «экранирующих токов», связанных с распределением электронов вокруг соседних ядер. Эти изменения вызывают сдвиги резонансной частоты, которые специфичны для данной молекулярной

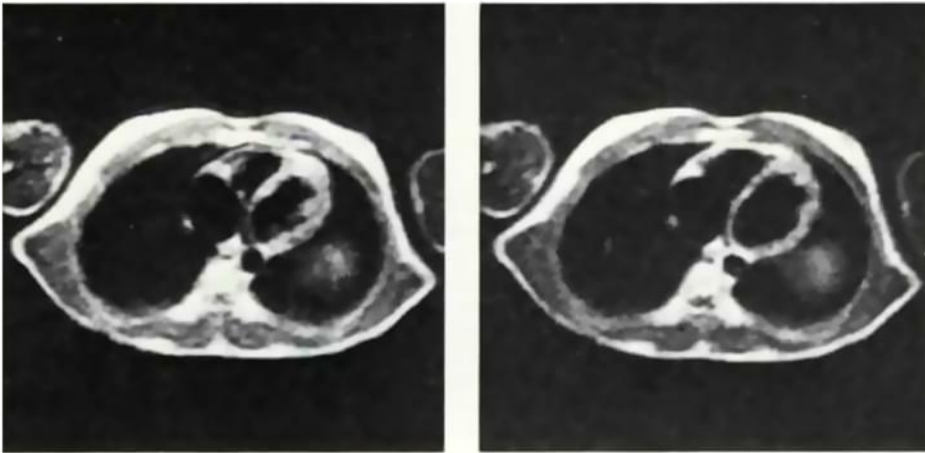


В ДВУМЕРНОЙ ФУРЬЕ-ЯМР-ИНТРОСКОПИИ (ФУРЬЕ-ЗОЙГМАТОГРАФИИ) дополнительный градиент магнитного поля накладывается на короткое время прямо перед включением «обычного» градиента G . Этот новый фазокодирующий градиент налагается перпендикулярно основному градиенту, и его амплитуда последовательно увеличивается от нуля. Эффект влияния обоих градиентов на сигнал ЯМР таков, что после фурье-преобразования формируется се-

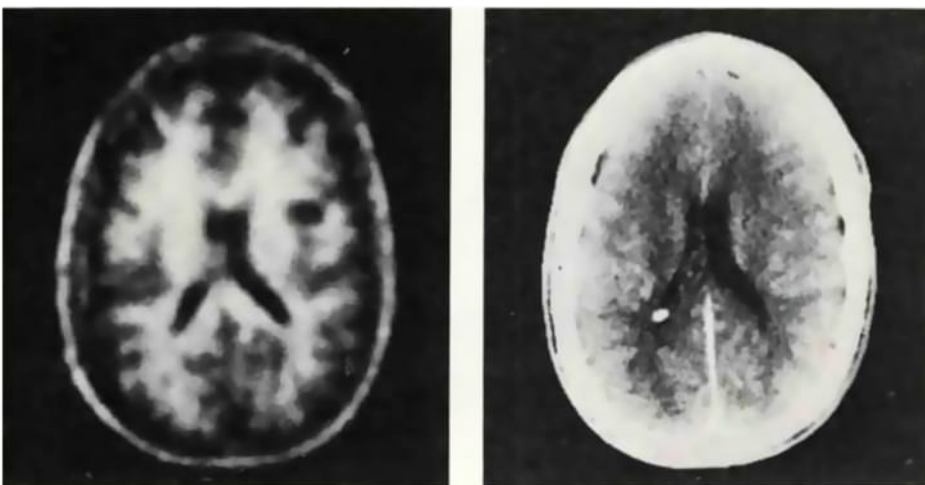
рия проекций с возрастающим «перекосом фазы». Соответствующие точки каждой проекции (красные пунктирные линии) подвергаются второму фурье-преобразованию для получения конечного изображения. Термин «зойгматография» происходит от греческого слова $\zeta\omicron\upsilon\gamma\mu\alpha$ — «то, что связывает вместе». Здесь это касается способа связывания в образце РЧ-поля с градиентом магнитного поля.



ПОЯСНИЧНЫЙ ОТДЕЛ ПОЗВОНОЧНОГО СТОЛБА ЧЕЛОВЕКА изображен в двух реконструкциях, полученных из трехмерного набора данных ЯМР. *Слева* — спинной мозг внутри спинномозгового канала; *справа* плоскость изображения сдвинута на несколько сантиметров, чтобы выявить межпозвоночные диски. Очень трудно получить четкие изображения такого большого участка позвоночника при помощи РВТ или каким-либо другим методом. Изображения получены на приборе фирмы Technicare.



СТРОБИРОВАННЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ СЕРДЦА представлены при помощи ЯМР-сечений грудной клетки человека. (Два меньших пятна по обеим сторонам грудной клетки — руки.) *Слева* изображено сердце в конце систолы, когда камеры сердца пусты. *Справа* показан конец диастолы, когда сердце наполнено кровью. Изображения были получены стробированием (синхронизацией) регистрируемых данных для обеспечения соответствия с фазой сердечного цикла (прибор фирмы Technicare).



ИЗОБРАЖЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ ЯМР И МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТОМОГРАФИИ, можно сравнить по этим двум поперечным сечениям мозга, в котором имелась опухоль. На ЯМР-изображении (*слева*), реконструированном из трехмерного набора данных, опухоль проявляется как темная округлая область в правой части мозга. На рентгеновской томограмме (*справа*) опухоль почти не видна. Изображения получены в Массачусетской больнице общего типа, приведены с разрешения Journal of Computerized Axial Tomography.

структуры; таким образом, появляется возможность непосредственно определять химическую структуру.

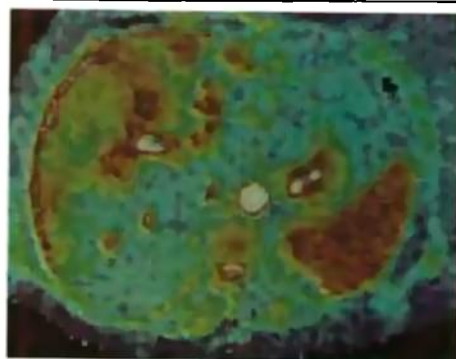
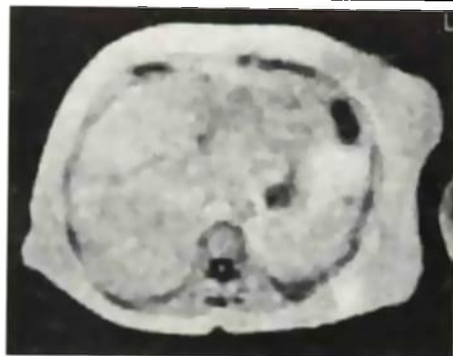
ХИМИЧЕСКИЕ сдвиги очень малы, они измеряются в миллионных долях по отношению к напряженности магнитного поля; этим объясняется то, что пришлось приложить большие усилия для создания магнитов с очень однородными полями. В современных системах, строящих ЯМР-изображения, магнитное поле недостаточно однородно для информативного выявления химических сдвигов. Кроме того, сама по себе процедура создания изображения (особенно применение градиентов поля) обычно мешает выделению такой информации.

Впервые ЯМР-изображения опубликовал П. Лаутербур из Университета шт. Нью-Йорк в Стоуни-Брук. В 1973 г. в своей статье он привел изображения двух наполненных водой ампул, полученные на модифицированном ЯМР-спектрометре. Образец можно рассматривать как среду, которая связывает РЧ-поле и градиент магнитного поля, поэтому Лаутербур назвал свой метод «зюйгматографией», от греческого слова *ζωδμα* — «то, что соединяет вместе».

Можно разработать системы для регистрации данных от одной точки, от линии, от плоскости или сразу от трехмерного объема. В методах точечного или линейного сканирования изображение можно получать, перемещая при помощи электронных схем выбранную точку или линию в образце в соответствующем растре, т.е. в кадровой развертке, однако такие методы были вытеснены дву- и трехмерными методами, которые намного эффективнее.

Для получения одного измерения в большинстве дву- и трехмерных методов следует применять линейный градиент магнитного поля. Разрешение по второму и третьему измерениям можно получить, последовательно изменяя величину градиента или направление по определенной сетке значений. Есть и другие способы. Уникальность метода зюйгматографии во вращающейся системе координат, о котором впервые сообщил Д. Холт из Национального института стоматологических исследований, состоит в том, что используется как градиент постоянного магнитного поля, так и градиент РЧ-поля. П. Мэнсфилд из Ноттингемского университета разработал высокоскоростной метод «планарного спинового эха», который дает полное пространственно-разрешенное изображение после одного РЧ-импульса.

Первые изображения, полученные Лаутербуром, заимствовали машинные алгоритмы создания изображений, которые применялись в рентгеновской вычислительной томографии. Если образец воды поместить в одно-



ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ ТЕЛА БОЛЬНОГО РАКОМ, показанное на этих двух ЯМР-изображениях, получили Дж. Хатчисон, Ф. Смит, Дж. Маллард и их сотрудники на медицинском факультете в Абердинском университете (на приборе с напряженностью поля 0,04 Т). Черно-белое изображение соответствует распределению протонов. Цветное изображение представляет собой синтез при помощи ЭВМ серии изображений, полученных при изменении последовательности им-

пульсов для распознавания тканей на основании различий во времени релаксации T_1 . Цветное кодирование было применено для усиления различий. У больного был рак прямой кишки, причем опухоль распространялась в печень. Ткань нормальной печени видна как светло-голубая область. Пораженные раком области окрашены в желто-коричневый цвет. Спинальный мозг и спинномозговой канал лучше видны на изображении протонного распределения.

родное магнитное поле, то в спектре ЯМР будет наблюдаться одиночный узкий пик. Когда магнитное поле однородно, ширина пика не зависит от геометрии образца. Если же налагать поле с линейным градиентом, то резонирующие ядра на одном конце образца будут «чувствовать» более слабое магнитное поле, чем на другом. Таким образом, вдоль образца создается линейное распределение ларморовых частот. Затем можно провести фурье-преобразование сигнала свободной индукции. Фурье-анализ — это математическая процедура, которая преобразует зависимость сигнала ЯМР от времени в зависимость этого сигнала от частоты.

В результате получается спектр, форма которого соответствует одномерной проекции сигнала ЯМР на частотную ось. Вращая градиент магнитного поля при помощи электронной схемы, можно менять в небольших пределах угол, под которым берется проекция. Анализ при помощи ЭВМ многих таких проекций реконструирует геометрию образца. В двумерном варианте этого метода направление градиента вращается в одной плоскости, в трехмерном — градиент вращается в трехмерной области, составляющей по крайней мере полусферу.

Двумерные фурье-преобразованные изображения (фурье-зюгматогаммы) впервые были продемонстрированы в 1975 г. А. Кумаром, Д. Велти и Р. Эрнстом из Шведского федерального технологического института. Этот метод ближе к ЯМР-спектроскопии, чем к алгоритмам в РВТ, поскольку и амплитудная и фазовая информация используется для пространственного кодирования сигнала. Для выполнения первого шага требуется сформировать одномерную проекцию, но при этом фазокодирующий градиент налагается непосредственно перед включением начального градиента. Фазокодирующий градиент налагается перпендикулярно начальному, и его продолжительность (или амплитуда) последовательно воз-

растает от нуля в отличие от вращения градиента, применявшегося в первоначальном варианте метода зюгматогаммы. Фазокодирующие проекции располагаются одна за другой по порядку возрастания фазокодирующего градиента, а соответствующие точки из каждой проекции вторично подвергаются фурье-преобразованию для получения конечного изображения (см. рисунок на с. 25).

ЯДЕРНЫЙ магнитный резонанс — в своей основе трехмерное явление. Поскольку сигналы ЯМР обычно получаются от всего объема образца, заключенного внутри передающей и приемной катушек, требуется большая изобретательность для того, чтобы уменьшить объем, из которого приходят сигналы к определенным точкам, линиям или плоскостям. В так называемом методе селективного возбуждения РЧ-импульс специальным способом формируется так, что он содержит очень узкую полосу частот. Только те ядра, которые лежат внутри одного тонкого слоя, перпендикулярного направлению градиента, выбирающего плоскость изображения, будут проявлять резонансные частоты, соответствующие частотам возбуждающего импульса. Следовательно, только тонкая изолированная пластина материала будет облучена. Толщина или положение пластины может варьироваться при помощи электронной схемы путем изменения ширины или частотного сдвига облучающего спектра.

По второму методу, разработанному У. Хиншоу, который тогда работал в Ноттингемском университете, для выбора конкретной плоскости налагается осциллирующее магнитное поле. В этом методе направление градиента поля, выбирающего плоскость, периодически изменяется, часто по закону синуса. Тогда через линию, на которой градиент равен нулю, проходит только одна плоскость, где магнитное поле остается постоянным во времени. Сиг-

налы от участков образца, не лежащих в одной плоскости, сильно зависят от времени и не дают вклада в изображение. Мы упомянули только два из возможных методов выбора плоскости.

Хотя объемные методы имеют существенные преимущества, им присущи и некоторые технические недостатки. Массив поступающих данных требует применения ЭВМ с большими возможностями по обработке и хранению информации. Например, для создания трехмерного изображения, содержащего 256 точек в каждом направлении с 256 уровнями интенсивности сигнала (по 8 бит каждый) на каждую точку, необходима система с памятью объемом более чем 134 Мбит ($256^3 \times 8$). Более того, для однозначного определения всех точек в такой трехмерной матрице данных требуется много последовательных значений градиента поля или его направления. Это увеличивает время сбора данных, особенно при построении карты значений T_1 . Поэтому иногда лучше создать несколько избранных двумерных изображений. Хотя и справедливо, что одно двумерное изображение обычно можно получить за меньшее время, чем истинное трехмерное изображение, последнее легко расчленил на огромное число «срезов», так что время построения изображения одной плоскости намного уменьшается.

Пространственное разрешение в трехмерном наборе данных обычно изотропно, т.е. одинаково по всем направлениям. Поэтому двумерные сечения выбранной толщины с любым положением и ориентацией можно реконструировать, если трехмерный набор данных уже получен. Имея трехмерный набор данных, поверхности можно реконструировать при помощи ЭВМ, что позволяет клиницисту определить объем органа или патологические изменения.

В медицинской практике при выборе конкретного метода создания изображений необходимо учитывать много факторов, особенно временную шкалу

непроизвольных движений исследуемой ткани. Например, голова хорошо поддается трехмерному изображению, так как ее можно фиксировать в ходе сканирования. В то же время для исследования сердца, которое непрерывно бьется, нужно разработать либо высокоскоростной метод создания изображений, либо такой метод, который будет «стробировать», т.е. синхронизировать данные, полученные по сериям кардиоциклов.

Для создания ЯМР-изображений используется аппаратура, действие которой основано на тех же принципах, что и в ЯМР-спектроскопии. Многие ранние исследования действительно проводились на модифицированных ЯМР-спектрометрах. Отношение сигнал/шум для ЯМР-изображения можно улучшить, увеличивая напряженность поля. При увеличении напряженности поля ларморова частота ядер исследуемого образца линейно возрастает, поэтому необходима более высокая частота поля. Возникает новое затруднение, так как поглощение и передаваемого и принимаемого сигналов усиливается при увеличении частоты. Для получения изображения тела человека это затухание может стать лимитиру-

ющим фактором, если частота превышает 15 МГц, что для протонов соответствует полю 0,35 Т (3500 Гс). Такая напряженность поля в ЯМР-спектроскопии считается низкой, но в ЯМР-интроскопии большой рабочий объем, в котором требуется создать однородное магнитное поле, предъявляет новые требования к конструкции магнитов.

В настоящее время имеются две системы: четырехкатушечный магнит без сердечника с воздушной рубашкой охлаждения и охлаждаемый жидким гелием сверхпроводящий магнит с большим диаметром отверстия. ЯМР-системы с обычными не сверхпроводящими магнитами дешевле и вполне пригодны для получения изображения тела человека при полях не более 0,2 Т. Для такого поля необходима энергия примерно 50 кВт, и проблема охлаждения поддается решению. Сверхпроводящие магниты, номинально стоящие дороже, дешевле в эксплуатации и создают поля, которые сильнее и стабильнее тех, которые дают резистивные магниты. Таким образом, сверхпроводящие магниты предпочтительны, если необходимо отобразить резонансную картину не протонов, а других ядер, что достигается только в значительно более сильных полях. Напри-

мер, изображение ^{31}P при 15 МГц требует поля 0,87 Т. Одна компонента прибора для получения ЯМР-изображений обычно отсутствует в ЯМР-спектрометрах — это система градиентных катушек для создания линейного градиента поля, амплитуда которого иногда должна очень быстро изменяться. Конкурирующие требования больших градиентов и коротких времен стимулировали многие оригинальные разработки.

Следует подчеркнуть, что пространственное разрешение ЯМР-изображения не зависит от длины волны излучения, создающего изображение, как в других системах, строящих изображения. (Длина волны излучения при 15 МГц в свободном пространстве составляет 20 м.) В ЯМР-интроскопии пространственное разрешение зависит от однородности магнитного поля и напряженности градиентных полей. Время релаксации T_2^* является основным параметром спада сигнала в системах, строящих ЯМР-изображения, и поэтому T_2^* определяет ширину линий в спектре ЯМР. Величина градиентных полей должна быть достаточной, чтобы разности частот между соседними элементами в конечном изображении превышали ширину линий за счет T_2^* . Однако некоторые методы

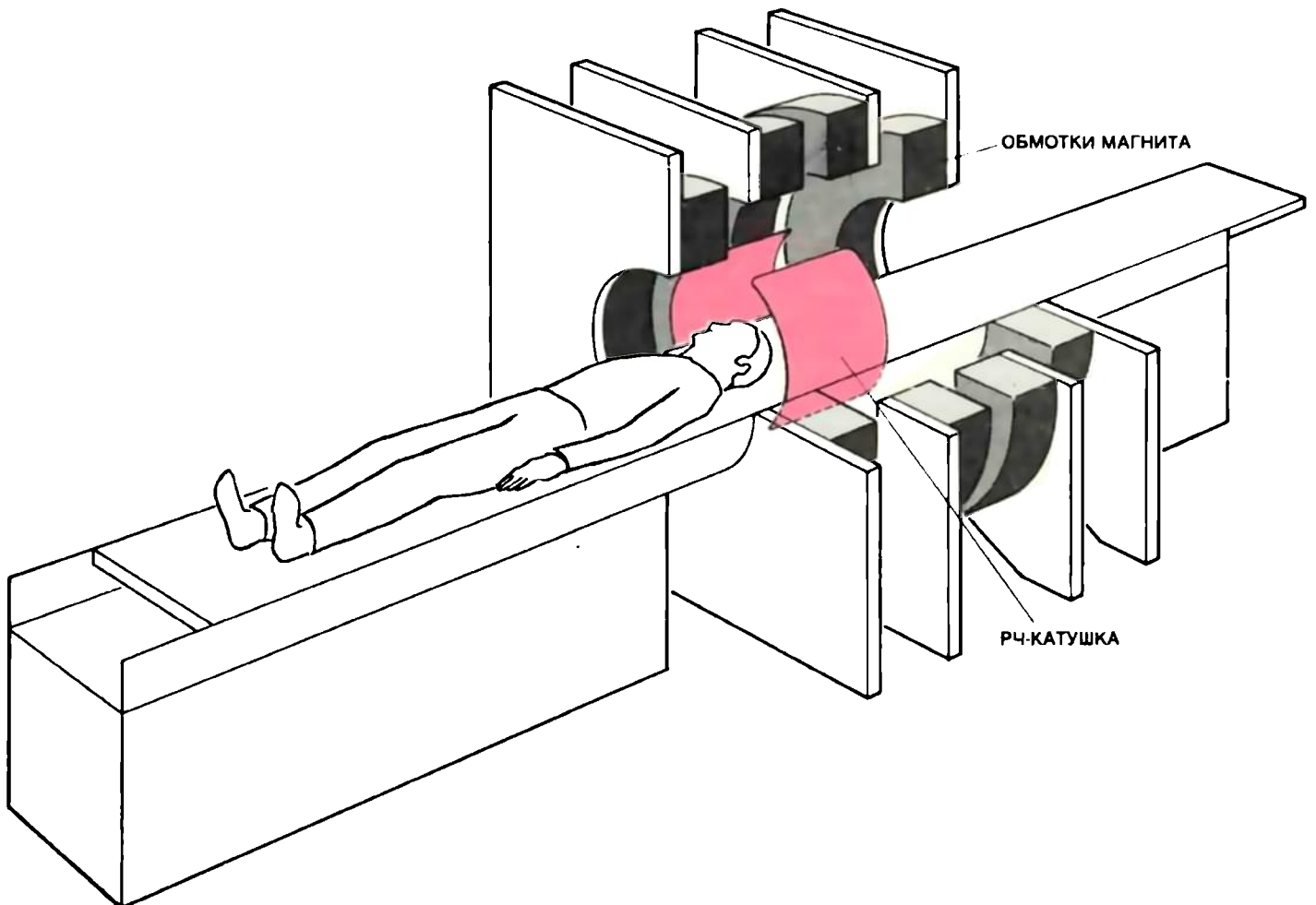


СХЕМА МАГНИТА ДЛЯ ЯМР-ИНТРОСКОПИИ. Четыре обмотки магнита создают постоянное поле (B_0). РЧ-импульс генерируется катушкой, выполненной в форме двух изогнутых панелей. ЯМР-сигналы, возбужденные РЧ-импульсами, ре-

гистрируются той же катушкой и передаются в ЭВМ. В более дорогостоящих системах с более сильными магнитными полями используются сверхпроводящие магниты.

пространственного кодирования допускают менее строгое соблюдение этого условия по сравнению с другими.

ЯМР-ИНТРОСКОПИЯ делает пока первые шаги в медицине. Чтобы добиться эффективности этого метода при обнаружении патологических изменений в различных частях тела, необходимо собрать большое количество систематических сведений. На основе ранних клинических результатов, полученных в Массачусетской больнице общего типа на двух приборах фирмы Teschpage, можно предположить, что метод ЯМР может быть полезен для обнаружения некрозов (омертвевших участков) в тканях, ишемии (локальной анемии, вызванной механическим нарушением кровообращения), злокачественных образований и других видов перерождения тканей.

Перспективным представляется метод «ЯМР-меток», т.е. введение в организм контрастных материалов приемом внутрь или в инъекциях. Например, такие парамагнитные ионы, как Mn^{++} , с неспаренными электронами имеют магнитный момент и стремятся ориентироваться в соответствии с постоянным магнитным полем ЯМР-системы. Они слегка усиливают локальные магнитные поля, но значительно изменяют время релаксации чувствительных к ЯМР ядер. Результирующее изменение интенсивности изображения позволяет составить карту распределения парамагнитных примесей. Подобные метки могут играть такую же роль, как метки в радиомедицине. Исследуется возможность применения ЯМР для определения скорости кровотока по основным сосудам. Последние эксперименты показали, что работу сердца в разные моменты его цикла можно «заморозить» при помощи высокоскоростной стробоскопической ЯМР-интроскопии.

Возможно, наиболее перспективным окажется наблюдение резонанса ядер, отличных от водорода, особенно фосфора. Фосфор — основной компонент высокоэнергетических молекул аденозинтрифосфата (АТФ) и креатинфосфата, который играет роль посредника в преобразовании энергии в живой клетке. ЯМР-спектроскопия фосфора в локализованных объемах внутри организма позволяет четко выявить несколько резонансных пиков, отличающихся по химическому сдвигу, высота которых соответствует концентрации отдельных соединений фосфора. Зная эти концентрации, можно судить о метаболическом состоянии внутренних органов, что расширяет возможности описываемого метода. Несомненно, что в ближайшие годы качество ЯМР-изображений будет улучшено и ядерный магнитный резонанс найдет более широкое и разнообразное применение в клинической практике.

Семь гипотез

НОВЫЕ ДАННЫЕ в пользу гипотез о причинах массового вымирания живых организмов, которое, по-видимому, произошло в конце мезозойской эры около 63 млн. лет назад, получены благодаря открытию осадков, обогащенных иридием. Многие виды морских фораминифер исчезли с лица Земли в конце мезозоя (соответствует границе мелового и третичного периодов); то же произошло и со многими видами пресмыкающихся, включая все виды меловых динозавров. У. Альварес и его сотрудники из Калифорнийского университета в Беркли обнаружили аномально высокое содержание иридия в осадках того периода и в 1980 г. выдвинули предположение, согласно которому живые организмы вымерли вследствие столкновения Земли с астероидом диаметром около 10 км. Не все палеонтологи согласны с таким объяснением, однако данные о содержании иридия теперь учитываются во всех гипотезах.

На ежегодном съезде Американской ассоциации борьбы за прогресс науки, состоявшемся в январе 1982 г., обсуждали семь гипотез о причинах массовых вымираний в мезозое. Одним из докладчиков был Альварес; он сообщил о недавнем открытии, которое, по-видимому, ослабляет позицию сторонников теории катастрофы (с этой точки зрения объясняли исчезновение динозавров сам Альварес и его коллеги). На северо-востоке шт. Монтана в районе Хелл-Крик, изобилующем ископаемыми, Альварес и У. Клеменс установили обогащение иридием в основании угольного пласта, датированного палеоценом — первой эпохой третичного периода. Кости последнего из динозавров, обнаруженных в районе Хелл-Крик (бедренная кость *Tyrannosaurus*), залежали на 3 м ниже «иридиевого» горизонта, а остатки типичной палеоценовой фауны — на 2 м ниже него. Таким образом, если судить по данным из района Хелл-Крик, динозавры в этой части Нового Света исчезли задолго до событий, приведших к осадению иридия.

По гипотезе Альвареса, причиной исчезновения организмов было поглощение солнечного излучения тучами пыли, выброшенной в атмосферу. Дж. О'Киф, сотрудник Годдардского центра космических полетов Национального управления по авиации и исследованию космического пространства, согласен с таким объяснением, но считает, что толчком послужило вулканическое извержение на Луне.

Д. Мак-Лин, сотрудник Виргинского политехнического института и Виргинского университета, также придерживается гипотезы вулканической катаст-

рофы, полагая, что она произошла на Земле: в результате колоссального излияния лавы в районе плато Декан поверхность Индийского субконтинента на площади 300 000 км² покрылась слоем лавы мощностью более 2 км. Это извержение, по предположению Мак-Лина, насытило атмосферу двуокисью углерода и придало поверхностным океанским водам кислую реакцию, в результате чего растворились раковины фораминифер и возник парниковый эффект, губительный для наземных организмов. Гипотеза Мак-Лина объясняет также появление «иридиевого» слоя, не прибегая к предположению о столкновении с астероидом: когда резко сократились популяции океанических организмов, получилось, что скопление обогащенных иридием микрометеоритов на морском дне, созданное непрерывным метеоритным дождем, не разбавлено скелетами планктонных организмов как это бывает обычно.

С. Гартнер из Техасского университета высказался в пользу другого катастрофического события — подвижек континентов. В меловом периоде, утверждает Гартнер, Северный Ледовитый океан представлял собой окруженное сушей озеро, вода которого от постоянных дождей из соленой стала солоноватой. Когда же Гренландия и Норвегия отделились друг от друга, арктические воды вырвались на свободу, покрыв поверхность океанов слоем солоноватой воды толщиной 150 м. Это внезапное изменение среды обитания уничтожило планктон, разрушив тем самым океанические пищевые цепи и вызвав массовую гибель морских организмов. Падение солености океанов дало толчок флуктуациям температуры и режима осадков на суше, что привело к исчезновению наземных видов.

Л. Хикки из Смитсоновского института поддержал гипотезу Клеменса о постепенном исчезновении видов применительно к наземным организмам, однако он считает, что столкновение с небольшим астероидом, достаточное для затемнения неба на короткое время, могло вызвать вымирание морских видов. Наконец, Т. Шопф из Чикагского университета, также сторонник постепенного исчезновения, полагает, что исчезновение видов вообще не было ни массовым, ни внезапным. «Гибель — обычное событие в жизни,» — заявил Шопф на съезде Американской ассоциации за прогресс науки. Что же касается динозавров, то они «имели несчастье жить не в том месте и не в то время — судьба, рано или поздно ожидающая любой вид».

Космические выбросы

Бурная активность в центрах многих галактик проявляется в образовании узких направленных потоков ионизованного газа. Протяженность некоторых из них — несколько световых лет, других — в миллион раз больше

**РОДЖЕР Д.БЛЭНДФОРД, МИТЧЕЛЛ С.БЕДЖЕЛМЕН,
МАРТИН ДЖ.РИС**

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ наблюдения при помощи радиотелескопов показали, что центры многих галактик — области бурной активности. Последние достижения в исследовании этой активности свидетельствуют о том, что она часто проявляется в возникновении своеобразных «космических выбросов», напоминающих след, остающийся за пролетевшей ракетой. Каждый такой «выброс» — узкий поток плазмы (ионизованного газа), исходящий, по-видимому, из центра галактики и испускающий радиоизлучение, по которому он и обнаруживается. Поток может вытягиваться более чем на миллион световых лет и заканчивается в «радиооблаке» — протяженной области округлой формы, также испускающей радиоизлучение и находящейся далеко за пределами оптического изображения галактики. Энергия, заключенная в такой области, может превышать 10^{60} эрг — величину, которая соответствует полному превращению в энергию массы 10 млн. звезд. Хотя некоторые выбросы были известны ранее по оптическим наблюдениям, только в последние годы благодаря новым радиоастрономическим методам было показано, что космические выбросы широко распространены во Вселенной. Четко выраженные выбросы должны возникать при различных условиях, и до сих пор нет общепринятого мнения об их происхождении.

Космические выбросы могут иметь разнообразную форму. Один из наиболее изученных выбросов связан с эллиптической галактикой NGC 6251, которая удалена на 300 млн. световых лет от нашей Галактики. В 1977 г. П. Уэге, П. Уорнер и Дж. Болдуин из Кембриджского университета открыли длинную прямолинейную струю, испускаемую из ядра NGC 6251. Струя имеет угловой размер всего 3° , однако ее протяженность превышает 4000000 световых лет. Узкий конец выброса совпадает с центром галактики, и здесь кембриджские наблюдатели обнаружили небольшой, почти точечный, ис-

точник радиоизлучения. В 1978 г. Э. и М. Козн из Калифорнийского технологического института сумели составить радиокарту этого почти точечного источника. Установлено, что он также представляет собой узкую струю с точечным источником на одном конце. Это напоминает маленькую матрешку, слегка выдвинутую из большой. Малый выброс почти совпадает по направлению с большим, но его протяженность всего три световых года.

Выброс несколько иной формы известен как источник космического радиоизлучения 3C 449 и связан с эллиптической галактикой, удаленной от нас на 100 млн. световых лет. В 1979 г. Р. Перли с сотрудниками, работавшие на Большой антенной решетке (Very Large Array — VLA) близ Сокорро (шт. Нью-Мексико), обнаружили, что из центра этой галактики выбрасываются две струи в противоположных направлениях. В обеих струях заметны несколько резких изгибов. Северный выброс круто изгибается к востоку на расстоянии примерно 100000 световых лет от центра; затем он поворачивает обратно и выгибается в северном направлении, по-видимому, до нового изгиба. Южный выброс также изгибается к востоку, а затем опять поворачивает к югу. Такой зигзагообразный вид имеет несколько выбросов.

Явление выбросов не обязательно связано с другими галактиками. Примечательный пример существует и в нашей Галактике на расстоянии свыше 15000 световых лет от Солнца. Этот объект именуется SS 433. Из анализа оптических наблюдений следует, что из системы двойной звезды выбрасываются в противоположных направлениях две струи со скоростью 80000 км/с, т.е. больше четверти скорости света. Те же выбросы зарегистрированы в радиоизлучении и в рентгеновских лучах. Таким образом, природа способна порождать выбросы в объектах столь легких, как несколько звезд, или столь массивных, как миллиард звезд (масса ядра галактики). Протяженность вы-

бросов может быть короче расстояния от Земли до Солнца или в 10 млрд. раз превышать это расстояние.

ВЫБРОСЫ не новость для астрономов. Еще в 1917 г. Г. Кертис из Ликской обсерватории открыл в большой эллиптической галактике M 87, входящей в состав богатого скопления галактик в созвездии Девы, оптический выброс. Однако только в 1953 г. Р. Дженнисон и М. Дас Гупта из Наффилдовской радиоастрономической лаборатории в Джодрелл Бэнк (близ Манчестера) построили первый радиоинтерферометр — два радиотелескопа были электрически связаны между собой так, что могли регистрировать детали структуры источника радиоизлучения, слишком малые для выявления при помощи одного радиотелескопа. Дженнисон и Дас Гупта направили свой интерферометр на источник Лебедь А, который, как было показано ранее В. Бааде и Р. Минковским из обсерватории Маунт-Вилсон и Паломар, связан с далекой эллиптической галактикой. К своему удивлению, они обнаружили, что радиоизлучение испускается не самой галактикой! Оно исходит из двух диффузных областей, расположенных на противоположных сторонах галактики. Применение радиотелескопов со все возрастающими разрешением и чувствительностью позволило убедиться, что большинство внегалактических источников радиоизлучения, обнаруженных на частотах ниже 1 ГГц, имеют подобную двойную структуру. С 1953 г. одна из важнейших проблем внегалактической астрономии — двойные структуры. Как мы покажем, открытие радиовыбросов значительно приблизило решение этой проблемы.

В конце 60-х и в 70-е годы были построены интерферометры больших размеров, в том числе в Кембриджском университете (Англия), на Вестерброкской обсерватории (Нидерланды) и Национальной радиоастрономической обсерватории (Западная Виргиния,

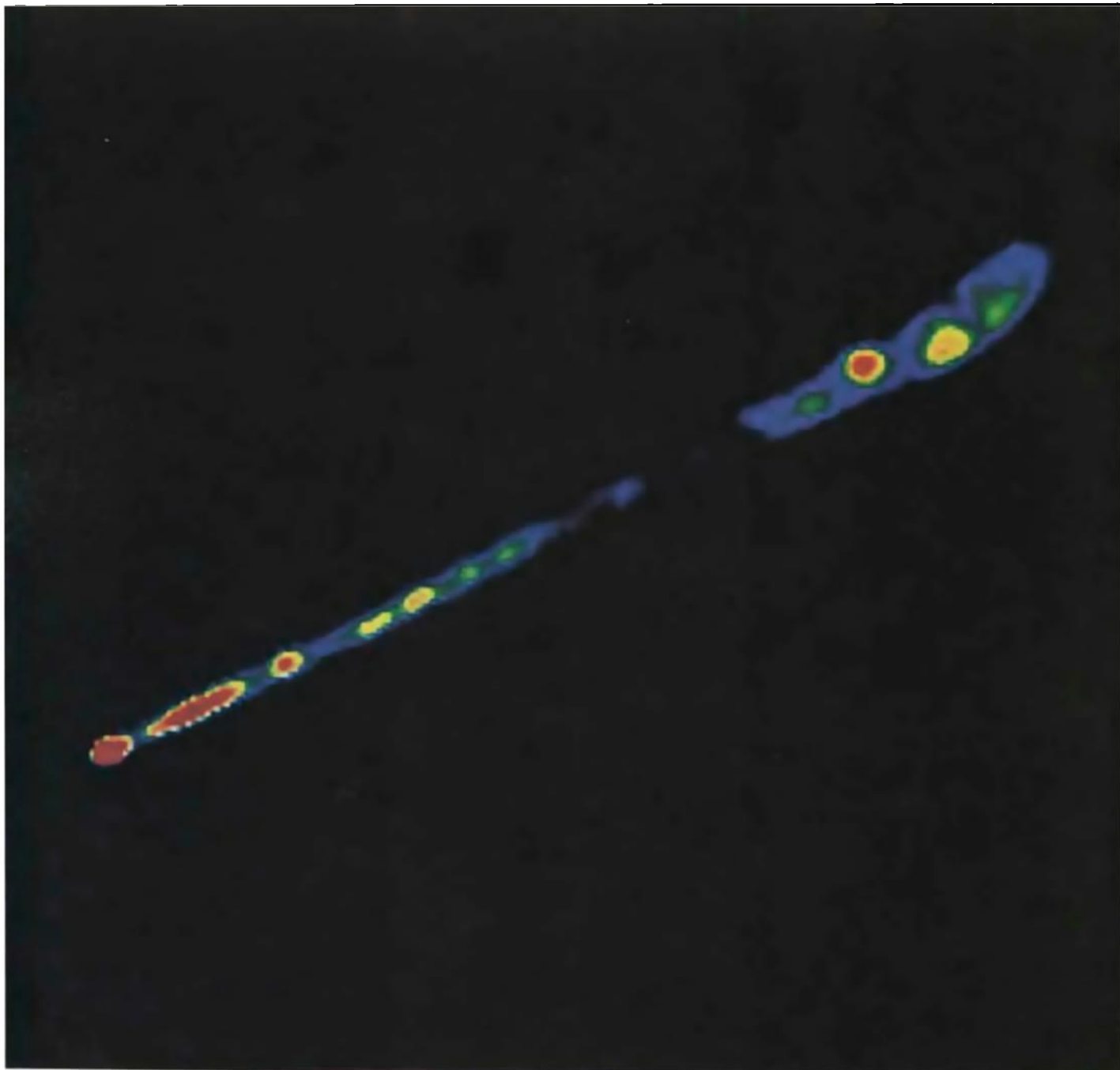
США). Самое последнее достижение — Большая антенная решетка в Нью-Мексико (США). Она состоит из 27 электрически связанных радиотелескопов; диаметр каждого 25 м. Такая система способна разрешать детали, охватывающие на небосводе угол всего в две десятые доли секунды дуги. (Это соответствует десятицентовой монете, рассматриваемой с расстояния 20 км.) В 1971 г. Дж. Майли и К. Уэйд применили интерферометр Национальной радиоастрономической обсерватории для доказательства существования горячих пятен в источнике Лебедь А. Каждое такое пятно — область, испу-

скающая интенсивное излучение в радиодиапазоне.

Обычно пятно находится на внешнем краю каждой протяженной области радиоизлучения у самых ярких двойных источников, подобных Лебедю А. У многих из этих ярчайших источников обнаруживаются эмиссионные «хвосты», или «мосты», малой интенсивности, которые протягиваются от горячих пятен обратно по направлению к центру, где обычно находится компактная область радиоизлучения, называемая ядром. Большинство двойных источников связано, как и Лебедь А, с эллиптической галактикой или ква-

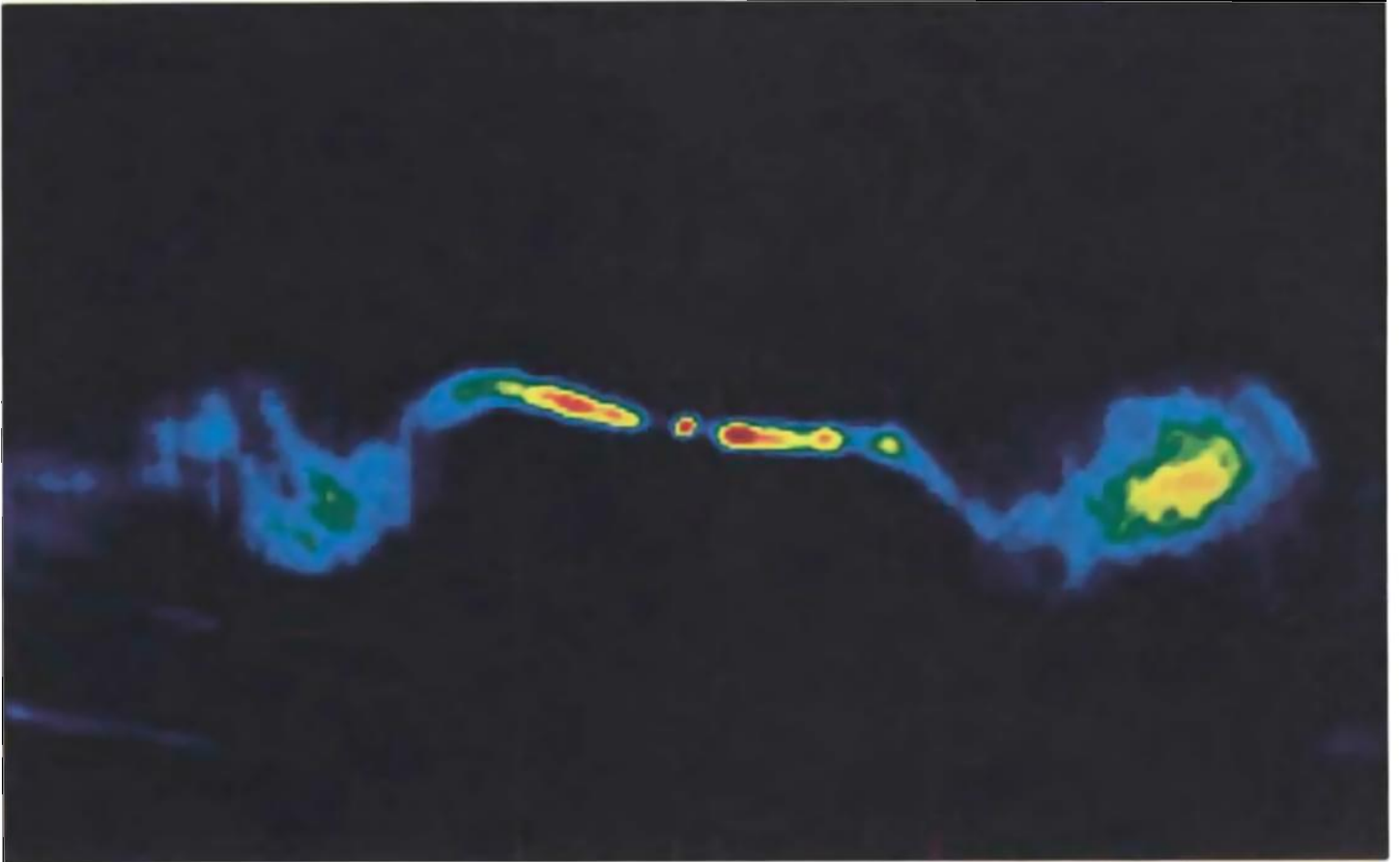
заром (ярким, почти точечным объектом вне нашей Галактики); в подобных случаях ядро неизменно обнаруживается в оптическом центре источника.

РАЗРЕШЕНИЕ радиокарт, построенных с помощью радиоинтерферометров, ограничивается расстояниями между отдельными радиотелескопами: чем больше это расстояние, тем выше разрешение. В Большой антенной решетке это расстояние составляет ~ 32 км. В методе, называемом радиоинтерферометрией со сверхдлинными базами (РСДБ), который был



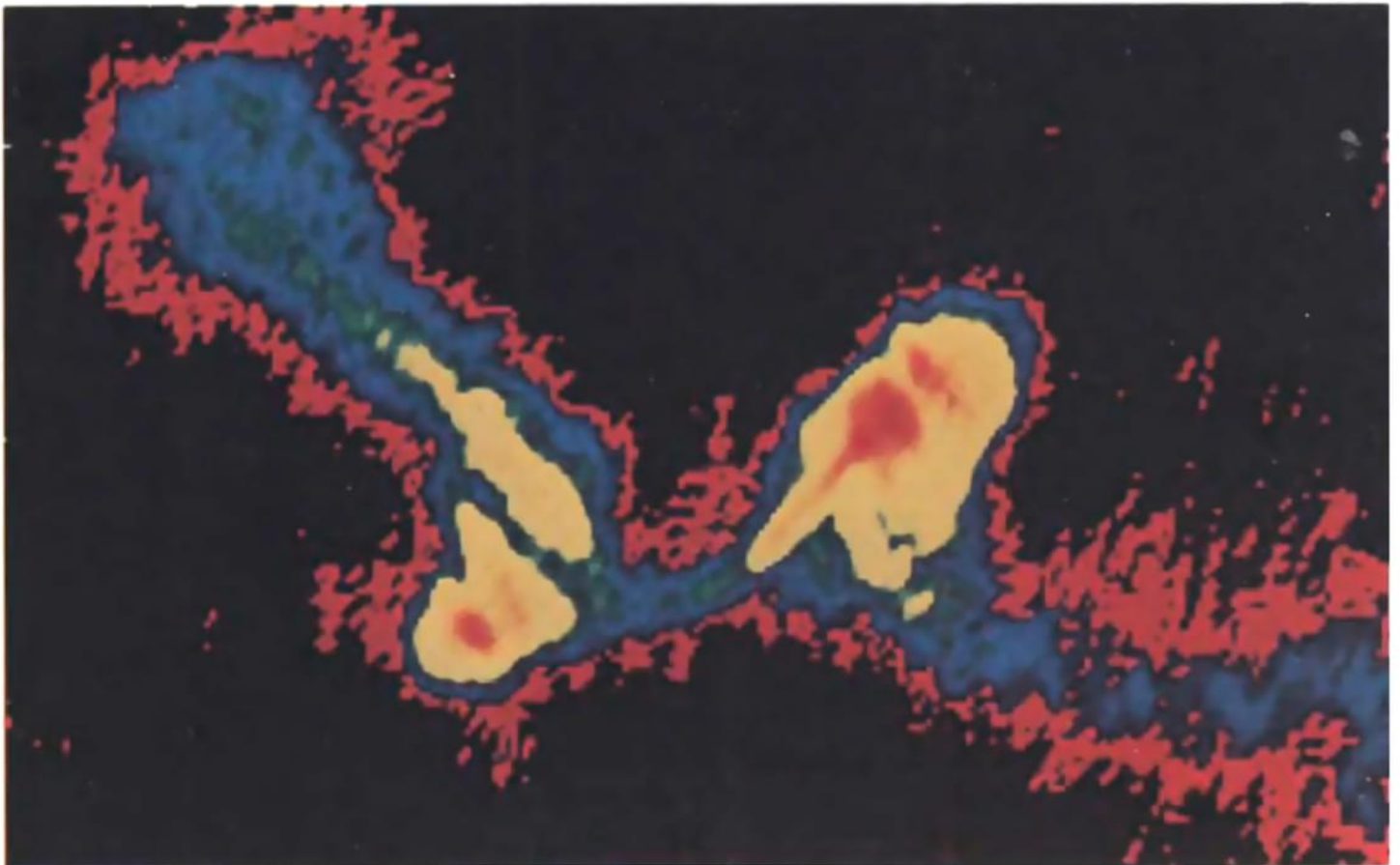
ОДНОСТОРОННИЙ ВЫБРОС протяженностью около 300 000 световых лет находится в 300 млн. световых лет от нашей Галактики. Это — самый прямолинейный из известных выбросов. Его начало (слева внизу) совпадает с центром эллиптической галактики NGC 6251. Известно также, что его начало совпадает с выбросом протяженностью все-

го 3 световых года, который вытянут в том же направлении, что и длинный выброс. Карта радиоизлучения от NGC 6251 и от радиогалактик, показанных на с. 32, сделана в цвете (цвета произвольные) и построена по данным 27 радиотелескопов, образующих Большую антенную решетку (VLA) вблизи г. Сокорро, шт. Нью-Мексико.



ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫЕ ВЫБРОСЫ в источнике радиоизлучения 3C 449 вытягиваются из эллиптической галактики в противоположных направлениях. Каждый выброс изгибается сначала вверх, потом вниз. Затем каждый из них вливается в большое радиооблако. Предполагается,

что выбросы передают энергию от центра галактики в радиоизлучающие области. Зеркально-симметричные изгибы выбросов могут быть вызваны обращением галактики по орбите вокруг другой галактики.



ВЫБРОСЫ С ОБРАЩЕННОЙ СИММЕТРИЕЙ в источнике радиоизлучения 4C 26.03 происходят в противоположных направлениях из эллиптической галактики NGC 326. Здесь один выброс изгибается вверх, а другой вниз. И снова каж-

дый выброс заканчивается в протяженном радиооблаке. Изгиб с обращенной симметрией может быть вызван прецессией источника выбросов (круговым движением оси вращения источника).

разработан одновременно с современным поколением радиointерферометров, радиотелескопы размещаются на разных континентах. Разрешение, которое при этом достигается, соответственно возрастает: можно выявить столь малые детали, как тысячная доля секунды дуги. Этот угол соответствует поперечнику десятицентовой монеты, рассматриваемому с расстояния 4000 км, одному световому году на расстоянии галактики NGC 6251 и 100 световым годам для расстояний самых далеких квазаров.

Такое большое разрешение достигается за счет определенных потерь. Отдельные телескопы не могут быть связаны непосредственно; поэтому радиосигналы приходится записывать на магнитную ленту и сравнивать уже после выполнения наблюдений. Это приводит к потере информации, в результате чего карты, получаемые при помощи радиointерферометрии со сверхдлинными базами, характеризуются меньшей чувствительностью и меньшим числом деталей (в области, охватываемой наблюдениями) по сравнению с картами, полученными путем интерферометрии с более короткой базой. Однако в последние годы астрономы регулярно использовали четыре и более радиотелескопов для работы со сверхдлинными базами; подобные комбинации позволили продвинуться далеко вперед в деле улучшения качества результатов. В настоящее время радиокарты, полученные методом РСДБ, не уступают по качеству картам, полученным при помощи непосредственно связанных телескопов 10 лет назад.

Метод радиointерферометрии со сверхдлинными базами оказался особенно успешным при исследовании ядер источников радиоизлучения. Выяснилось, что ядра имеют детали, которые остаются неразрешенными. Такие детали структуры должны иметь угловые размеры меньше нескольких тысячных секунды дуги. Напротив, горячие пятна в источниках, как правило, не имеют никаких мелкомасштабных деталей. Этот метод оказался также успешным для исследования компактных радиоисточников. Такие источники обычно оптически связаны с далекими квазарами. В каждом из них поток радиоизлучения исходит в основном из малого ядра, а не из протяженных областей. Тем не менее радиоизлучение, хотя и низкой интенсивности, как правило, обнаруживается в области (обычно неправильной формы), окружающей ядро. Компактные радиоисточники часто оказываются переменными по интенсивности с характерными временами колебаний яркости от нескольких месяцев до нескольких лет.

К настоящему времени выбросы обнаружены как при помощи непосредственно связанных радиointерферометров, так и методом РСДБ. Эти объек-

ты наблюдались также при использовании метода, разработанного в Джорджелл Бэнк, в котором радиотелескопы соединены между собой при помощи передатчиков в УКВ-диапазоне. Более 70 известных внегалактических двойных источников имеет крупномасштабные выбросы, испускаемые из центра связанной с радиоисточником галактики, а ядра по меньшей мере шести из двойных источников также показывают наличие мелкомасштабных выбросов. Хотя типичные характеристики такого радиоисточника пока еще окончательно не установлены, некоторые существенные черты уже выявлены.

С одной стороны, крупномасштабные выбросы обнаруживаются преимущественно в слабых, а не в мощных двойных источниках радиоизлучения. Хотя эта особенность частично связана с тем фактом, что большинство мощных источников лежит на очень больших расстояниях от нас, так что их выбросы трудно обнаружить, фактор удаленности не может полностью объяснить указанную особенность. Например, никаких крупномасштабных выбросов не обнаружено у Лебеда А, мощного двойного источника, который относительно близок к нам (расстояние 450 млн. световых лет). Когда мощный двойной источник имеет крупномасштабный выброс, последний обычно наблюдается только с одной стороны от центра, а выброс в противоположном направлении отсутствует. Выбросы, связанные со слабыми радиоисточниками, обычно направлены в обе стороны.

С другой стороны, наблюдения свидетельствуют, что радиоизлучение от внегалактических источников постоянно поляризовано, иными словами, электрические поля радиоволн преимущественно ориентированы вдоль определенного направления на небе. Причина этого известна. Такое радиоизлучение должно возникать в результате синхротронного процесса, в котором электроны, движущиеся со скоростью, близкой к скорости света, ускоряются в магнитном поле и в силу этого генерируют электромагнитные волны. Электроны ускоряются в направлении, перпендикулярном ориентации поля, поэтому синхротронное излучение поляризовано в этом же направлении.

Отсюда следует, что составление карты поляризации для данного источника радиоизлучения может выявить ориентацию магнитного поля в этом источнике. Более того, измеряя степень поляризации, можно оценить, насколько упорядочена (или, напротив, беспорядочна) геометрия магнитного поля. Наблюдения показывают, что в мощных выбросах силовые линии магнитного поля вытянуты параллельно направлению выброса. В слабых выбросах эти линии, как правило, перпендикулярны оси выброса. В выбросах

средней силы часто наблюдается область перехода от параллельного поля вблизи центра связанной с ним галактики к перпендикулярному полю по мере продвижения вдоль выброса.

ЕЩЕ ДО ТОГО как были обнаружены примеры типичных радиовыбросов в двойных источниках радиоизлучения, некоторые теоретики (включая авторов статьи) предполагали, что «радиооблака» в двойном источнике должны непрерывно подпитываться энергией. И поскольку радиоизлучение от ядра двойного источника — явное свидетельство постоянной активности в центре галактики, с которой связан двойной источник, по-видимому, существует «линия передачи» энергии между центром и протяженными радиооблаками. Свидетельством этому служат данные наблюдений, которые подтверждают, что выбросы — это потоки газа, извергаемые из центра галактики. Таким образом, выбросы представляют в радиооблака не только энергию, но и массу, импульс и магнитный поток.

После того как в центре начинается бурная активность, выбросы распространяются вовне через галактику подобно струе воды, которая выбрасывается из шланга. Космические струи проходят сначала сквозь межзвездную среду, а затем сквозь межгалактическую среду. Плотность вещества здесь меняется в среднем от одного атома водорода на 1 см^3 до одного атома водорода на 10^6 см^3 . Распространяющийся выброс должен по пути «расталкивать» окружающее вещество; поэтому его конец движется медленнее, чем газ, текущий в середине выброса. В результате на конце выброса накапливается энергия; в этом и состоит наиболее вероятное объяснение горячего пятна.

Существует мнение, что течение газа в выбросе носит сверхзвуковой характер, иными словами, скорость движения газа выше, чем скорость звуковых волн в газе. Однако, когда газ достигает горячего пятна, он внезапно тормозится. Это вызывает появление ударной волны, распространяющейся по поперечному сечению выброса. Эффект этой волны весьма существен. До того как поток газа достигает ударной волны, его энергия в основном представляет упорядоченную кинетическую энергию. При прохождении через фронт ударной волны большая часть этой энергии преобразуется в две формы: энергию релятивистских электронов (электронов, движущихся со скоростью, близкой к скорости света) и энергию магнитного поля. Поэтому наиболее интенсивное радиоизлучение в двойном радиоисточнике должно генерироваться там, где выброс тормозится под действием окружающего газа.

После торможения в горячих пятнах

вещество выброса течет обратно по направлению к галактике. Таким путем оно растекается в большие облака, которые можно видеть на радиокартах. Возвращающийся поток уносит с собой релятивистские электроны и силовые линии магнитного поля. Газ с электронами и магнитным полем находится в горячем пятне относительно короткое время (от 10^4 до 10^6 лет). Поэтому большая часть энергии радиоисточника сосредоточена в облаках, которые накапливают газ в промежутке времени, вероятно достигающем 100 млн. лет. Энергия, заключенная в облаках, громадна. В таком источнике, как Лебедь А, она, вероятно, соответствует энергии, которая высвободилась бы при полном превращении в энергию массы по крайней мере 100 000 звезд. В еще больших источниках энергия может соответствовать массе миллиона звезд.

Для многих выбросов характерны сильные изгибы. В некоторых случаях это можно объяснить проявлением неустойчивости, возникающей в выбросе, когда он прокладывает себе путь через межгалактическую среду. Тот, кто когда-либо держал в руках гибкий са-

довый шланг, по которому течет вода, знаком с этим явлением. Если лежащий на земле шланг в каком-то месте изогнут, а по нему под напором пущена вода, шланг начнет выгибаться сильнее. Поток воды в шланге неустойчив, потому что вода по внешней стороне изгиба движется немного быстрее, чем по внутренней. Соответственно давление на внешней стороне становится меньше, чем на внутренней, и конфигурация шланга изменяется так, что кривизна его возрастает. Те же физические соображения справедливы и для космических потоков, хотя детали оказываются гораздо более сложными, если поток сверхзвуковой.

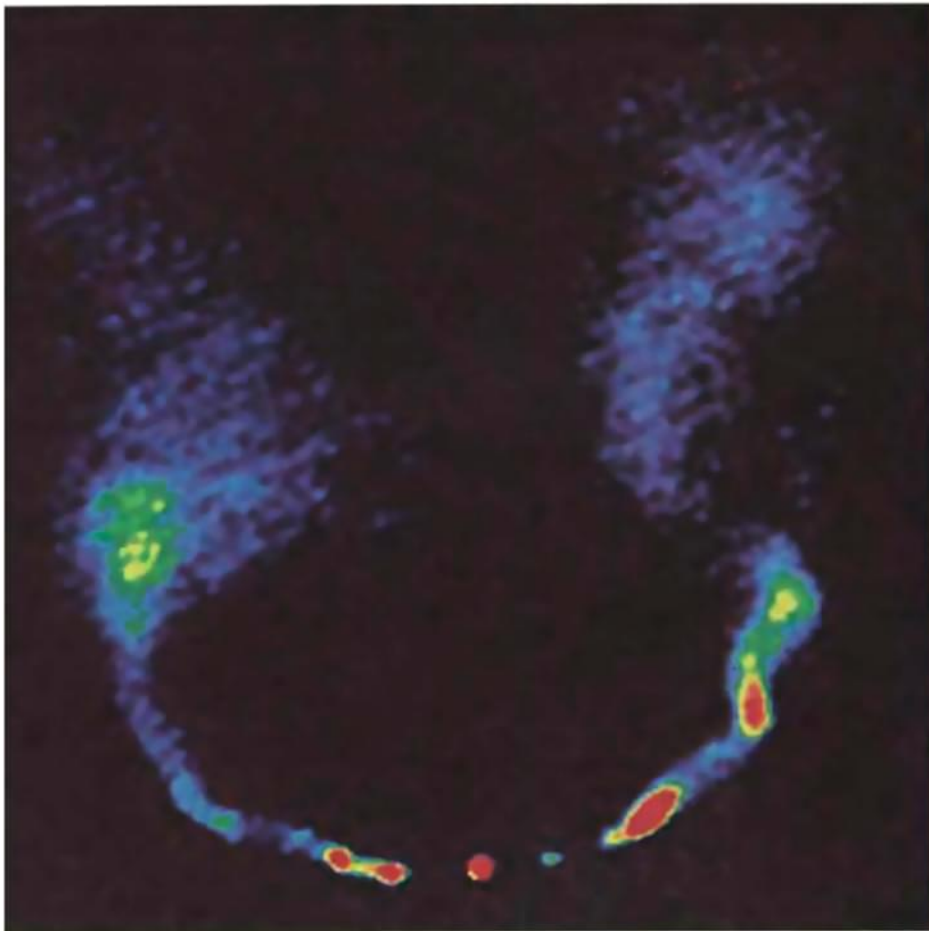
Однако в космическом выбросе не все изгибы возникают случайным образом. Рассмотрим так называемые радиохвосты. При малом разрешении радиоизлучение от такого источника кажется не связанным с оптической галактикой, как это имеет место в случае типичного двойного источника, а растянуто в виде протяженной кривой с одной стороны галактики. При высоком разрешении это различие выявляется более четко. Видны два выброса, испускаемые из центра галактики, но они не заканчиваются в горячих пятнах, а непрерывно изгибаются и объе-

дняются в длинный искривленный радиохвост.

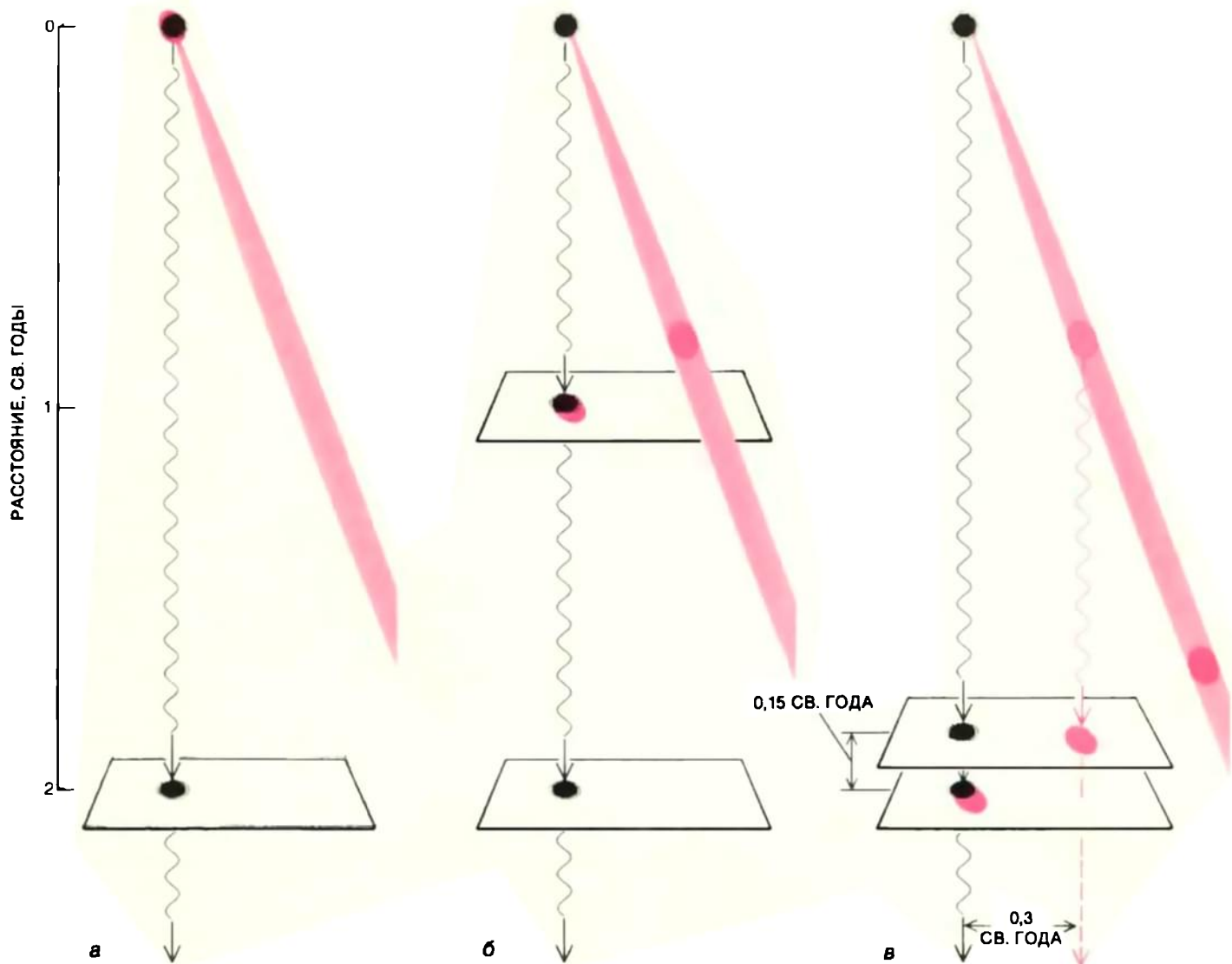
По-видимому, в радиохвостах происходит следующее. Два выброса сравнительно малой интенсивности образуются в галактическом центре и затем увлекаются межгалактической средой, протекающей через галактику со скоростью, достигающей, как известно, нескольких тысяч километров в секунду. Такая картина напоминает дым, который медленно поднимается от костра, а затем подхватывается сильным ветром. Тот факт, что радиохвосты преимущественно обнаруживаются в богатых скоплениях галактик, подтверждает приведенное объяснение их морфологии. (Можно предполагать, что пространство между галактиками в богатых скоплениях заполнено сравнительно плотным, горячим, ионизованным газом.) По-видимому, наиболее непонятное в загадке радиохвостов — тот факт, что связанные с ними выбросы могут быть изогнуты межгалактическим ветром почти под прямым углом без потери целостности. Отсюда ясно, что выбросы не всегда неустойчивы. После того как выбросы сливаются с хвостом, их газ, возможно, приобретает скорость, близкую к скорости межгалактической среды. Задавая скорость среды относительно галактики и зная протяженность хвоста, можно оценить возраст источника радиоизлучения. В типичном случае он оказывается порядка 300 млн. лет.

Сходное объяснение было предложено для источников типа 3C 449, у которых выбросы имеют несколько резких изгибов, но в основном вытянуты линейно. Как правило, такие источники не обнаруживаются в богатых скоплениях галактик. Однако у них обычно имеются тесные галактики — спутники. Поэтому разумно предположить, что источник радиоизлучения связан с галактикой, обращающейся по орбите вокруг своих спутников. Если скорость газа в выбросах ненамного больше, чем орбитальная скорость, то движение галактики будет «записано» на небе в виде изгибов в выбросах.

В каком-то смысле эти изгибы иллюзорны — газ в выбросах через них не протекает. Представим себе фотографию человека, который поливает сад, размахивая шлангом из стороны в сторону. Поднимающаяся в воздух струя воды имеет зигзагообразную форму, но каждая капля воды в струе движется строго по баллистической траектории. Форму изгибов в космическом выбросе можно использовать для определения положений галактик в пространстве (трехмерная картина) по их проекции на небе (двумерной картине). Однако изгибы можно объяснить орбитальным движением галактики только в том случае, если в одном из пары выбросов они повторяются как зеркальное отражение в другом. Если какой-либо выброс изгибается вправо,



РАДИОХВОСТЫ от NGC 1265, эллиптической галактики в богатом скоплении галактик, могут представлять собой выбросы, изогнутые в протяженную кривую действием межгалактического газа, который протекает мимо галактики со скоростью несколько тысяч километров в секунду. Радиокарта (в произвольных цветах) построена по данным, полученным на Большой антенной решетке.



СВЕРХСВЕТОВОЕ РАСШИРЕНИЕ (кажущееся движение компонентов радиоисточника со скоростями, превышающими скорость света), по-видимому, является иллюзией. Однако оно позволяет предположить, что эти компоненты могут иметь скорости, близкие к скорости света. В данном примере наблюдатель на расстоянии 2 световых года от источника радиоизлучения (а) не знает, что в выбросе источника движется яркий «узел» ионизованного газа (выделен цветом). Через год (б) наблюдатель видит только источник; из-

лучение, свидетельствующее о наличии яркой детали, достигнет наблюдателя еще через год. В это время яркая деталь движется от источника под углом 20° к лучу зрения. Ее скорость составляет 0,9 скорости света. Через 2 года (в) наблюдатель регистрирует появление яркой детали. В случае б ее излучение отстает всего на 0,15 световых года. Поэтому через 0,15 года наблюдатель увидит, что яркая деталь отошла на 0,3 световых года от источника, и может ошибочно заключить, что она движется с удвоенной скоростью света.

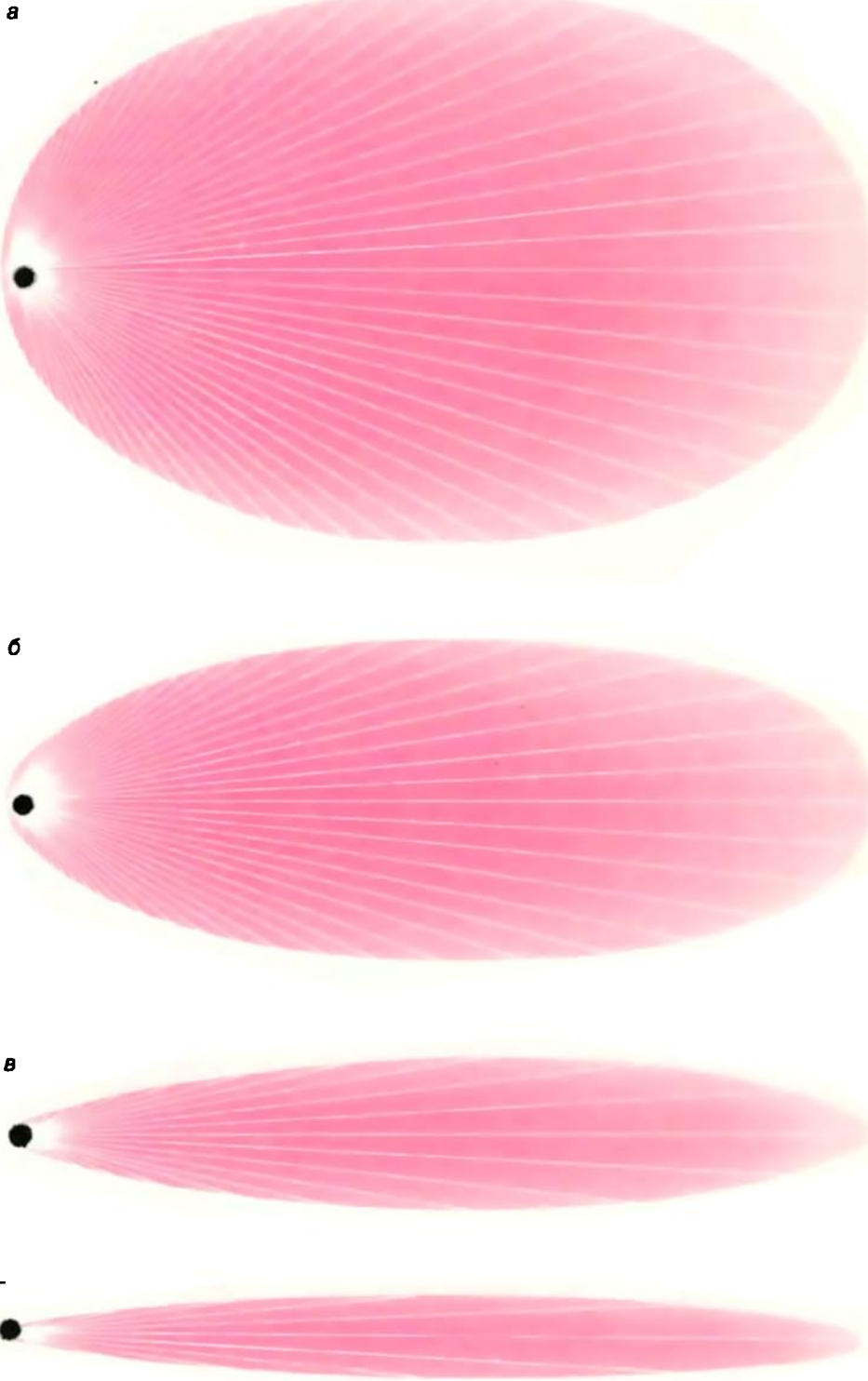
то другой должен также изогнуться вправо на том же расстоянии от центра галактики. Требуемая зеркальная симметрия, по-видимому, действительно реализуется в таких источниках, как ЗС 449.

Другой класс источников радиоизлучения проявляет обращенную симметрию выбросов. В этом случае изгиб вправо в одном выбросе соответствует изгибу влево в другом. Лучший пример выбросов с обращенной симметрией — источник SS 433. В этом случае источник выбросов прецессирует подобно концу оси вращающегося волчка. И здесь отдельные объемы газа в выбросах движутся по прямым линиям, но общая картина, которая наблюдается в какой-либо момент, напоминает штопор.

полненные на Большой антенной решетке Р. Хьеллмингом из Национальной радионаблюдательской обсерватории и К. Джонстоном из Морской исследовательской лаборатории, по-видимому, подтверждают справедливость этого вывода. Возможно, внегалактические выбросы, которые проявляют обращенную симметрию, исходят из источника, прецессирующего подобно SS 433, но расположенного в центре галактики. Такая прецессия могла бы послужить важным ключом для выяснения физических условий в центре, который дает начало выбросам.

ТЕПЕРЬ рассмотрим мелкомасштабные выбросы, открытые при помощи радиоинтерферометрии со сверхдлин-

ными базами. За последние три года были построены радиокарты для уровня излучения, достаточных для выявления мелкомасштабных выбросов; карты составлены для нескольких компактных источников радиоизлучения и нескольких компактных ядер, связанных с протяженными источниками. В большинстве случаев у выбросов проявляется характерная морфология. Существует одиночный выброс, исходящий от неразрешенного точечного источника интенсивного радиоизлучения. Во многих случаях такой выброс указывает приблизительное направление на протяженную радиообласть источника. Если существует, хотя и не наблюдается, второй выброс, направленный в противоположную сторону, он должен быть по крайней мере в 10

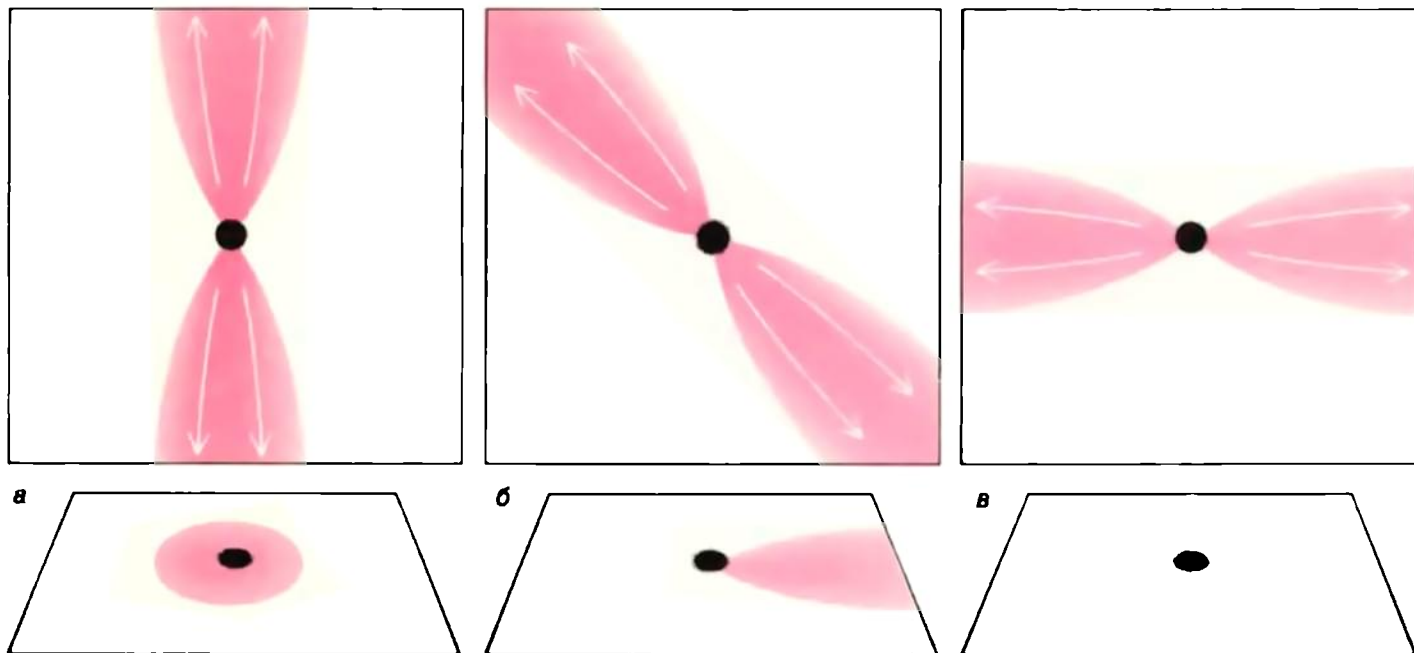


РЕЛЯТИВИСТСКАЯ АБЕРРАЦИЯ фокусирует излучение, испущенное объектом, который движется со скоростью, приближающейся к скорости света, так что объект все сильнее излучает в направлении своего движения. В случае *а* излучатель (облако ионизованного газа, которое излучает во всех направлениях одинаково) движется направо со скоростью, равной половине скорости света. В случае *б* источник движется со скоростью 0,75 скорости света, в случае *в* — 0,94 скорости света, в случае *г* — 0,98 скорости света. Излучатель становится невидимым, за исключением направления прямо на него. Форма каждого изображения показывает только, как меняется интенсивность излучения в зависимости от угла, под которым оно испускается. Однако при наблюдении прямо перед источником в случае *а* он покажется в несколько раз ярче неподвижного источника, испускающего излучение одинаково во всех направлениях; в случае *б* он будет казаться в 30 раз ярче, в случае *в* — в 440 раз, в случае *г* — в 3100 раз.

раз слабее, чем наблюдаемый. Ридхед, Коэн и их сотрудники в Калифорнийском технологическом институте открыли важную корреляцию, касающуюся протяженности мелкомасштабных выбросов. Те из них, которые связаны с компактными ядрами протяженных источников радиоизлучения (т.е. источников, излучение которых исходит в основном от двойного облака), имеют тенденцию вытягиваться вдоль оси симметрии радиооблака. Отклонение не превышает нескольких градусов. Напротив, мелкомасштабные выбросы, связанные с компактными источниками радиоизлучения, заметно искривлены, так что они отклоняются от слабых по интенсивности, вытянутых по форме структур источника на углы 30° и более.

Для интерпретации этой корреляции и объяснения природы радионисточников очень важны два явления. Существование первого из них — так называемого сверхсветового расширения — подозревалося уже лет десять и в настоящее время довольно уверенно продемонстрировано на картах, построенных при помощи метода интерферометрии со сверхдлинными базами. В общих чертах сверхсветовое расширение связано с тем, что наблюдаемые детали структуры в ряде выбросов, выявленные методом РСДБ, перемещаются по небу относительно положения неразрешенного ядра, из которого извергается выброс. Эти движущиеся детали приобретают скорости, которые кажутся превышающими скорость света. Наиболее убедительный пример сверхсветового расширения был обнаружен Т. Пирсоном и его сотрудниками в Калифорнийском технологическом институте при исследовании квазара 3С 273. Астрономам известно, что этот источник имеет оптический выброс протяженностью около 60 000 световых лет. Ядро 3С 273 извергает выброс, выявленный при помощи РСДБ; этот выброс, в соответствии с данными Козна и Ридхэда, изогнут и не совпадает по направлению с оптическим выбросом. За последние четыре года удаление от ядра яркой детали в радиовыбросе возросло на 50%. Если считать, что квазар 3С 273 находится в 1,5 млрд. световых лет от нашей Галактики, то эта яркая деталь кажется перемещающейся со скоростью, в 5 раз превышающей скорость света.

Астрономы не утверждают, что этот объект действительно движется быстрее света. Это противоречило бы специальной теории относительности, и нет никакой необходимости совершать столь драматический переворот в физике. Думается, мы просто оказываемся свидетелями иллюзии. Яркая деталь кажется движущейся быстрее света потому, что свет от нее и свет от ядра квазара, который служит нам в ка-



РАЗНЫЕ ОРИЕНТАЦИИ космических выбросов могут придать им различный вид вследствие релятивистской абберации. На рисунке каждый источник радиоизлучения состоит из двух выбросов, испускаемых в противоположных направлениях из центра галактики. Центр излучает одинаково во всех направлениях, но газ в выбросах движется достаточно быстро для того, чтобы выбросы испускали излучение преимущественно в направлении своего движения. Если выбросы направлены по лучу зрения (а), то далекий наб-

людатель увидит ядро радиоизлучения, окруженное радиогало. Если выбросы почти параллельны лучу зрения (б), то наблюдатель обнаруживает только ядро и ближайший выброс; дальний выброс невидим, поскольку лишь малая часть его излучения направлена к наблюдателю. Если же выбросы перпендикулярны лучу зрения (в), то наблюдатель обнаружит только ядро, поскольку абберация не позволяет наблюдать оба выброса.

честве исходной отметки, движутся вдоль траекторий различной длины и потому затрачивают разное время для того, чтобы достичь нас. Различные подробности пока служат предметом дискуссии, но простейшая возможность состоит в том, что яркая деталь движется под малым углом к лучу зрения между радиоисточником и наблюдателем на Земле, причем скорость детали лишь незначительно меньше скорости света. В этом случае она будет казаться движущейся со сверхсветовой скоростью. Наиболее существенным является тот факт, что сверхсветовое расширение предполагает движение компонентов не со сверхсветовыми скоростями, а со скоростями, лишь немного меньшими скорости света.

ВТОРОЕ явление, которое необходимо понять, прежде чем приступить к анализу источников радиоизлучения, — это релятивистская абберация. Предположим, что охотник хочет попасть в утку, когда она находится прямо над ним. Он должен направить ружье прямо вверх и выстрелить до того, как утка окажется точно над головой. Дробинки будут подниматься вертикально к утке, которая будет двигаться вперед, чтобы встретиться с ними. Теперь рассмотрим ситуацию «с точки зрения» утки. Ей представляется, что охотник движется по направле-

нию к ней и дробинки летят уже не строго вертикально, а имеют еще и горизонтальную составляющую скорости. Иными словами, дробинки движутся с небольшой абберацией, приближающей их траектории к направлению перемещения охотника к утке.

То же происходит с фотонами — частицами электромагнитного излучения. Поэтому облако плазмы, которое испускает фотоны одинаково во всех направлениях, будет казаться излучающим преимущественно вдоль направления своего движения. Когда плазма движется релятивистски, т. е. почти так же быстро, как и фотоны, эффект выражен очень сильно. Рассмотрим случай, когда релятивистское движение плазмы дает иллюзию сверхсветового расширения в источнике радиоизлучения. Примерно половина фотонов, которые излучает плазма, будут испущены в конусе, раскрытом в направлении ее движения, причем угол раскрытия будет составлять всего $5-10^\circ$. Фотоны внутри конуса характеризуются большей энергией из-за уменьшения их длины волны вследствие доплеровского смещения. Окончательный результат поражает. Если наблюдатель окажется в этом конусе, то источник будет казаться ярче, чем неподвижный источник, как правило, в $100-1000$ раз. Напротив, если наблюдатель будет вне конуса, источник окажется практически невидимым.

ТЕПЕРЬ можно привести достаточно убедительную единую интерпретацию внегалактических источников радиоизлучения. Предположим, что большинство источников состоит из пары релятивистских выбросов, извергаемых в противоположных направлениях из ядер галактик. Если выбросы более или менее линейно вытянуты вдоль прямой источник — Земля, мы обнаруживаем выброс, направленный примерно на нас. Другой выброс будет невидимым. Источник кажется нам ярким и односторонним. Выбросы заканчиваются парой протяженных радиооблаков, которые испускают фотоны примерно одинаково во всех направлениях. Последние образуют слабое «гало» излучения, окружающее компактный источник. Нельзя считать, что выбросы должны быть однородными и прямолинейными. Несомненно, они могут иметь естественные изгибы и неоднородности. В случае компактных источников радиоизлучения изгиб выбросов увеличивается, поскольку луч нашего зрения почти совпадает с направлением выброса. Если неоднородности движутся вдоль выброса с релятивистскими скоростями, то они будут казаться движущимися со сверхсветовой скоростью.

В рамках этой интерпретации протяженные источники радиоизлучения — это те, которые наблюдаются под большими углами к направлениям их

выбросов. Для наиболее мощных из таких источников, подобных Лебедю А, выбросы релятивистские, так что они, по существу, невидимы. Для несколько менее мощных источников, например для источника, связанного с галактикой NGC 6251, выбросы средне-релятивистские. Тем не менее абера-

ция их радиоизлучения значительна, так что обнаруживается лишь один выброс на обращенной к нам стороне центра радиогалактики. Для слабых источников, скажем 3C 449, выбросы оказываются слаборелятивистскими, так что одинаково видны оба выброса. Объяснение особенностей внегалак-

тических источников радиоизлучения на основе предположения о том, что пучок излучения формируется за счет релятивистского эффекта Доплера, подтверждается таким числом разнородных наблюдений, что вряд ли оно полностью ошибочно. Однако необходимо отметить, что это объяснение трудно согласовать с некоторыми наблюдениями. Например, плотность газа в ряде односторонних выбросов может оказаться так высока, что при релятивистских скоростях таких выбросов связанная с ними энергия примерно в 10 000 раз превышает бы энергию, излучаемую и выбросом, и радиооблаками источника.

Отсюда следует, что в некоторых источниках односторонность не является результатом движения с релятивистскими скоростями. Альтернативное предположение сводится к тому, что возможность наблюдения выброса связана с его устойчивостью. В самых мощных источниках выбросы могли бы быть устойчивыми невидимыми каналами, по которым эффективно передается энергия от ядра к радиооблакам. Однако выбросы могут становиться неустойчивыми. Неустойчивость способствовала бы быстрому преобразованию кинетической энергии выбросов в ускорение релятивистских электронов, что в огромной степени усилило бы их способность излучать радиоволны. Односторонние выбросы возникали бы, когда только один выброс становился неустойчивым. Двухсторонние выбросы могут быть связаны со слабыми источниками, в которых передача энергии малоэффективна. Наблюдения, которые помогли бы сделать выбор между предложенными объяснениями природы односторонних источников, должны доказать, что радиооблако на одном выбросе из источника чем-то существенно отличается от радиооблака на той стороне источника, где выброс, по-видимому, отсутствует. Если это подтвердится, то объяснение, связанное с образованием пучка излучения за счет релятивистского эффекта Доплера, будет нелегко отстоять. Одна из трудностей, мешающих исследованию, состоит в том, что нам неизвестно, какую же полную энергию излучает выброс. Мы знаем только, сколько выброс излучает в форме радиоволн. Эта проблема связана с тем, что радиотелескопы гораздо более чувствительны, чем оптические телескопы. Лишь несколько выбросов обнаружено в оптическом или рентгеновском излучении. Имеющиеся данные показывают, что мощность выбросов в оптическом излучении должна быть по крайней мере в 100 раз больше, чем в радиоизлучении. Мы не можем исключить возможности, что радиоисточники, как правило, обладают наибольшей светимостью в оптической области спектра.

Другая трудность связана с тем, что

МАГНИТНЫЕ СИЛОВЫЕ ЛИНИИ



МАГНИТНЫЕ СИЛОВЫЕ ЛИНИИ в выбросе реагируют на его расширение тем, что их направление приближается к направлению, перпендикулярному потоку газа. Магнитное поле выброса имеет составляющую, параллельную направлению потока, и составляющую, перпендикулярную ему. Распространение потока увеличивает первую составляющую больше, чем вторую. Таким образом, витки спиральной силовой линии (представляющей собой результат наложения параллельного и перпендикулярного полей в выбросе) могут приобрести наклон, приближающий их к перпендикулярному положению по мере увеличения расстояния от ядра источника радиоизлучения. Такие витки силовых линий могут вызывать натяжение вещества выброса; в результате распространение выброса прекратится.

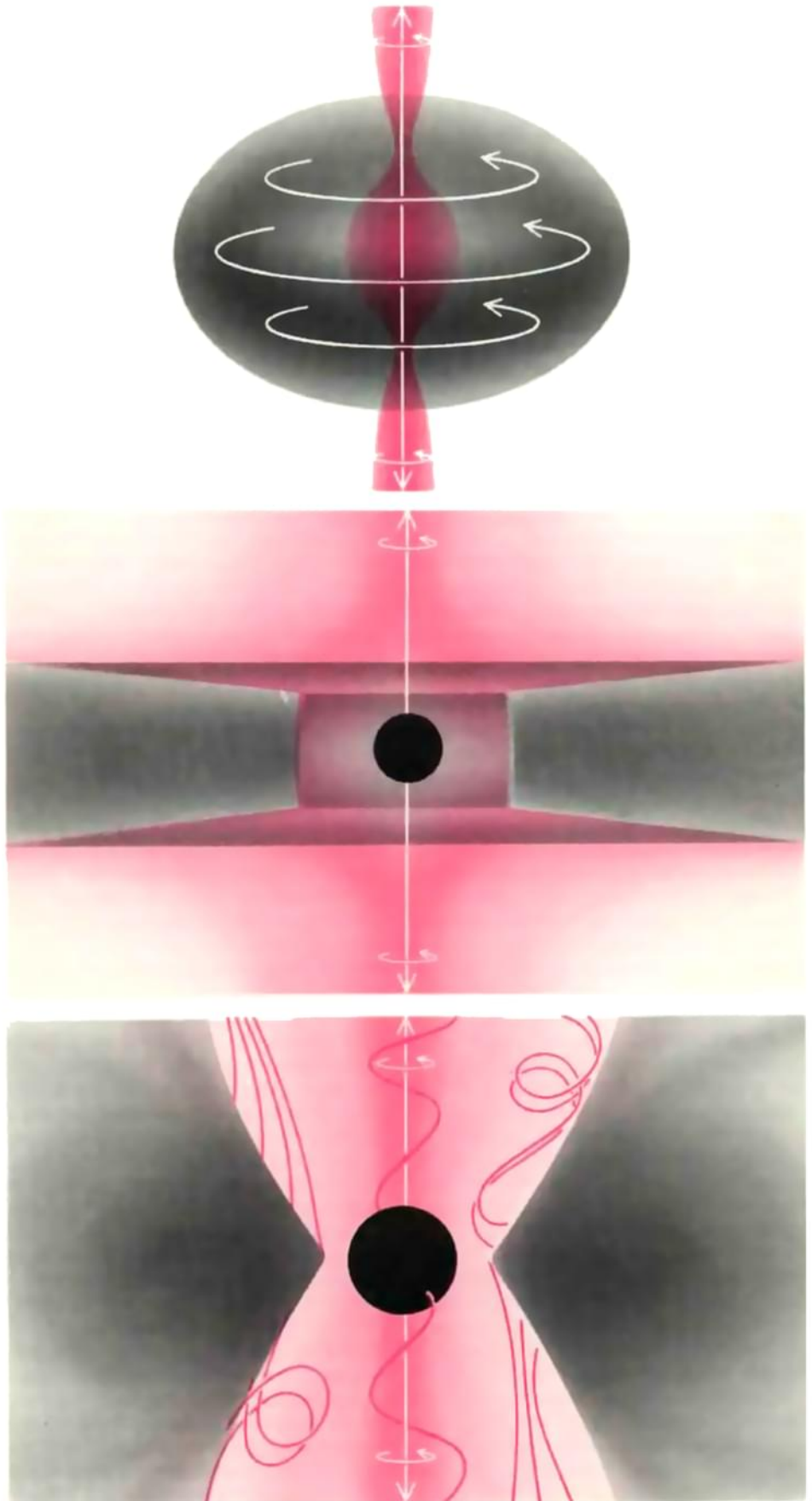


СДВИГ В ВЫБРОСЕ оказывает различное воздействие на его магнитное поле; он может привести к преобладанию параллельного поля. Сдвиг, порожденный неоднородностью скоростей газа в выбросе (*белые стрелки*), вытягивает витки в перпендикулярном поле. В предельном случае вытянутые области могут оторваться от «родительских витков» и сблизиться, превращаясь в малые изолированные витки.

нелегко определить, является ли выброс, очертания которого определены по радиоизлучению, идентичным областью, в которой протекает ионизованный газ. Если большая часть истинного поперечного сечения выброса невидима, то такие величины, как энергия и интенсивность потока, будут значительно переоцениваться. Оценки, сделанные сегодня, свидетельствуют об интересной загадке. Некоторые из наиболее ярких выбросов как будто сводятся в пучок по мере удаления от породившей их галактики. Что же сжимает выбросы? Быть может, за это ответственно давление газа, который окружает выброс в межгалактической среде? Тогда нагрев и столкновения в газе превратили бы окружающую выброс область в мощный источник рентгеновских лучей. Может быть, вдоль выброса переносятся витки силовых линий магнитного поля? Характер закрученных силовых линий магнитного поля в выбросе таков, что они оказываются натянутыми, так что подобный виток магнитного поля, кольцом охватывающий выброс, может действовать как натянутая полоска резины. Есть предположения, что самые мощные выбросы, природу которых труднее всего объяснить, имеют магнитные поля с силовыми линиями, направленными скорее вдоль оси выброса, чем перпендикулярно ей. Впрочем, эта трудность отпадает, если только сердцевина выброса достаточно ярка, чтобы быть наблюдаемой.

Теоретически наиболее важна проблема образования выбросов. Предложено много разных схем, но ни одна из них не получила всеобщего признания. Возможно, что выброс образуется за счет эффекта «сопла». Представим себе достаточно большую область горячего газа, расположенную в середине гораздо большего облака холодного газа. Горячий газ может появиться в результате присутствия каких-либо «экзотических» астрономических объектов, скажем черных дыр или пульсаров, которые разогревают газ, падающий на них под действием их мощных полей тяготения. Представим далее, что холодное облако вращается. Горячий газ будет «всплывать», двигаясь преимущественно в направлении наименьшего сопротивления, т. е. вдоль оси вращения облака. Облако будет образовывать «гибкие» стены для исходящего потока. По мере вытекания газа наружу его давление будет уменьшаться и уравниваться с внешним давлением. Это может привести к образованию стягивающего параллельного пучка газа, т. е. выброса.

КОНЕЧНО, предполагаемый механизм «сопла» в какой-то мере противоречит наблюдениям, проведенным для нескольких источников радиоизлучения. Прежде всего, представляется



ВЫБРОСЫ МОГУТ ВОЗНИКАТЬ в результате действия нескольких гипотетических механизмов. Согласно механизму «сопла» (вверху), вращающееся облако газа окружает «всплывающее» облако горячего газа. Горячий газ выбрасывается наружу вдоль оси вращения облака. Согласно механизму аккреционного диска (в середине), гравитационное поле сверхмассивной черной дыры собирает газ в диск. Согласно механизму аккреционного тора (внизу), давление излучения (или давление горячего газа) «отрывает» внутреннюю часть диска, которая теперь в виде кольца окружает черную дыру. Давление излучения или газа подпитывает выбросы, передавая им энергию конвекции газа или энергию вращающейся черной дыры.

вероятным, что выбросы, найденные при помощи радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами, возникают в областях размером не более нескольких световых лет. Однако если облако газа достаточно плотное, чтобы противодействовать давлению выброса в таком малом объекте, оно превратилось бы в наблюдаемый источник рентгеновских лучей. Вытянутая форма малого выброса и крупномасштабных выбросов в протяженных источниках радиоизлучения позволяет предположить также, что механизм коллимации должен обладать свойствами хорошо известного гироскопа, а именно должно быть фиксированное направление в пространстве. Неясно, как облако газа может быть таким гироскопом.

Эти трудности можно обойти, если предположить, что коллимация выброса происходит в области, окружающей черную дыру, масса которой находится в интервале между миллионом и несколькими миллиардами солнечных масс. В пользу существования такой черной дыры в центре радиогалактики имеется несколько независимых доводов. Во-первых, у некоторых из наиболее активных источников радиоизлучения отмечаются изменения излучения в день потоков оптического излучения. Это позволяет предполагать, что поток исходит от области размерами не больше расстояния, которое свет может пройти за сутки. Такое расстояние всего в 10 раз больше, чем радиус черной дыры, масса которой составляет миллиард солнечных масс. Имеются данные о больших изменениях потока рентгеновского излучения, происходящих менее чем за один час. Во-вторых, группа астрономов, работающих с оптическими инструментами во главе с У. Сарджентом и П. Юнгом из Калифорнийского технологического института, исследовала оптическое излучение центров галактик M 87 и NGC 6251. Распределение и спектр этого излучения указывают на существование компактной массы, превышающей несколько миллиардов солнечных масс. В-третьих, черная дыра представляет собой самую глубокую из возможных «артезианских скважин» гравитационной энергии, поэтому черная дыра способна с более высокой эффективностью осуществлять преобразование энергии свободно падающего газа в энергию излучения или кинетическую энергию, чем какой-либо другой объект.

Если черная дыра вращается, она будет искажать окружающее пространство за счет эффекта, который можно рассчитать на основе общей теории относительности. Искажение будет заставлять газ, окружающий дыру, двигаться вокруг оси ее вращения. На различных расстояниях от дыры газ будет обращаться вокруг нее с разной скоростью. При этом будут происхо-

дить два явления. Прежде всего, в результате вязкого сопротивления между соседними «кольцами» газа он начнет собираться в диск в экваториальной плоскости дыры. Затем вследствие того же вязкого сопротивления, которое сформировало диск, газ будет медленно течь через весь диск к его центру. Это течение станет подпитывать выбросы массой, а также подводить мощность за счет преобразования гравитационной энергии. В результате выбросы будут «выстреливаться» в направлениях, параллельных оси вращения черной дыры. Поскольку вращающаяся черная дыра обладает огромным моментом количества движения, эти направления должны быть достаточно устойчивы.

Структура такого аккреционного диска будет определяться скоростью, с которой газ переносится за счет вязкого сопротивления. Если скорость переноса велика, давление излучения во внутренней части диска оторвет эту часть. В результате появится толстый газовый тор, или своего рода «бублик», окружающий черную дыру. Поверхность тора вблизи оси вращения дыры будет представлять собой две узкие воронки, в каждой из которых может коллимироваться выброс. Каждый выброс будет направляться через воронку в основном под действием давления поля излучения внутри воронки, а возможно, частично за счет механической энергии, выносимой на поверхность воронки путем конвекции газа внутри нее. Одна трудность все же остается. Диск поддерживается давлением излучения, однако оценки требуемой интенсивности излучения в видимой и ультрафиолетовой областях далеко превышают ту, которая обычно наблюдается в центрах галактик, ассоциированных с двойными источниками радиоизлучения. Тем не менее имеются основания предполагать, что в источнике SS 433 — объекте с выбросами, расположенном в нашей Галактике — подкачка газа очень велика. Тор, поддерживаемый излучением, остается разумным объяснением образования выбросов в этом источнике.

РАЗНОВИДНОСТЬЮ тора, поддерживаемого излучением, является тор, поддерживаемый газом; последний может возникнуть при малой скорости подкачки газа. В этом случае излучение, генерированное во внутренней части диска, выходит свободно в пространство и не может быть ответственно за его уплощение. Тем не менее вязкое трение в диске достаточно велико, чтобы у газа высвобождалась гравитационная энергия за счет падения по направлению к черной дыре быстрее, чем он может ее испускать за счет излучения. Это означает, что газ при падении становится горячее. Разогревание способствует тому, что газ заполняет

торообразный объем.

Мощность, необходимая для формирования выбросов, не обязательно заимствуется у падающего газа — она может быть получена от самой черной дыры. В частности, значительное количество механической энергии может быть извлечено из вращающейся черной дыры. Предположим, что газ, текущий по направлению к дыре, имеет магнитное поле. В конце концов часть силовых линий поля проникнет сквозь поверхность дыры. Силовые линии оказываются как бы прикрепленными к дыре, и, по мере того как дыра вращается, она тянет линии за собой. Поэтому линии могут оказывать воздействие на вещество вблизи черной дыры: силовые линии, связанные с дырой, напоминают веревки, накрученные на ворот. Как и сама черная дыра, этот «ворот» действует подобно гигантскому маховику, вращение которого постепенно замедляется.

До сих пор мы не касались вопроса о том, чем же подпитываются космические выбросы. Наиболее мощным источником радиоизлучения требуется превращение в энергию по крайней мере нескольких звездных масс газа ежегодно, если только источник не подпитывается, хотя бы частично, за счет вращающейся черной дыры. Нормальные процессы звездной эволюции в галактике, окружающей ядро источника радиоизлучения, обеспечивают определенную долю требуемой энергии. Однако лучшие из имеющихся оценок оказываются по крайней мере в 10 раз меньше, чем нужно. Помимо того, бурная активность в ядре, вероятно, приводит к выбросу газа наружу. Другое предположение сводится к тому, что в сильных гравитационных полях в центре галактики будут рождаться плотные скопления звезд. В самом деле, звезды там могут быть сгруппированы примерно в 10 млн. раз плотнее, чем в окрестностях Солнца. Такое скупивание означает, что звезды будут сталкиваться гораздо чаще. Кроме того, звезды могут быть разорваны на части приливными силами, если они подходят близко к центральной сверхмассивной черной дыре. Впрочем, детальные расчеты показали, что подобные скопления трудно и создать, и сохранить.

Третья возможность основана на наблюдениях формы галактик с двойными или даже кратными центрами. Именно этот процесс Дж. Острайкер из Принстонского университета назвал «канибализмом». В этом случае центр галактики-«канибала» уничтожает меньшую галактику-спутник — «миссионера». Внешние области галактики-«миссионера» быстро «обдираются» приливными силами. Внутренние области оказываются более «крепким орешком», и потому постепенно падают по направлению к центру галактики-«канибала». Такое предпо-

Новый статус скорости света

СОГЛАСНО специальной теории относительности, скорость света в вакууме — фундаментальная физическая постоянная. Ее значение инвариантно при изменении системы отсчета. Вскоре она, возможно, будет играть иную роль в метрологии; численное значение этой константы будет зафиксировано международным соглашением, и оно будет считаться неизменным. По всей вероятности, значение скорости света будет принято равным 299 792 458 м/с.

Изменение статуса этой постоянной связано с предложением о новом определении метра. Первоначально метр определялся как величина, равная 1/10 000 000 расстояния от Северного полюса до экватора, измеренного вдоль меридиана, проходящего через Париж. Позднее стал применяться международный платиноиридиевый эталон метра. С 1960 г. метр определяется как величина, кратная длине волны излучения атома газообразного криптона. По новому правилу, стандартная единица длины будет не фундаментальной величиной, а определяемой через стандартную единицу времени — секунду. В соответствии с предложением, которое в настоящее время рассматривается Международным бюро мер и весов, метр должен определяться как «расстояние, проходимое плоской электромагнитной волной в вакууме за интервал времени, равный 1/299792458 с». Другими словами, метр будет равен 1/299792458 световой секунды.

Метр и секунда уже находятся в тесной взаимосвязи. Наиболее точный способ определения скорости света основан на сравнении длины волны и частоты электромагнитного излучения, т.е. на сравнении эталонов длины и времени. Предложение о новом определении метра не исключает измерение скорости света указанным способом, но интерпретация результатов будет иной. Скорость света будет считаться константой, не подлежащей пересмотру, и при всяком повышении точности измерений изменяться будет стандартное значение не скорости света, а длины метра.

ложение оказывается привлекательным потому, что далекие радиогалактики, как правило, объединяются друг с другом. Следовательно, их объединение тем более вероятно в прошлом, особенно в те времена, когда галактики были ближе друг к другу и легче взаимодействовали. Вероятность того, что галактика будет источником радиоизлучения, оказывается в 1000 раз больше тогда, когда возраст Вселенной был вчетверо меньше. Известно также, что среди соседних галактик те, которые находились в местах, где плотность галактик высока, чаще становятся источниками радиоизлучения, чем те галактики, которые были изолированными.

Таким образом, если источники радиоизлучения питаются за счет «каннибализма», появляется возможность объяснения выбросов с обращенной симметрией. Предположим, что как у галактики-«миссионера», так и у галактики-«каннибала» имеется центральная сверхмассивная черная дыра. Тогда черная дыра «миссионера» будет постепенно переходить на орбиту двойной системы вокруг «каннибала». Предположим также, что черная дыра «миссионера» поддерживает выбросы, которые вытянуты вдоль оси вращения черной дыры. В нормальных условиях ось вращения черной дыры будет сохранять фиксированное положение в пространстве. Однако теперь гравитационное поле черной дыры спутника будет искажать окружающее пространство. В результате далекий наблюдатель обнаружит, что ось вращения прецессирует. Если же ось прецессирует, то же происходит и с выбросами.

В ОСНОВНОМ благодаря созданию больших связанных радиоинтерферометров и одновременному развитию метода радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами радиоастрономы добились больших успехов в понимании структуры двойных источников радиоизлучения, в том числе и выбросов. Однако выяснить природу и механизм образования выбросов почти не удастся. У нас нет четких представлений о составе выбросов, о том, как быстро они движутся, что поддерживает их существование и почему они оказываются столь устойчивыми. И, что важнее всего, мы по-настоящему не понимаем, как они образуются. Правда, существует много гипотез. Некоторые из них пробуждают мысль, некоторые оказываются несостоятельными, но многие представляются вполне разумными.

Протяженность космических выбросов позволяет предположить, что глобальная гравитационная «артезианская скважина», поступление газа и вращение — это все «сырье», необходимое для того, чтобы ядро галактик извергло выбросы в двух противополо-

жных направлениях. Вообще говоря, выбросы неоднородны. Некоторые кажутся движущимися быстро, другие медленно; одни представляются мощными, другие слабыми; одни длинные, другие короткие. Возможно, теоретики напрасно пытаются отыскать единый механизм, пригодный для всех случаев. К космическим выбросам мог бы приводить широкий набор процессов, порождающая двойников в природе.

Каковы же перспективы развития исследований космических выбросов? Что касается наблюдений, эти перспективы обнадеживают. Сравнение внегалактических выбросов с выбросами в нашей Галактике позволило бы выяснить, какие аспекты образования и распространения выбросов независимы от масштабов. В дополнение к SS 433 у рентгеновского источника Скорпион X-1 (расстояние до него всего 600 световых лет) также найдены свидетельства в пользу двойной структуры. Более того, большое число облаков межзвездного газа и пыли позволяет предположить, что выбросы могут возникать в связи с формированием звезд.

До сих пор при помощи Большой антенной решетки составлены карты лишь малой доли радиоисточников, доступных для нее, и только для очень небольшой доли источников составлены карты при высоких чувствительности и разрешающей способности. Следующий шаг состоит в создании больших систем радиотелескопов, которые можно использовать в качестве инструментов для радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами. Предполагается, что в 1985 г. за пределы земной атмосферы будет выведен космический телескоп, работающий в оптическом диапазоне.

Этот инструмент, который будет обладать в 20 раз большей разрешающей способностью по сравнению с наземными телескопами, позволит многое узнать о квазарах и, возможно, обнаружит еще несколько выбросов в оптическом диапазоне.

Однако в области теоретических исследований остается много работы. Детальные расчеты течения газа вокруг массивных черных дыр могут быть выполнены при помощи компьютеров, однако они затруднены в связи с нашим незнанием микроскопических свойств плазмы в космических условиях. Очень плодотворным может оказаться экспериментальный подход. В частности, аэродинамики уже освоили опыты со струями газа. Обычно струи, которые они создают, имеют скорости, превышающие скорость звука всего в несколько раз. Могут понадобиться и большие скорости. Захватывающая перспектива — воспроизвести странные и загадочные формы выбросов на радионебе в земной аэродинамической трубе.

Археологические исследования пещеры Ласко

Результаты сорокалетней работы дали много для понимания того, как были созданы знаменитые росписи пещеры Ласко периода палеолита. Они также привлекли внимание к сотням гравировок, не уступающих по значению росписям

АРЛЕТТ ЛЕРУА-ГУРАН

БОЛЕЕ 40 лет назад на юго-западе Франции, в районе Дордони, была обнаружена украшенная великолепными росписями эпохи древнего каменного века пещера, названная Ласко. В ней насчитывается около 600 живописных настенных изображений позднего палеолита. Последние 20 лет посетители допускаются в пещеру лишь по официальному разрешению. Закрытие пещеры для туристов стало частью успешно выполненной программы по сохранению этой сокровищницы искусства палеолита. До недавнего времени немногие люди, помимо специалистов, отдавали себе отчет в том, что грандиозные росписи Ласко не единственное археологическое богатство, обнаруженное в пещере в течение четырех десятилетий.

В число таких богатств входят и 1500 гравировок на стенах и потолке пещеры. Все они были тщательно скопированы аббатом Андре Глори, который вплоть до своей безвременной кончины в 1966 г. был одним из самых неутомимых исследователей Ласко. Глори и другие нашли кремневые орудия, с помощью которых делались гравировки, каменные светильники, при свете которых работали древние художники, палитры с остатками краски, а совсем недавно был изучен и состав минералов, использовавшихся для получения пигментов. Археологам также удалось воссоздать своеобразный помост, позволявший живописцам и граверам выполнять работы на высоте, значительно превосходящей человеческий рост. Эти и другие находки позволили исследователям получить известное представление о деятельности человека в Ласко в завершающий период каменного века, около 17 000 лет назад.

Открытие пещеры в сентябре 1940 г., в начале второй мировой войны, долгое время приписывали деревенским мальчишкам, чья собака внезапно провалилась в глубокую яму. Однако дело обстояло несколько иначе. Какой-то мальчик в километре от своей деревни Монтиньяк обнаружил в земле яму, ко-

торая образовалась на месте вывороченной с корнем сосны. Мальчик позвал друзей, и они стали измерять глубину ямы, бросая туда камни.

Потом, сгорая от любопытства, они расширили отверстие и съехали вниз по сырой глине. Яма оказалась гораздо глубже, чем они предполагали. То, что они увидели в тусклом свете карманного фонарика, ошеломило их. Выбравшись на поверхность, они побежали за своим учителем; вскоре заметка о происшествии появилась в школьной газете. О находке сообщили специалистам по доисторическому периоду. Чтобы облегчить доступ к пещере, соорудили небольшой скат. Первым профессиональным археологом, осмотревшим пещеру, был аббат Анри Брэйль.

СКАТ ВЕЛ в большое помещение длиной около 20 м. Потолок был покрыт росписью с изображением быков; фигуры некоторых животных достигали пятиметровой длины. Этот Зал Быков оканчивался двумя коридорами. Один из них вел прямо, другой поворачивал направо. Потолок прямого коридора (получившего название Осевой Переход) также покрыт росписями, изображающими оленей, лошадей, диких рогатых животных, козорогов и одного бизона. Вход в правое ответвление (названное просто Коридор) вначале был затруднен; посетителям приходилось продвигаться вперед на четвереньках, и своеобразной наградой за это им была еще одна серия росписей, в которых опять-таки увековечены животные. Ответвление вправо в самом Коридоре ведет в Алсиду, за которой расположен Колодец — пятиметровая впадина с

любопытной группой росписей, изображающих человека, птицу, сидящую на шесте, носорога, нападающего бизона, а над ним — лошадиную голову. Слева от Алсиды находится Неф.

Здесь, а также в длинном, узком коридоре, чуть дальше, есть еще несколько изображений животных. Коридор, минув Кошачью Нору, приводит в Кошачий Переход, где обнаружены гравировки, запечатлевшие животных не только семейства кошачьих, но и некоторых других видов. Этим Переходом и завершается экскурсия по пещере.

Вскоре после войны Ласко была приспособлена для приема посетителей: превращена в подземный музей. Но после двух десятилетий туризма стало ясно, что пыль, сырость, плесень, вызванные частыми посещениями пещеры, грозят разрушить уникальную палеолитическую галерею. Поэтому для спасения древних росписей пещера в 1963 г. была закрыта для туристов. Теперь я хочу вкратце рассказать, что же нам стало известно за истекшие четыре десятилетия о сокровищах Ласко из работ аббата Глори и других ученых.

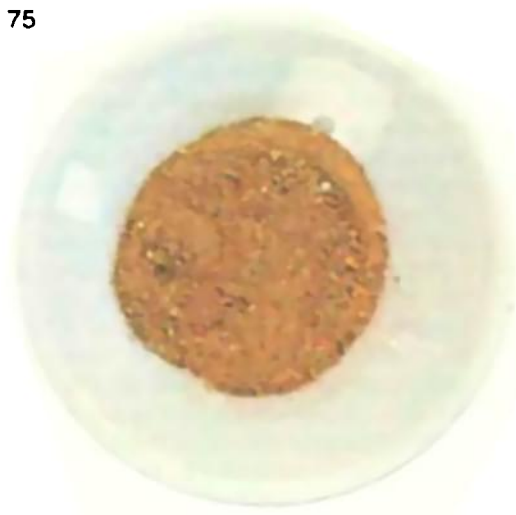
КАК ОПРЕДЕЛИТЬ возраст доисторической росписи? Очевидно, это самый сложный вопрос, вставший перед исследователями с первых дней открытия пещеры. Мы не знаем способа датировки росписи, исходя из самой росписи; следовательно, начинать нужно с изучения обстановки, сопутствующей работе художников, иными словами — искать оставленные ими следы. Таким образом, необходимы раскопки, направленные прежде всего на расчистку слоев почвы, содержащих предметы

ДВЕНАДЦАТЬ ПИГМЕНТОВ, применявшихся живописцами Ласко, в спектре от бледно-желтого (А) до черного (70А). Все пигменты, за исключением содержащих древесный уголь, представляли собой толченые минералы. Однако в чистом виде минералы в качестве пигментов применяли редко, чаще их смешивали. Порошок, обозначенный 66А, необычайно светлый, поскольку является смесью гематита (70%), глины (20%), кварца (5%) и других веществ. Черный порошок 70В содержит 40% фосфата кальция, 25% кварца и 15% двуокиси марганца — наиболее важного минерала для получения оттенков черного цвета.

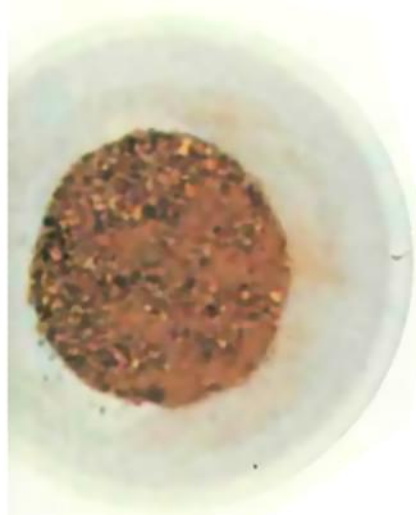
69



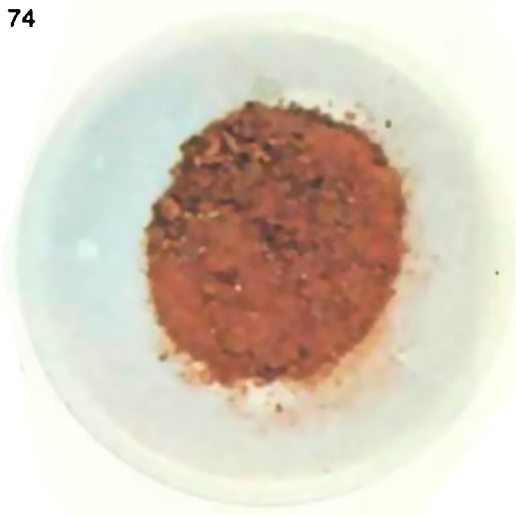
75



68



74



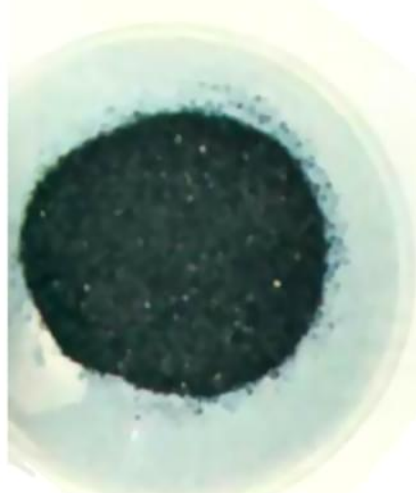
66B



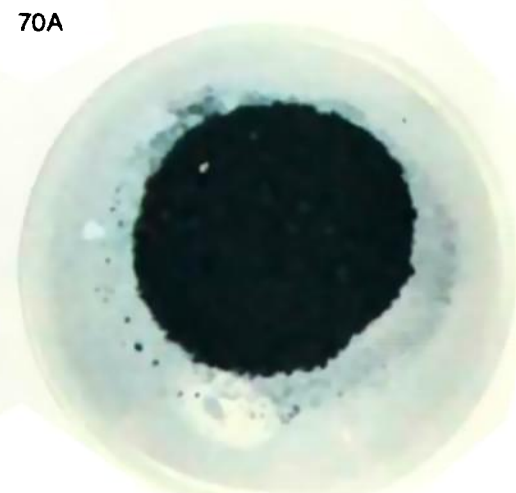
66A



70B



70A



обихода художников. Затем надо определить последовательность слоев, так как вряд ли везде сохранились все слои сверху донизу. Но даже когда стратиграфия установлена, проблема все еще остается, ибо неизвестно, какие слои соответствуют росписям по времени.

К счастью, в Ласко этой проблемы нет. Первые стратиграфические исследования были проведены здесь аббатом Глори, прокопавшим 15 поперечных траншей в разных участках пещеры. Все обнаруженные им следы человеческой деятельности относятся к одному и тому же пласту. Таким образом, получены исчерпывающие доказа-

тельства того, что этот слой соответствует времени создания росписей; при раскопках найдены светильники, каменные палитры и кусочки минеральных красителей, использовавшихся живописцами Ласко.

Предметы, извлеченные на свет археологами, свидетельствуют о том, что хотя пещера никогда и не служила жилищем, но художники, делавшие здесь росписи и гравировки, проводили в пещере довольно длительное время и тут же питались. По всей вероятности, в Ласко совершались и религиозные обряды. В расположенном за Апсидой Колодце сохранились остатки пищи;

кроме того, найдены тончайшей работы светильник из камня, костяные наконечники для копий и декоративно обработанные морские раковины. Особенно красива одна раковина — в ней просверлено отверстие для шнура, чтобы можно было использовать ее как украшение. От шнура в отверстии остались желобки и следы красной охры. Поскольку ближайшее морское побережье расположено от Ласко в 200 км, то, значит, чтобы доставить раковины, приходилось преодолевать по крайней мере такой путь. Колодец, по видимому, служил чем-то вроде святилища.



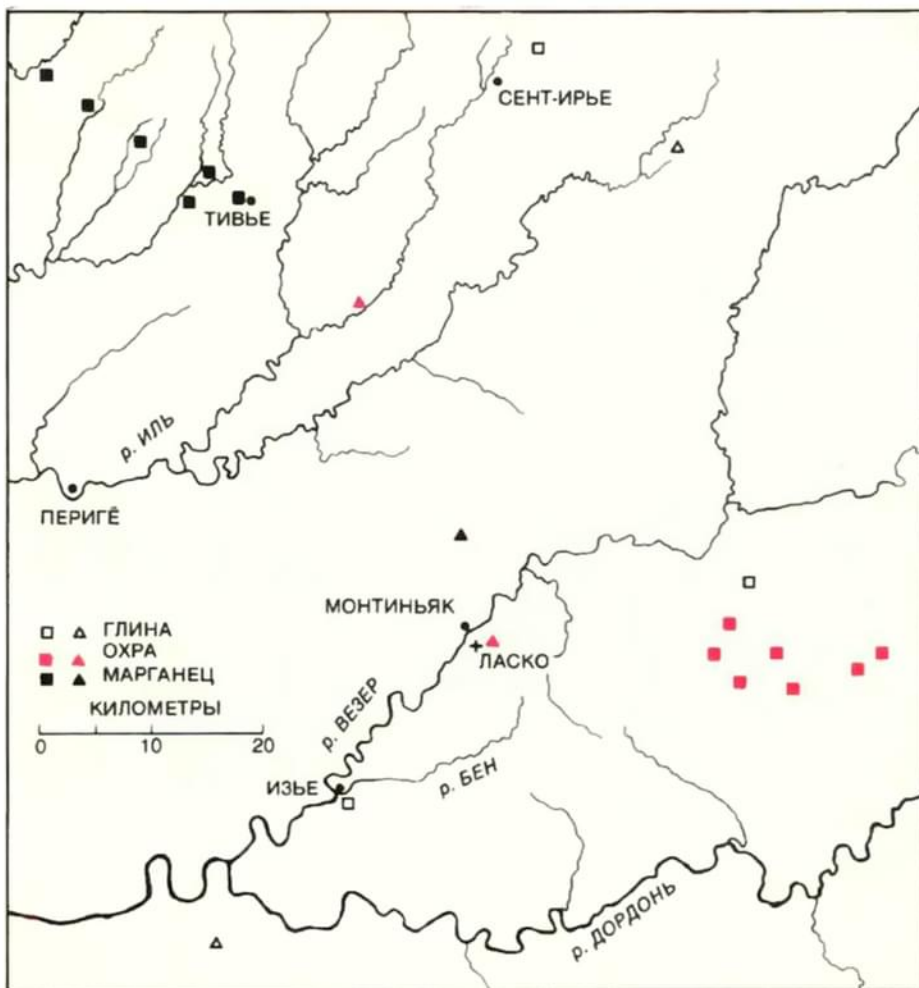
ГОЛОВА ОЛЕНЯ: глаз и ухо тщательно прорисованы. Гравировка нанесена на южной стене помещения, называемого Апсидой. Тело животного также прорисовано, но на снимке

его не видно. Непомерно большие рога, не совсем законченные, окрашены в черный цвет.

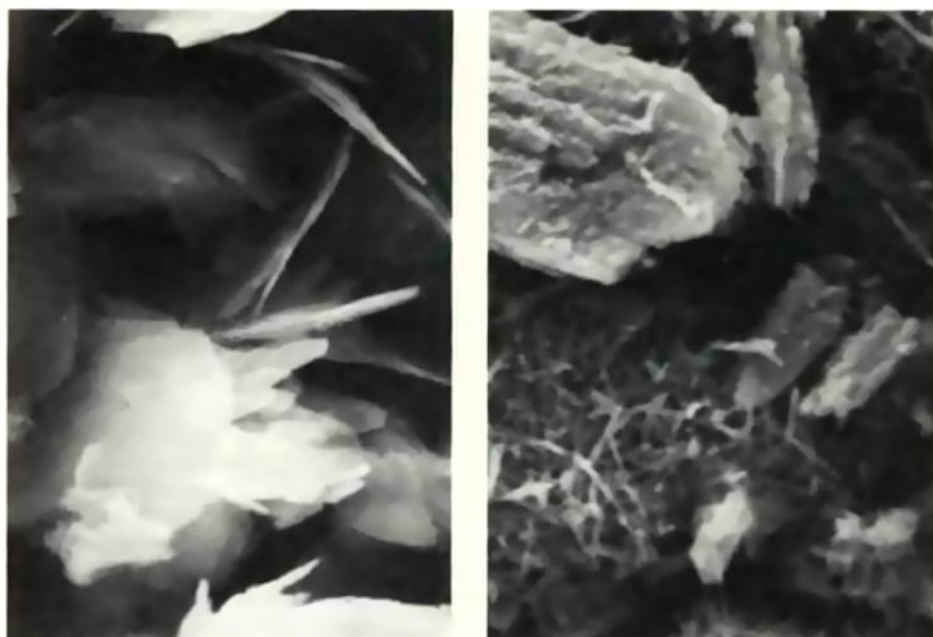
Человек палеолита использовал пещеру относительно недолго, видимо всего несколько сот лет, как установлено в результате стратиграфических исследований и анализа пыльцы растений, найденной в соответствующем пласте. Это заключение ученых подтверждают и откопанные в пещере каменные и костяные изделия, относящиеся только к хорошо известной в Дордони и других районах Франции культуре позднего верхнего палеолита — к нижнему мадлену. Кроме того, изучение большого количества росписей и еще более многочисленных гравировок показывает, что стиль их однороден. Все эти данные говорят о том, что пещера была обитаемой в течение исторически короткого периода около 15 000 лет до н.э., как показывает датировка древесного угля светильников при помощи радиоактивного углерода.

В КАКИХ условиях выполняли художники свою работу? Основной проблемой для них, видимо, было искусственное освещение. Вход в пещеру в мадленский период был достаточно просторен, а высота потолка достигала трех метров. Это значит, что дневной свет мог проникать лишь в переднюю часть Зала Быков. Однако в глубине Зала для работы было уже недостаточно дневного света, что же касается Осевого Перехода и остальных галерей пещеры, то там возникала прямая необходимость искусственного освещения.

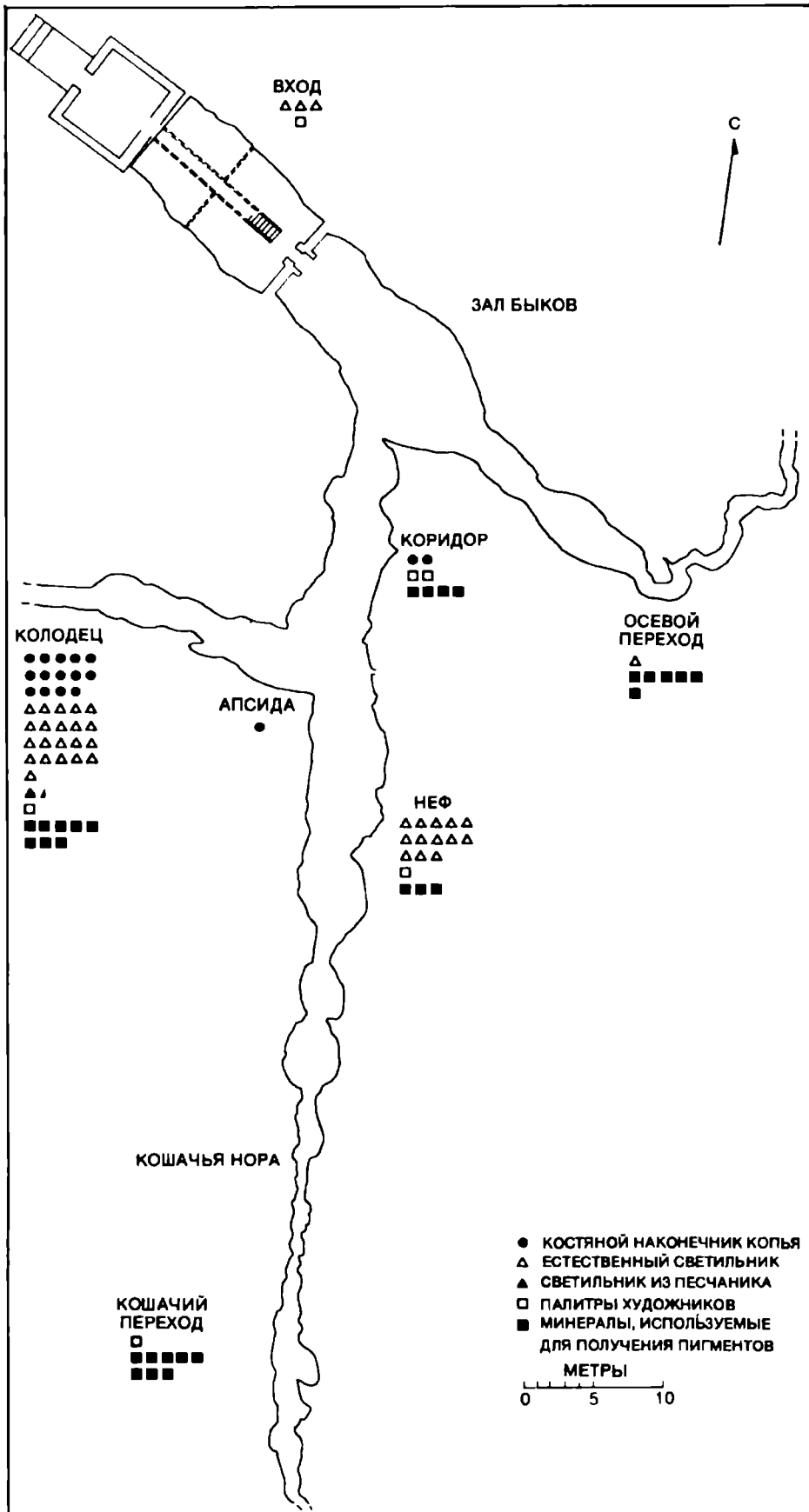
Поэтому не удивительно, что в Ласко найдено множество каменных светильников. Около 130 из них тщательно изучено. Мадленские художники не тратили особого труда на их изготовление, так как светильники эти представляли собой обыкновенные камни с естественными чашевидными углублениями, каких было множество на скалистых склонах возле входа в пещеру. Некоторые из камней имеют столь неглубокие выемки, что остается только недоумевать, как вообще они могли использоваться в качестве светильников. Однако остатки сажи, древесного угля, золы в углублениях, а также следы нагрева не оставляют сомнений относительно функций этих камней. Сотрудники музея Изье Брижитт и Жиль Делюк собрали в окрестностях пещеры похожие плоские камни и провели несколько экспериментов, чтобы проверить действие этих примитивных светильников. Они обнаружили, что подходящие фитили можно сделать из высушенного лишайника, моха или веточек можжевельника. Кстати, анализ древесного угля из некоторых светильников подтвердил, что можжевельное дерево действительно использовалось для фитилей. Наиболее приемлемым топливом, как выяснилось, был жир; ученые, ставя свои эксперименты, кла-



ПЕЩЕРА ЛАСКО близ деревни Монтиньяк, на реке Везер, в 40 км к востоку от Перигё, находится в районе, богатом месторождениями глины, окиси марганца, красной и желтой охры (квадраты). Ближайшее месторождение марганца зарегистрировано в Тивье, в 40 км к северо-западу от Ласко, а залежи глины и красной и желтой охры находятся в 20 км к востоку. Исследователи обнаружили марганец в 6 км от пещеры и охру обоих видов в 500 м от нее (отмечены треугольниками).



СРЕЗЫ С НЕСКОЛЬКИХ РОСПИСЕЙ Ласко, фотографии сделаны с помощью сканирующего электронного микроскопа. Слева — красная охра (увел. в 6000 раз); пластинчатые кристаллы — гематит (Fe_2O_3). Справа — черный марганец (увел. в 7000 раз); игольчатые кристаллы — пиролизит (MnO_2). Исследование проведено П. Вандивер, сотрудницей Массачусеттского технологического института.



ВОСЕМЬ ОСНОВНЫХ ОТСЕКОВ пещеры перечислены на плане; отмечены также места, где были найдены важнейшие изделия. Богатейшее собрание древних реликвий — Колодец в 55 м слева от входа в пещеру. В Колодце найдены: 21 светильник из необработанного камня, 1 тщательно выделанный (а также фрагмент другого), 14 из 17 обнаруженных в Ласко костяных наконечников копий, 1 из 6 палитр и 8 из 29 осколков минералов, которые художники измельчали в порошок для получения пигментов. (В пещере было найдено еще 129 осколков.) Много светильников обнаружено в Нефе. В Нефе, Коридоре, Осевом Переходе и самой дальней галерее — Кошачьем Переходе также найдены осколки минералов.

ли на каждый камень пятидесятиграммовый кусок животного жира, который не давал дыма и обеспечивал столько же света, сколько обычная свеча; 50 г хватало приблизительно на час. Для лучшего освещения в светильник можно было вложить несколько фитилей.

Светильник изящной работы из гладко обточенного красного песчаника и украшенный продольными насечками, найден в Колодце. Обнаружили его на дне Колодца, прямо на росписи — у кончика хвоста носорога. Утонченная красота отделки и то, что светильник находился в этом предполагаемом святилище, наводит на мысль, что служил он для более возвышенных целей, чем простое освещение.

ДРУГАЯ проблема, очевидно, вставала перед художниками, как только они определяли подходящее для росписи место. Выбор зависел от характера поверхности. Например, в Осевом Переходе достаточно гладкая поверхность находится на высоте трех-четырёх метров от пола, что значительно превосходит человеческий рост. Так же обстояло дело и с другими наиболее подходящими для росписи поверхностями пещеры. Легко представить себе, как мадленцы приносили в Зал Быков стволы молодых деревьев, укрепляли их подпорками и сооружали для художника грубый помост. Остатки самых высоких помостов найдены в Осевом Переходе. С их помощью удалось представить себе первоначальный вид платформы, которая давала художнику возможность работать почти у потолка галерей.

Исследователи обнаружили ряд углублений, пробитых в скале по обеим сторонам коридора; все они на одном уровне — в двух метрах от пола. Углубления заполнены мягкой глиной, и в ней видны отверстия глубиной около 10 см. Поверхность стены со временем покрылась тонким слоем растворимого кальцита, благодаря чему 17 углублений сохранилось полностью. По всей вероятности, в углубления вставляли крепкие и длинные ветви деревьев, которые скрепляли глиной; таким образом сооружалось перекрытие коридора. Эти «балки» могли поддерживать еще один помост из веток, достаточно высокий, чтобы живописец мог достать до потолка.

Работать на этих мостках художнику было, должно быть, очень удобно. Судя по костям животных, найденным на полу, древние творцы даже не давали себе труда спуститься вниз, чтобы поесть. Кости свидетельствуют также о том, что обычным местом приема пищи во втором отсеке пещеры служил большой выступ скалы в Нефе, как раз там, где изображена черная корова.

Анализ костей, взятых из обоих мест их скопления, показывает, что художники Ласко имели пристрастие к мясу молодого северного оленя; впрочем, дело, видимо, не только в гастрономических вкусах, но и в том, какая дичь была наиболее доступна. В этой связи интересно отметить, что молодой северный олень встречается только на одной росписи Ласко. Подобные факты помогают понять трудности исследователей, стремящихся объяснить смысл палеолитических росписей.



ПРЕДМЕТОМ трех взаимосвязанных исследований стали минеральные пигменты, использованные мадленскими живописцами в Ласко. Во-первых, покойная Аннетт Ламинь-Эмперер, сотрудница *École Pratique des Hautes Études* в Париже, и один из ее студентов, Клод Куро, изучили сырье, применявшееся для изготовления порошковых пигментов, и установили координаты месторождения этих минералов в данном районе Франции. Во-вторых, по инициативе Эме Боке из Центра документации доисторического периода района Альп и под руководством Р. Буше из Гренобльского центра ядерных исследований группа ученых провела технический анализ порошковых пигментов и мадленских методов их изготовления. В-третьих, Памела Б. Вандивер, аспирантка Массачусетского технологического института, работающая под руководством Уильяма Д. Кинджери, применила сканирующий электронный микроскоп для изучения срезов красок с некоторых росписей Ласко. Срезы были сделаны научным сотрудником Луврского музея С. Дельбурго. Работа Вандивер готовится к печати. Некоторые из полученных ею данных кратко изложены ниже.

Ламинь-Эмперер и Куро имели в своем распоряжении 158 экземпляров породы, извлеченных в различных местах пещеры аббатом Глори. На многих осколках видны процарапанные линии и другие свидетельства целенаправленной обработки. Судя по количеству найденных минералов, самый ходовой у мадленцев был черный цвет (105 осколков), затем желтый (26 осколков), красный (24 осколка) и только четвертое место занимал белый цвет (3 осколка), причем древним художникам были известны многочисленные оттенки черного, желтого и красного. Например, черные тона образуют спектр от очень густого до оливково-серого, желтые — от светло-желтого до красновато-желтого и желто-коричневого, а красные — от красно-коричневого и красно-желтого до светло-красного и очень бледно-красного. В коллекции аббата Глори есть носящие следы пигмента каменные «ступки» и «пестики», с помощью



ТРИ ИЗДЕЛИЯ из множества открытых в Ласко: тщательно обработанный каменный светильник, найденный в Колодце (вверху); морская раковина, окрашенная охрой, с отверстием, чтобы можно было надевать как украшение (слева внизу), также найдена в Колодце, и стершийся, сглаженный от долгого употребления рабочий угол одного из 27 обнаруженных в пещере гравировальных инструментов (справа внизу).

которых живописцы, видимо, готовили красящие вещества, а также много камней с естественными выемками, сохранивших остатки порошкового пигмента.

Для выявления месторождений минералов Ламинь-Эмперер и Куро прежде всего обратились к данным государственных геологических изысканий об известных в районе Ласко залежаниях окиси марганца (черные тона), окиси железа (красные и желтые тона) и фарфоровой глины (белые). Согласно геологическим картам, близлежащие источники марганцевых руд находятся в 40 км к северу и северо-западу от пещеры, а месторождения фарфоровой глины обнаружены в 20 км восточнее Ласко. Красная и желтая охра была отмечена на расстоянии 20 км на восток. Спустя некоторое время ученые обнаружили не зафиксированные на карте месторождения гораздо ближе к Ласко: в пяти километрах имеется месторождение окиси марганца, а всего в полукилометре — месторождение охры. Следующим этапом работы Ла-

минь-Эмперер и Куро было изучение техники живописи мадленцев. Как показали эксперименты, краски получались в результате растворения истолченных минералов в пещерной воде, содержащей высокий процент кальция, что обеспечивало стойкость красителей. Путем дальнейших экспериментов были установлены способы нанесения красок на поверхность скалы. Вымочив в воде ветки и привязав к ним небольшие пучки бизоньей щетины, Ламинь-Эмперер и Куро изготовили кисти. Этими кистями пигменты наносили на увлажненную плоскую каменную поверхность, а кусочки охры использовались в качестве мелков для первоначального наброска.

Вскоре ученые нашли более эффективный способ нанесения пигментов: они доказали, что писать на поверхности скалы гораздо удобнее с помощью туго набитых подушечек. И наконец, методом нанесения одного слоя пигментов на другой им удалось подтвердить правильность результатов исследований при помощи инфракрасных



МОДЕЛЬ СВЕТИЛЬНИКА ИЗ ЛАСКО — камень с естественным углублением; можжевеловые веточки заменяют фитиль, а кусок животного жира используется в качестве топлива. На снимке светильник освещает одну из росписей пещеры.



ПАЛЕОЛИТИЧЕСКИЙ КАНАТ, диаметр 7 мм; «окаменел» в Кошачьем Переходе. На него осел кальцит, заменив растительные волокна, из которых канат был сплетен, однако на 30-сантиметровом отрезке сохранились элементы плетения. Костяные иглы — обычные изделия позднего палеолита. Вероятно, ими пользовались, продевая в них «нить». Открытие в Ласко каната, сплетенного из растительных волокон, показывает, что волокно находило широкое применение 15 000 лет до н.э.

лучей, а именно: огромные черные быки в Зале Быков были нарисованы поверх красных коров.

ГРУППА из Гренобля исследовала 10 найденных аббатом Глори образцов порошковых пигментов и один образец черного красящего вещества, снятый с поверхности ступки. В каждом отдельном случае ученые определили химический состав пигмента и минеральное происхождение всех составляющих его элементов. В прошлом подобный анализ верхнепалеолитических росписей уже имел место, однако в Ласко был собран уникальный урожай порошка, из которого древние живописцы изготовляли свои краски. И не удивительно, что гренобльская группа открыла ряд новых фактов.

Самый важный вывод заключается в том, что для получения нужного цвета и для придания краскам определенных свойств мадленские художники не только смешивали пигменты, но и получали их самым неожиданным способом. Например, в состав одной из красок входил фосфат кальция — вещество, получаемое в результате нагревания костей животных до температуры приблизительно 400°C. Фосфат кальция затем смешивался с кальцитом и снова нагревался до температуры около 1000°C, в итоге смесь превращалась в тетракальцитовый фосфат ($4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$).

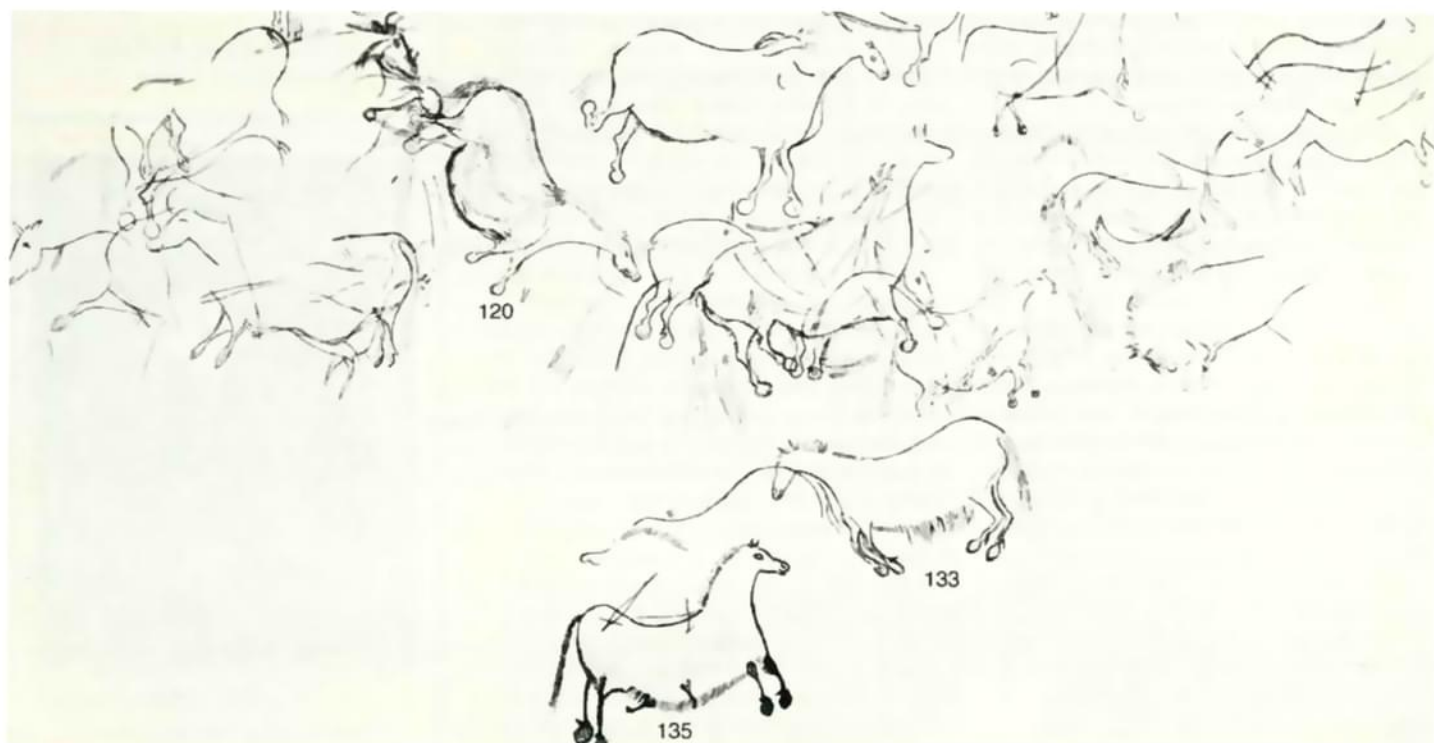
Выяснилось также, что белая краска, имеющая красноватый оттенок от красной охры, является производной не чисто фарфоровой глины, а сложного вещества, на 10 % состоящего из глины, на 20 — из толченого кварца и на 70 — из толченого кальцита. Подобная картина наблюдается и с темными красками; хотя главный их компонент — окись марганца, тем не менее черная краска, соскобленная со ступки, представляет собой смесь древесного угля (65 %), железистой глины (25 %) и некоторых других минералов, в том числе толченого кварца. От 20 до 40 % глины добавлялось и в толченую красную и желтую охру.

Проведенный Памелой Вандивер анализ срезов краски при помощи сканирующего электронного микроскопа позволил более детально воссоздать методику изготовления и применения красителей в Ласко. Для того чтобы охарактеризовать разработанную мадленскими художниками технику, она также подвергла опытные срезы рентгено-структурному анализу и оптической петрографии. Эти технические приемы показали, что микроструктура красных красок отличается от микроструктуры черных красок. Например, кристаллы гематита, являющиеся пигментом для красной охры, имеют пластинчатую структуру, а кристаллы

пирролюзита — пигмента для окиси марганца — имеют волокнистую или игольчатую структуру. Важной частью научной программы Вандивер было составление справочной коллекции природных минералов, родственных минералам, употреблявшимся для получе-

ния красок пещерной росписи. Постоянное сопоставление микроструктуры и химического состава красящих веществ из Ласко с природными образцами очень помогает в изучении характера и уровня развития мадленской техники живописи.

ВКЛАД аббата Глори в изучение Ласко трудно переоценить, но едва ли среди его трудов есть более масштабный и значимый, чем опись 1500 мадленских гравировок пещеры. Глори расположил их соответственно сложности — от простых прямых линий до



ГРАВИРОВКИ, ИЗОБРАЖАЮЩИЕ ЖИВОТНЫХ, на западной стене Коридора общей площадью 6 м². Всего насчитывается 32 животных; они показаны частично или полностью; большинство — лошади, три из них раскрашены (120, 133, 135). Слева видно несколько голов крупных рогатых животных и

задние части быков. В центре и справа — огромные хвосты трех лошадей. Эта и следующая иллюстрации являются копиями с кальки, сделанной аббатом Андре Глори. Гравировки, скопированные им, занимают 117 м² бумаги.



ШЕСТЬ ОЛЕНЕЙ (фрагмент), все выгравированы, но четыре полностью раскрашены, а один обведен красками по контуру; олени образуют часть панно площадью 4 м² в южной части Колодца. Шестой олень лишь слабо намечен над раскра-

шенным оленем (вторым слева), у него самые большие рога. Темные угловые линии на раскрашенном олене (втором справа), возможно, изображают стрелу.

изображений целых групп животных: фигуры животных выгравированы в Коридоре, Нефе и главным образом в Апсиде, где, кажется, не осталось ни одного не использованного куса скальной поверхности и где насчитывается не менее 578 гравировок. Как раз в этих частях пещеры обнаружено 27 каменных резцов (гравировальных инструментов). Об их употреблении свидетельствует один и тот же признак: первоначально острый рабочий угол стерся, стал гладким и округлым.

После второй мировой войны в книгах и периодических изданиях появилось много репродукций с росписей Ласко, особенно из Зала Быков и Осевого Перехода. Однако гравировкам не уделялось большого внимания, кроме некоторых, особенно отчетливых. В результате сотни значительных произведений искусства верхнего палеолита были известны только специалистам. Исправить это положение взялся аббат Глори, когда теряющий зрение Брёйль привлек его в 1952 г. в качестве помощника. Вскоре он овладел и техникой Брёйля, который научил его накладыва-

вать на гравировки слой прозрачного пластика и на него переносить контуры гравировки. После этого контуры с пластика переводились на большой лист кальки, покрывающий всю композицию. В итоге Глори заполнил контурами 117 квадратных метров кальки.

Глори занимался в Ласко также раскопками, сборанием изделий, фотографированием. Поначалу он проводил свои исследования ночью, дожидаясь, когда схлынет поток туристов — в сезон пещеру ежедневно посещало не менее тысячи человек. Но самый огромный его труд — опись гравировок — оказался и самым значительным. С момента закрытия пещеры в 1963 г. и до самой своей смерти Глори готовил к публикации это невероятное количество графического материала. Его деятельность обеспечила исследователям доисторического периода такую базу для изучения пещерного искусства и символики верхнего палеолита, которую мы больше нигде не встретим и которая, по всей вероятности, останется непревзойденной.



ГРАВИРОВКА, ИЗОБРАЖАЮЩАЯ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ, длиной 70 см от морды до кончика хвоста-обрубка; расположена рядом с окрашенной в желтый цвет лошадью на краю всей композиции Апсиды. Задние копыта и часть хвоста лошади находят на круп северного оленя. Это копия с кальки аббата Глори, несколько упрощенная для большей ясности.

Издательство
МИР
предлагает:



Б. Карлсон
ОСНОВЫ
ЭМБРИОЛОГИИ
ПО ПЭТТЕНУ

В двух томах
Перевод с английского

Книга Б. Пэттену «Эмбриология человека» (М.: Медицина, 1959) хорошо известна специалистам. В новой фундаментальной монографии рассмотрены предмет, методы и задачи эмбриологии, репродуктивная система, основные стадии эмбрионального развития, развитие нервной системы, органов чувств, пищеварительной, дыхательной, сердечно-сосудистой и мочеполовой систем. В приложении даны материалы о развитии куриного эмбриона в период от 18 часов до 4 дней.

Предназначена для эмбриологов, гистологов, генетиков, биологов развития, врачей, для студентов, аспирантов и преподавателей биологических специальностей.

1983, том 1, 28 л. Цена 3р. 10к.
Том 2, 32 л. Цена 3р. 50к.



Радиоинтерферометры со сверхдлинными базами в астрономии

С появлением атомных стандартов частоты стало возможным синхронизировать астрономические наблюдения, выполняемые одновременно несколькими радиотелескопами, разнесенными на тысячи километров. Это позволяет достичь разрешения, не виданного в истории астрономии

ЭНТОНИ РИДХЕД

НАИБОЛЕЕ мощными источниками радиосигналов во Вселенной являются радиогалактики и квазары. Сейчас их мельчайшие детали наблюдают с помощью сети радиотелескопов, рассредоточенных по всему земному шару. Такой метод исследования в радиоастрономии, обеспечивающий исключительно высокое разрешение, называется радиоинтерферометрией со сверхдлинной базой (РСДБ).

Формирование изображений с помощью радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой осуществляется по тем же законам физики, что и в оптических телескопах. Чтобы повысить разрешающую способность системы формирующей изображение, необходимо увеличить отношение апертуры, в которой собирается излучение, к длине волны этого излучения. Оказывается, что в принципе близко расположенные в пространстве точки гораздо труднее разрешить с помощью радиотелескопа, работающего в метровом или сантиметровом диапазоне, чем посредством оптического телескопа, работающего на волнах светового диапазона (миллионные доли сантиметра). Разрешающая способность, или разрешение, — это минимальное угловое расстояние между двумя объектами или двумя точками объекта, измеряемое в минутах или секундах дуги, при котором прибор, используемый для наблюдений, формирует отдельные изображения этих объектов. Для телескопа приближенной количественной мерой разрешения является отношение λ/D , где λ — длина волны излучения, а D — линейный размер апертуры телескопа. Чтобы наблюдать детали астрономического объекта, значение D должно быть возможно большим при длине волны, на которой производится наблюдение.

В конце второй мировой войны несколько молодых ученых, ранее принимавших участие в создании радаров, начали работать в только что зарож-

давшейся тогда области — радиоастрономии, используя накопленный ими опыт. В то время получение с помощью радиотелескопов разрешения, сравнимого с разрешающей способностью оптических телескопов, казалось несбыточной мечтой. Разрешающая сила большого оптического телескопа при хорошей видимости составляет примерно одну секунду дуги ($1''$). Под таким примерно углом мы видим предмет размером с небольшую монету на расстоянии 4 км или отрезок прямой длиной 2 км с расстояния от Земли до Луны.

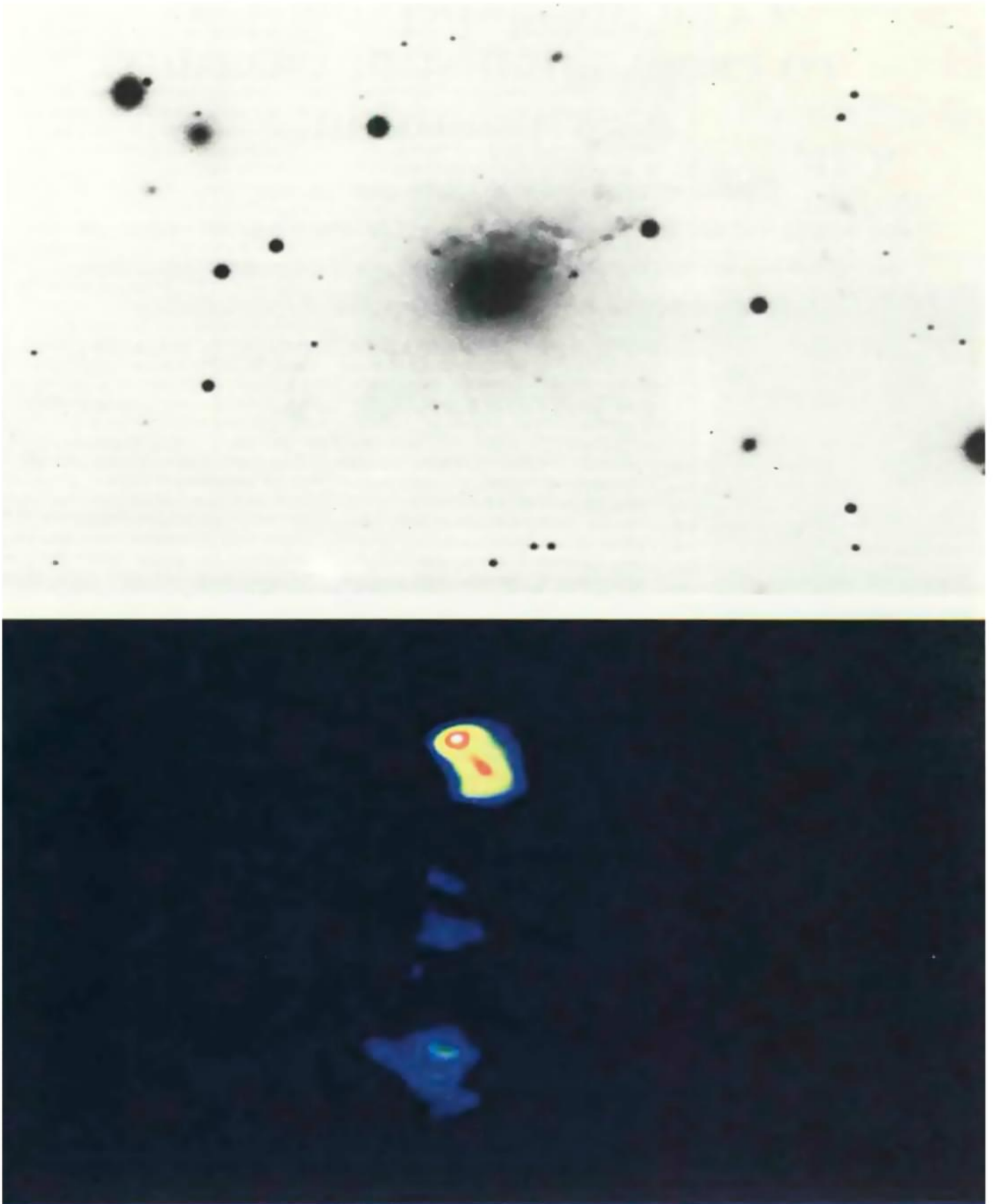
Нетрудно подсчитать, что для получения такого разрешения на радиотелескопе, работающем, скажем, на длине волны 1 м, диаметр площадки, с которой собирается излучение, должен был равняться примерно 240 км. Такой же расчет показывает, что телескоп с невероятным по тому времени диаметром 300 м (размер самого большого отражателя построенного впоследствии радиотелескопа) имел бы разрешение не лучше $800''$, что примерно в четыре раза хуже разрешающей способности человеческого глаза при наблюдении звезд на ночном небе.

Удачное сочетание методов радиоинтерферометрии с возможностями вычислительной техники позволило получать также разрешения, которые казались невозможными в эпоху зарождения радиоастрономии. В последние годы радиоастрономы получили изображения некоторых наиболее удаленных объектов Вселенной с разрешением до $0,0001''$, что примерно соответствует наблюдению предмета с ладонь человека на расстоянии от Земли до Луны. Эта величина на четыре порядка превосходит разрешающую способность наземных оптических телескопов.

Оговорка о наземной установке оптических телескопов необходима потому, что именно турбулентность земной атмосферы — явление, из-за которого

звезды нам кажутся «мерцающими» — препятствует достижению расчетной величины разрешения для больших параболических зеркал. В принципе 200-дюймовый Паломарский телескоп должен иметь разрешение $0,023''$, но в действительности оно всего лишь около $1''$ и только в 10 раз превосходит разрешающую способность лучшего телескопа Галилея. В свою очередь, с помощью телескопов Галилея удалось получить двадцатикратное улучшение разрешающей способности по сравнению с невооруженным глазом. Существенным достоинством современных оптических телескопов является их способность собирать большое количество энергии излучения за короткое время. С этой точки зрения 200-дюймовый Паломарский телескоп, называемый «световым ковшем», превосходит телескоп Галилея примерно в 40 000 раз. В 1985 г. за пределы земной атмосферы будет выведен телескоп с отражателем, примерно вдвое меньшим, чем у Паломарского телескопа. За счет исключения атмосферного влияния разрешение этого космического телескопа должно приблизиться к теоретическому значению $0,05''$, характерному для инструментов таких размеров.

ПРАКТИЧЕСКИ уже достигнутое в радиоастрономии разрешение $0,0001''$ не противоречит определению этого показателя отношением λ/D . Требуемая для столь высокого разрешения очень большая апертура получается за счет «апертурного синтеза» — такого способа наблюдений, при котором радиосигналы принимаются и записываются одновременно двумя или более приборами, удаленными друг от друга на сотни и тысячи километров, а затем складываются. При этом чтобы обеспечить высокую точность сложения, в процессе наблюдения следует поддерживать постоянство фазового соот-



НЕПРАВИЛЬНАЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ ГАЛАКТИКА NGC 1275, доминирующая в созвездии Персея, является мощным источником радиоволн и находится от нас на расстоянии 300 млн. св. лет. На верхней фотографии, полученной с помощью 200-дюймового телескопа Маунт-Паломар, она выглядит как размытый центральный объект. Диаметр размытого пятна около $80''$. На нижней части рисунка изображение того же объекта, полученное с помощью радиоинтерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ). Разрешение радиоизображения $0,0004''$, что позволяет обнаружить детали в

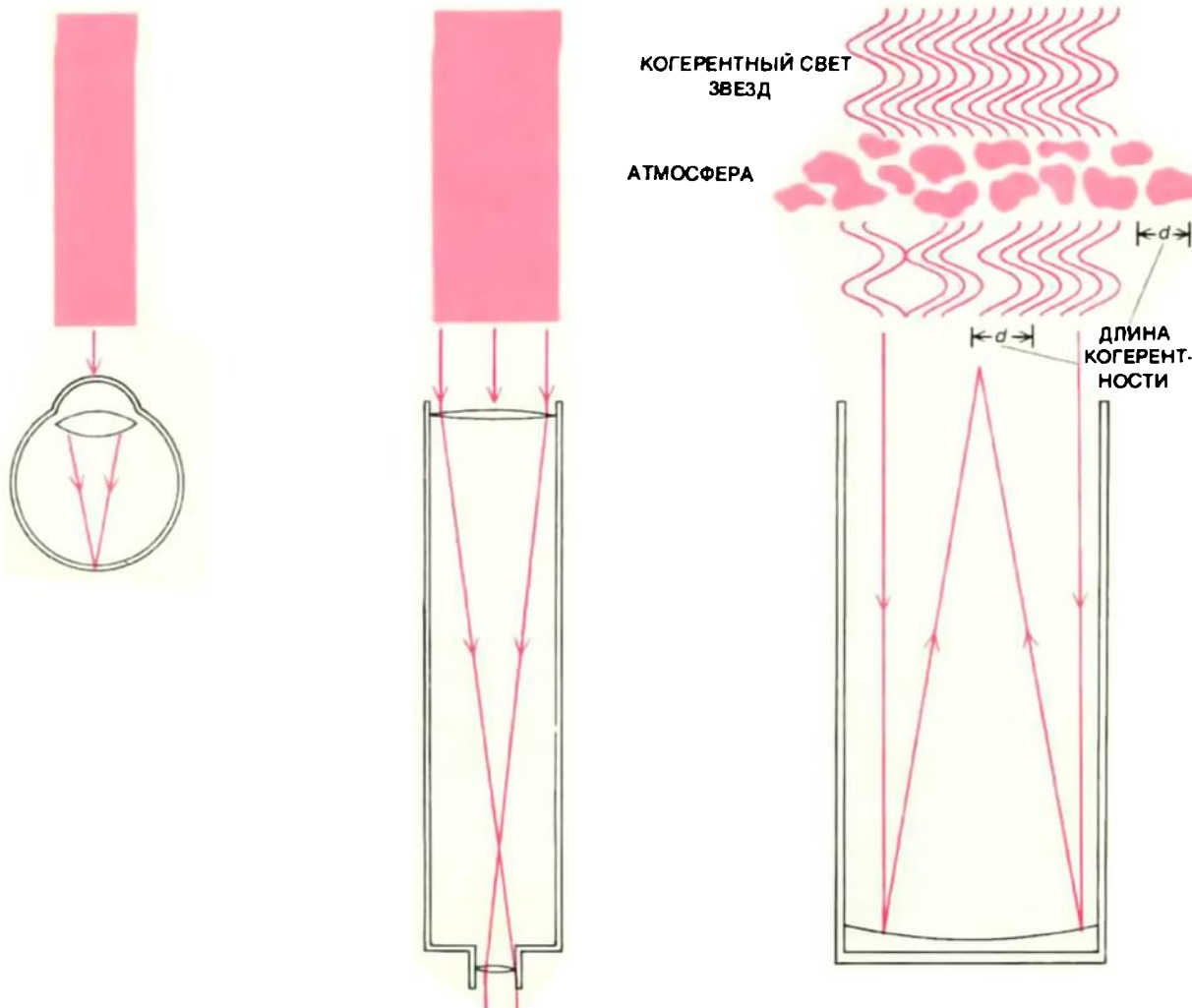
2500 раз меньшие, чем в оптических наблюдениях. Ширина снимка соответствует углу $0,023''$; в том же масштабе оптическое изображение всей галактики имело бы диаметр 175 м. Для получения радиоизображения потребовалась корреляция одновременных наблюдений с регистрацией в пяти местах. Продольные замеры наименьшего структурного элемента в радиоизображении, формировавшегося на телезкране, соответствуют одному св. году, а поперечные — 0,2 св. года. Предполагают, что этот элемент структуры связан с первичным источником радиоизлучения.

ношения между радиосигналами, которые принимаются различными телескопами, участвующими в апертурном синтезе. Если это условие соблюдено, то принимаемые радиосигналы называют когерентными. Суммарная интенсивность излучения будет большой, если радиоволны, достигающие двух телескопов, находятся в фазе, и нулевой, если они находятся в противофазе. Волны оказываются в фазе, если их

гребни достигают антенн телескопов одновременно, и в противофазе, если впадина одной волны достигает первого телескопа в тот момент, когда гребень другой достигает второго телескопа. Такое сочетание приборов, работающих как единая система, называется интерферометром.

За счет вращения Земли относительно расположение двух радиотелескопов и объекта наблюдения непрерывно

меняется. Вследствие этого интенсивность сигнала на выходе интерферометра последовательно проходит через максимумы и минимумы, поскольку радиоволны от наблюдаемого космического объекта достигают обоих телескопов то в фазе, то в противофазе. Эти максимумы и минимумы интенсивности сложных сигналов называются интерференционными полосами. Изменение интенсивности происходит



	ГЛАЗ	ТЕЛЕСКОП-РЕФРАКТОР	200-ДУЙМОВЫЙ ПАЛОМАРСКИЙ ТЕЛЕСКОП
ВХОДНОЕ ОТВЕРСТИЕ, ММ	5	25	5000
РАЗРЕШЕНИЕ, СЕКУНДЫ ДУГИ			
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ	25	5	0,025
РЕАЛЬНОЕ	200	10	1
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ	1	25	10^6

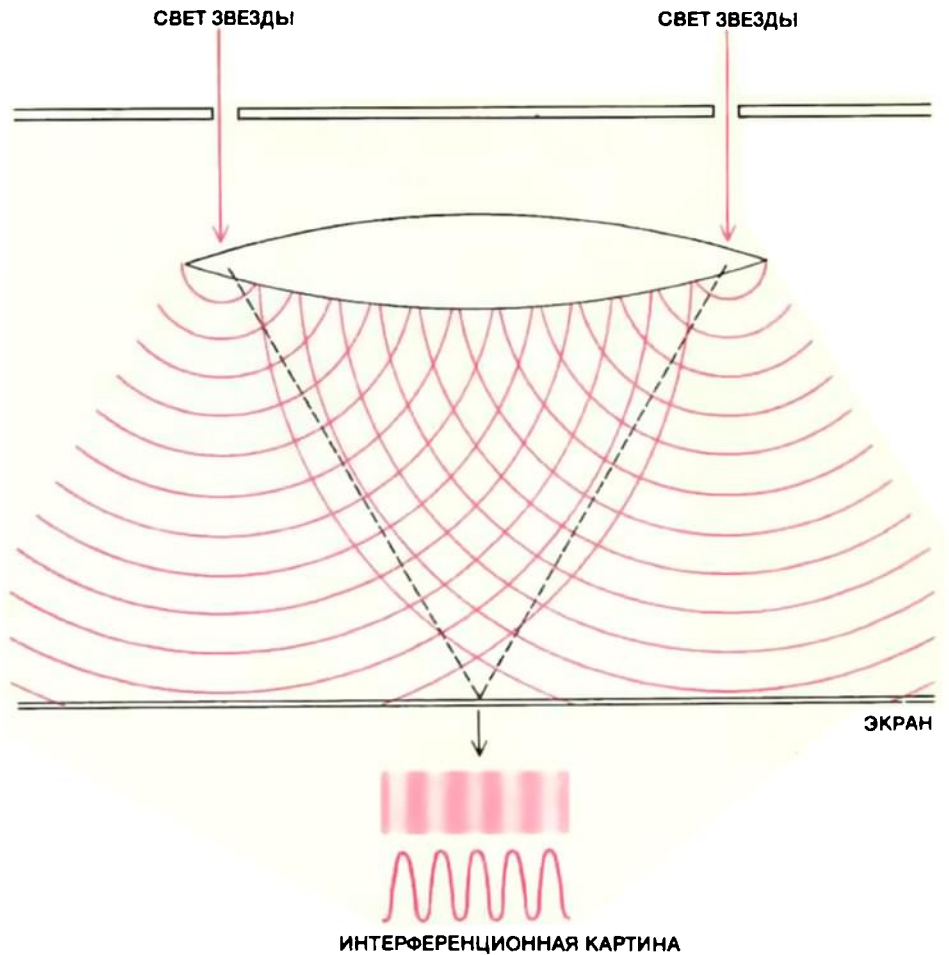
ТЕЛЕСКОП выполняет две основные функции: собирает излучение с большой площади и концентрирует излучение от двух точек, разнесенных на большое расстояние. Реализация первой функции позволяет наблюдать объекты, слишком слабые для того, чтобы быть замеченными невооруженным глазом. Вторая функция определяет разрешающую способность телескопа, то есть возможность видеть источники раздельно. Теоретически разрешающая способность телескопа определяется как угловой размер наименьшей видимой детали изображения и выражается отношением λ/D , где λ — длина волны излучения, а D — диаметр входного отверстия (апертура). Согласно этой формуле, человеческий глаз, диаметр входного отверстия которого равен 5 мм, должен иметь разрешающую способность $25''$, что примерно в 8 раз превышает его реальную характеристику при наблюдении звезд на ночном небе. Лучшие телескопы Галилея имели входное отверстие с полезным диаметром 25 мм;

с их помощью он достиг значительного разрешения — $10''$, примерно половины теоретически возможного. Такое разрешение в 20 раз лучше по сравнению с невооруженным глазом. Вследствие турбулентности атмосферы Земли разрешающая способность современных оптических телескопов всего в 10 раз выше, чем достигнутая Галилеем. Когда свет звезды достигает верхних слоев атмосферы, световые волны когерентны, то есть все они синхронизированы по фазе. Затем малые турбулентные области в атмосфере замедляют одну часть волнового фронта больше, чем другую, и когерентность волн нарушается, что приводит к искажению изображения, формируемого телескопом. Разрешение определяется размером области турбулентности d , который обычно равен нескольким сантиметрам. Поэтому разрешение для длин волн видимого света ограничивается отношением λ/d и составляет около $1''$.

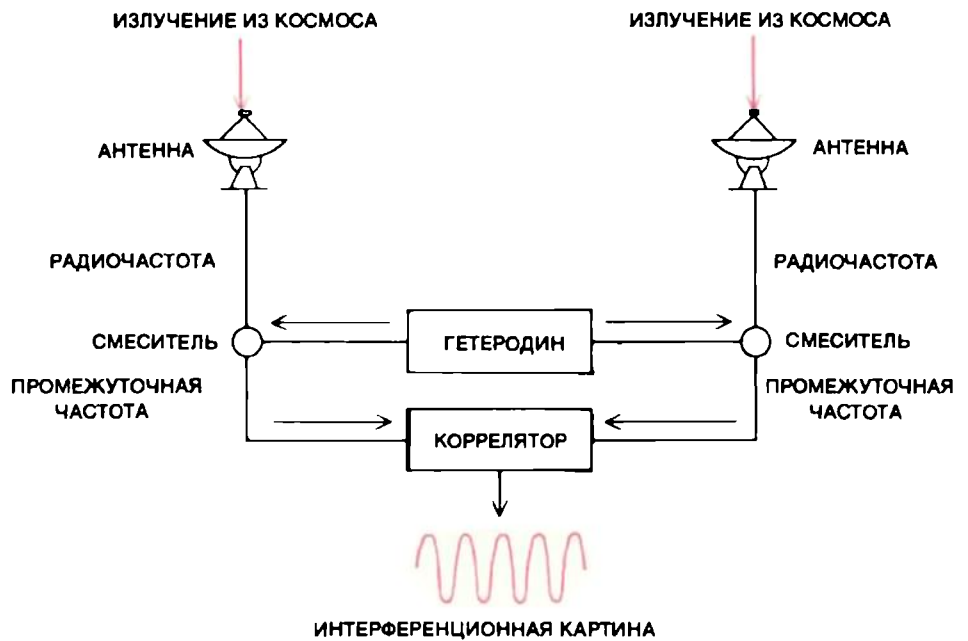
по синусоиде. Амплитуда и фаза синусоиды содержат информацию о структуре изучаемого космического объекта, выраженную в определенном угловом масштабе, который зависит от расстояния между двумя телескопами. Если это расстояние изменить, то получится другая интерференционная картина, содержащая информацию о структуре объекта уже в другом угловом масштабе. Так можно получить интерференционные картины при различных взаимных расположениях телескопов. Значения амплитуд и фаз интерференционных полос, полученные для большого числа вариантов взаимного положения двух телескопов, называется функцией видности. Если к этой функции применить преобразование Фурье, то можно перейти от зависимости амплитуды от времени к зависимости интенсивности от угла и таким образом непосредственно получить изображение объекта. Интерференционные картины можно получить с двух телескопов, разнесенных на любые расстояния, в том числе и на заданное расстояние D , и таким образом наблюдать ту же картину, которую можно было бы получить с одного телескопа гигантского диаметра. Когда для увеличения набора взаимных размещений телескопов используется вращение Земли, то говорят об апертурном синтезе, связанном с вращением Земли.

Метод формирования изображений с помощью радиоинтерферометрии был разработан М. Райлом и его сотрудниками в Кембриджском университете в 50-е годы. Он широко использовался, например, в радиообсерватории Оуэнс Валли Калифорнийского технологического института, в обсерватории Вестерброк в Нидерландах и в системе VLA (сокращение от Very Large Array — Большая антенная решетка), состоящей из 27 подвижных радиотелескопов, размещенных близ Сокорро (шт. Нью-Мексико). Все телескопы в этих центрах наблюдения непосредственно соединены между собой кабелями или волноводами, а достигаемое разрешение составляет около $1''$.

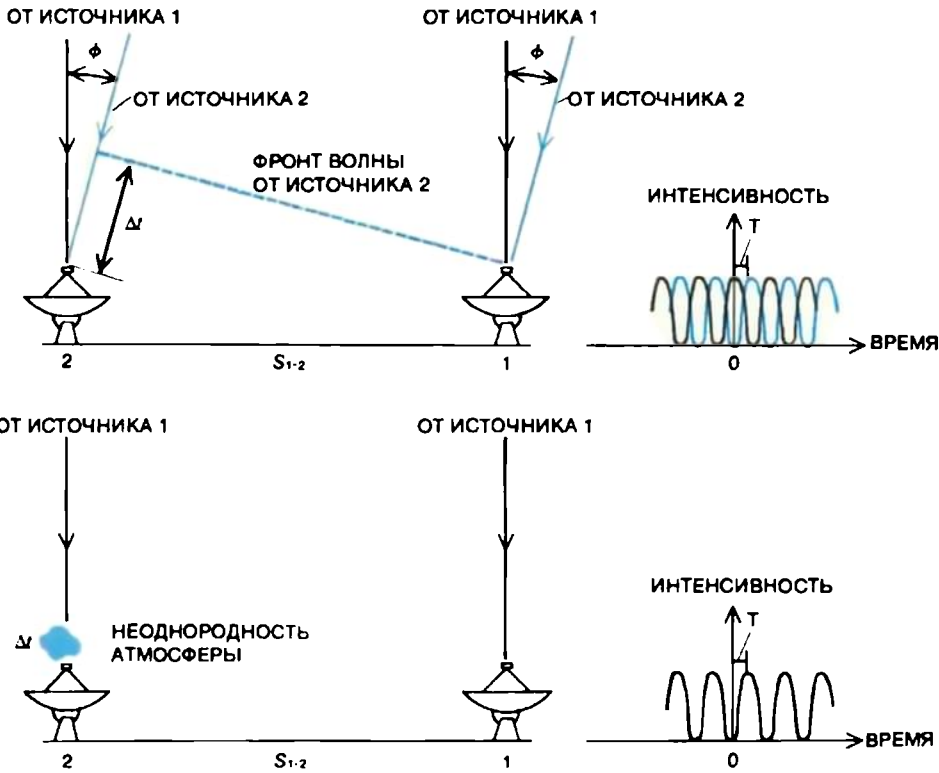
ЧТОБЫ получить разрешение значительно лучшее, чем $1''$, телескопы нужно разносить на тысячи километров друг от друга. В этом случае их нельзя просто соединить кабелем. Это было серьезной проблемой, поскольку, прежде чем сложить сигналы от двух телескопов, составляющих интерферометр, их надо синхронизировать с точностью до долей микросекунды. С появлением в конце 60-х годов точных атомных стандартов частоты необходимость физического соединения двух телескопов отпала, и тогда начали разрабатываться радиоинтерферометры со сверхдлинными базами. В методе РСДБ в двух центрах наблюдения



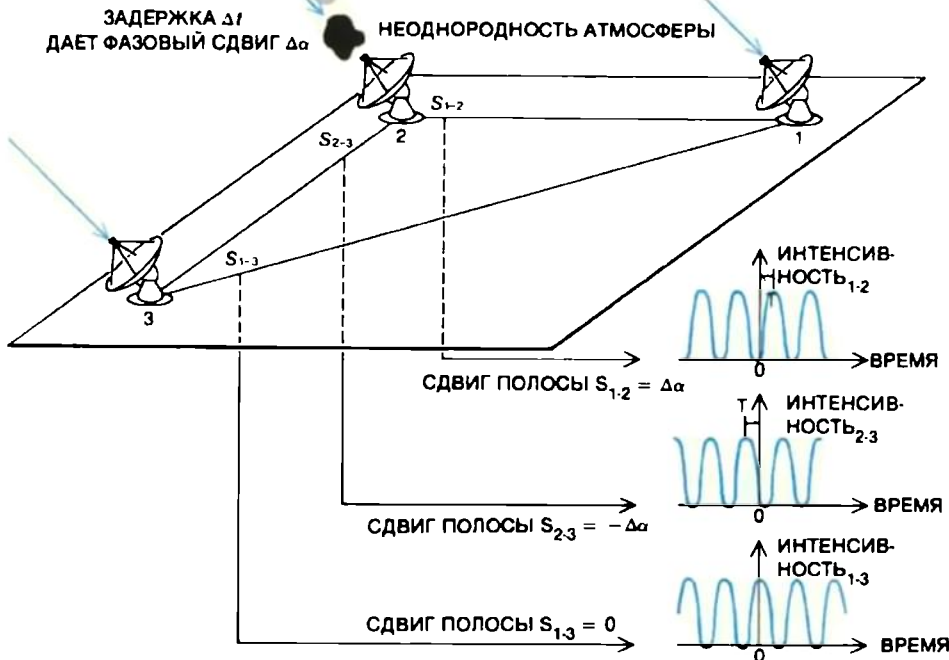
ОПТИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР — это инструмент, выполняющий сложение световых волн от двух отдельных точек одного источника. Волны от двух точек накладываются и создают интерференционную картину в виде полос. В тех местах, где совпадают гребни волн, возникают светлые полосы. В тех местах, где гребень одной волны накладывается на впадину другой, возникают темные полосы. Изменение интенсивности при переходе от светлых полос к темным описывается синусоидальной кривой.



РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТР является аналогом оптического интерферометра. Когда источник радиоволн наблюдается с помощью радиоинтерферометра, то за счет вращения Земли волны, достигающие двух телескопов, оказываются попеременно то в фазе, то в противофазе. Интенсивность суммарного сигнала меняется по синусоиде. С помощью измерения амплитуды и фазы полос для большого набора расстояний между телескопами можно определить функцию видности, из которой после преобразования Фурье получают изображение. С точки зрения разрешающей способности оно соответствует «синтезированной» апертуре, которая во много раз превышает диаметр входного отверстия одного телескопа.



ТУРБУЛЕНТНОСТЬ АТМОСФЕРЫ затрудняет определение амплитуды и фазы интерференционных полос, получаемых от телескопов, находящихся на расстоянии S друг от друга и образующих интерферометр S_{1-2} . В отсутствие турбулентности (верхний рисунок) при наблюдении источника № 1, проходящего через зенит в момент времени $t = 0$, сигнал на выходе интерферометра за счет вращения Земли постепенно меняется (черная синусоида). Излучение от источника № 2, сдвинутого по отношению к источнику № 1 на малый угол $\Delta\phi$, создает другую картину интерференционных полос (цветная синусоида), сдвинутую относительно первой на величину T , пропорциональную углу ϕ . Фронт волны от источника № 2 достигнет телескопа № 2 спустя промежуток времени Δt после прихода в телескоп № 1. Из-за неоднородности, созданной турбулентностью (нижний рисунок), фронт волны от источника № 1 может достичь телескопа № 2 спустя такой же промежуток времени Δt по отношению к наблюдению в телескопе № 1, что и в первом случае. Это приведет к такому же сдвигу полос T на выходе интерферометра.



РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ФАЗОВЫХ СДВИГОВ, вызванных либо атмосферным влиянием, либо инструментальными погрешностями, достигается объединением трех радиотелескопов, которые образуют три интерферометра S_{1-2} , S_{1-3} и S_{2-3} . В этом случае задержка волны, приходящей в телескоп № 2, вызывает равные, но противоположные фазовые сдвиги в интерферометрах S_{1-2} и S_{2-3} . Положение полос в интерферометре S_{1-3} не зависит от возмущений в зоне наблюдения телескопа № 2. При сложении по цепочке для получения «фазы замыкания», фазовые сдвиги, обусловленные влиянием атмосферы, в точности компенсируются.

производится независимая запись сигналов (с точностью до микросекунды) на магнитофонную пленку того же типа, что и для записи телевизионных изображений. Затем пленки загружаются в центральный коррелятор, где записи синхронизируются и происходит сложение сигналов.

Для получения изображения космического радиоисточника с помощью апертурного синтеза необходимо определять как амплитуду, так и фазу интерференционных полос. Основная трудность заключается в измерении фазы. Получение качественных изображений методом апертурного синтеза требует значительных усилий по стабилизации фазы в сети радиотелескопов, образующих интерферометр. Но даже после того, как создана сеть с минимальными инструментальными погрешностями, ученые вынуждены бороться с флуктуациями фазы, обусловленными атмосферой, а на низких частотах — ионосферой Земли и межпланетной средой.

От колебаний фазы, вызванных атмосферой и ионосферой, трудно избавиться путем калибровки, даже если телескопы разнесены всего на несколько километров. В методе РСДБ приборы могут располагаться на разных континентах, и фаза интерференционных полос искажается не только из-за действия атмосферы и ионосферы, но и вследствие случайных скачков и дрейфа в атомных стандартах частоты, а также из-за невозможности точно определить расстояния между фокусами двух телескопов. Каждый из этих факторов создаст сходные эффекты ускорения или замедления прихода фронта волны в один из телескопов. Это приводит к дрожанию интерференционных полос и препятствует измерению фазы.

Для решения этой проблемы в последние пять лет использовались различные подходы. Два из них применимы только в том случае, если наблюдаемый объект состоит из отдельных точечных источников. Обычно один называют методом измерения положения точечного источника по изменениям интерференционных полос, а другой — методом построения радиоизображения по фазовым сдвигам. Их не следует путать с методом апертурного синтеза, который применим к любым источникам излучения сложной структуры. К счастью, существует несколько интересных для астрофизиков космических объектов, которые включают отдельные точечные компоненты; их изображение можно получить с помощью этих методов. Кратко остановимся на картографировании нескольких таких источников, а затем перейдем к описанию методов получения изображений более сложных объектов.

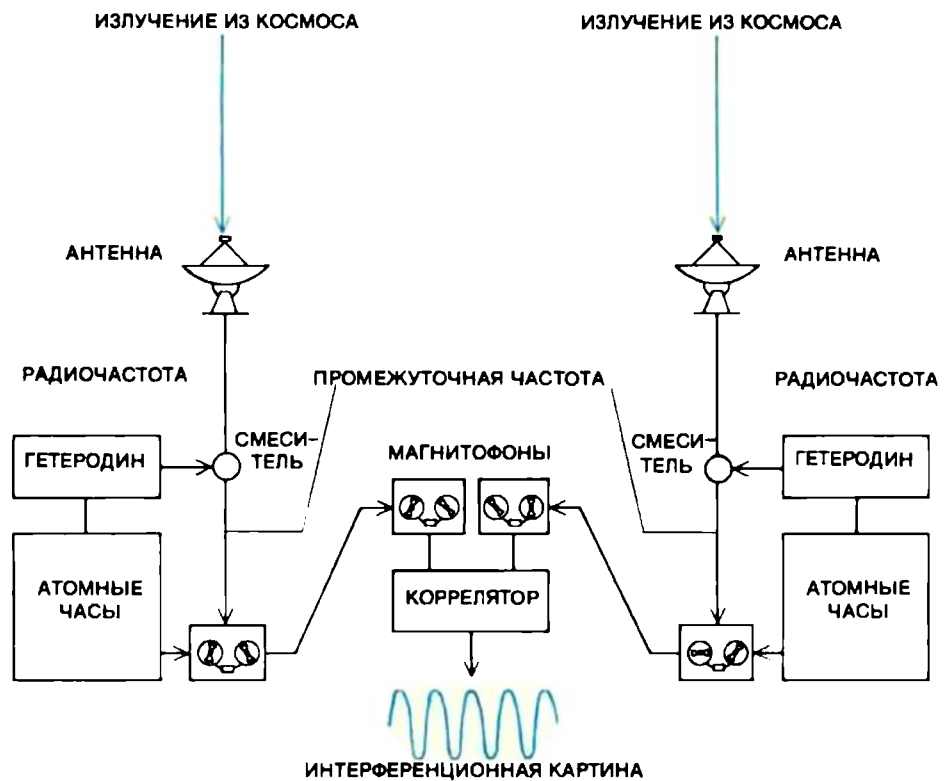
АТМОСФЕРНЫЕ и приборные эффекты, мешающие измерению фазы, мож-

но подавить, если объектом является яркий точечный источник или если такой источник расположен рядом с исследуемым объектом. Точечный источник, по определению, характеризуется нулевым фазовым сдвигом, так что любой наблюдаемый сдвиг полос в его интерференционной картине может быть обусловлен либо влиянием атмосферы, либо приборным эффектом, либо и тем и другим вместе. Поэтому чтобы исключить такие побочные эффекты, достаточно вычесть фазы излучения соседнего точечного объекта из фаз радиосигнала от объекта наблюдения. Используемый в этом случае точечный источник называется опорным объектом.

Некоторые из наиболее интересных ярких точечных источников были обнаружены в облаках газа, окружающих старые звезды, и в областях, где происходит образование новых звезд. В обоих случаях точечные источники представляют собой небольшие области внутри газовых облаков, в которых молекулы воды (H_2O), гидроксила (ОН) и монооксида кремния (SiO) интенсивно излучают на строго определенных частотах. Эти источники называются космическими мазерами, поскольку по свойствам они напоминают определенный тип усилителей, которые нашли широкое применение в радиоастрономии. С момента обнаружения первого космического мазера в 1965 г. найдено несколько сот таких космических объектов.

Очень высокое разрешение, достигаемое с помощью РСДБ, позволило получить информацию о структуре космических мазеров с точностью до 10^8 км, что примерно соответствует радиусу земной орбиты. По доплеровскому сдвигу частоты излучения мазера можно определить радиальную скорость облака с мазерным эффектом. Более того, наблюдая поляризацию РСДБ-сигналов от мазеров, находящихся в области формирования звезд, можно определить напряженность магнитных полей, связанных с облаками, при коллапсе которых образуются звезды. Пионерами этого метода являются Дж. Моран-младший и его коллеги по Астрофизическому центру Гарвардской обсерватории и Смитсоновской астрофизической обсерватории.

Первые карты расположения H_2O -мазеров были получены К. Уолкером из Национальной радиоастрономической обсерватории в Грин Бэнк и его сотрудниками из Массачусетского технологического института и Астрофизического центра. Они составили карту мазеров, расположенных в газовом облаке W 51 в созвездии Орла. Позднее в области Большой Туманности в созвездии Ориона, где идет образование новых звезд, группа ученых под руководством Р. Генцеля, работавшего тогда в Астрофизическом центре, зарегистрировала собственные движения



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ АТОМНЫХ СТАНДАРТОВ ЧАСТОТЫ исключает необходимость физического соединения трех или более телескопов в сети и позволяет реализовать метод РСДБ. На каждом телескопе радиосигнал от небесного источника записывается на видеоленту со скоростью четыре миллиона сигналов в секунду вместе с метками времени, периодически поступающими от местных атомных часов. Для воспроизведения интерференционной картины ленты затем обрабатываются на центральном процессоре, который синхронизирует записанные на ленте сигналы с точностью до долей микросекунды.

около 40 отчетливых мазерных пятен (т.е. была определена видимая угловая скорость их движения на небесной сфере перпендикулярно лучу зрения). Для мазеров из созвездия Ориона собственное движение составляет примерно $0,01''$ в год. Эта же группа исследователей по доплеровскому сдвигу каждого пятна определила и скорости радиального движения мазеров (движения вдоль направления наблюдения). Эти измерения в сочетании с точным определением положения H_2O -мазеров показали, что они находятся в облаках, удаляющихся со скоростью 18 км/с из окрестностей двух слабых источников инфракрасного излучения, обозначаемых IRC 2 и IRC 4.

Недавно М. Рид вместе с сотрудниками из Астрофизического центра исследовал движение ОН-мазеров в области образования звезд облака W 3, наблюдаемого в созвездии Кассиопеи. С помощью восьми радиотелескопов, семь из которых находится в США, а один — в Канаде, они составили карту 14 областей с мазерным эффектом на молекуле гидроксила, причем достигли разрешения $0,01''$. Мазеры наблюдаются на фоне яркого облака из ионизованного водорода, черпающего энергию от неизвестной молодой звезды. Рид со своей группой разработал дина-

мическую модель, показывающую, что ОН-мазеры движутся в направлении центральной звезды со скоростью 5 км/с. Эти мазеры, по-видимому, являются остатками аккрецирующей оболочки, которая все еще продолжает сжиматься в направлении вновь образующейся звезды и окружающего ее облака ионизованного водорода. С помощью сходных методов О. Хашик вместе с сотрудниками Астрофизического центра и обсерватории Хайстек Массачусетского технологического института составил карту ОН-мазеров в звездообразующей области W 75 N в созвездии Лебеда. Они предполагают, что мазеры образовались вокруг молодой двойной звездной системы.

Одним из наиболее существенных приложений этого метода является непосредственное определение расстояний в ряде специальных случаев. Например, можно рассчитать расстояние до H_2O -мазеров из созвездия Ориона, поскольку оказалось, что мазерные пятна изотропно расширяются из точки. Благодаря этой особенности расширение может быть изучено методом «параллакса расширяющегося скопления». Подставляя в модель изотропного расширения значения наблюдаемых радиальных скоростей и собственных движений, а также параметры, отражающие точное положение пятен, можно определить глубину каждого

пятна по отношению к центру расширения. Зная положение каждого пятна в пространстве, из модели расширения нетрудно рассчитать их поперечные скорости. Расстояние до всей области можно найти путем пересчета угловых скоростей собственных движений в поперечные движения, найденные из модели, которые являются истинными скоростями. Когда эта процедура проделана для каждого пятна, оптимальное решение для всех пятен может быть найдено методом наименьших квадратов. С помощью такой процедуры установлено, что расстояние до туманности в созвездии Ориона составляет 1550 ± 250 световых лет.

Альтернативный метод определения расстояний — метод «статистического параллакса» — применим в тех случаях, когда движения мазеров оказываются неупорядоченными. При этом методе производится простое сравнение распределения мазеров по радиальным скоростям, вычисленным по доплеровским смещениям, с распределением по собственным движениям, полученным из наблюдений в разные моменты времени. Отношение двух распределений непосредственно дает искомое расстояние. Этот метод был

применен к H_2O -мазерам в звездобразующей области W 51. Р. Генцель, М. Шнепс и сотрудники из Астрофизического центра показали, что это скопление мазеров удалено от нас на расстояние $23\,000 \pm 5\,000$ световых лет.

Эти новые методы позволяют определять расстояния с точностью 10 — 20%. Они исключительно важны, поскольку с их помощью удастся обойти множество трудностей, присущих традиционным астрономическим способам определения расстояний, и ими можно пользоваться при исследовании Галактики на всем ее протяжении. К тому же H_2O -мазеры недавно были обнаружены и в соседней спиральной галактике M 33 в Треугольнике, так что новые методы могут найти такое же успешное применение и для исследования соседних галактик.

К сожалению, методы апертурного синтеза, столь плодотворные в случае ярких точечных источников, неприменимы для построения радиокарт протяженных объектов, таких, как квазары и радиогалактики. За исключением немногих особых случаев, в этих объектах или поблизости от них нет удобно расположенных точечных источников, которые могли бы служить опорными

объектами. Поэтому до 1975 г. считалось маловероятным, что с помощью интерферометров со сверхдлинными базами когда-нибудь удастся получить качественные изображения мощных внегалактических радиоисточников. Однако, как это часто бывает, ограниченность уже имеющихся средств стимулирует появление нового метода, который давно мог бы применяться в обычной интерферометрии.

ПЕРЕВОРОТ в радиоастрономии произошел в 1953 г., когда Р. Дженнисон, аспирант английской радиообсерватории Джодрелл Бэнк, воспользовался идеей, оставшейся без внимания более двадцати лет. Он понял, что полезную информацию о структуре радиоисточника можно получить даже в том случае, если фаза сильно искажена. Дженнисон обнаружил, что если фазы полос, полученных в замкнутой цепочке из трех или более интерферометров, сложить, то все искажения, обусловленные особенностями распространения волн или инструментальными погрешностями, в точности компенсируются. Получающаяся сумма фаз содержит информацию лишь о структуре исследуемого объекта.

Поясним на примере. Представим себе группу из трех телескопов 1, 2 и 3, находящихся в вершинах треугольника. Каждая пара телескопов образует собственный интерферометр. Таким образом, получаются три интерферометра, состоящие из пар телескопов 1 — 2, 1 — 3 и 2 — 3, причем каждый из них создает свою интерференционную картину. Если атмосфера вызывает запаздывание прихода волны в телескоп 2, это не сказывается на интерференционных полосах, образующихся в интерферометре 1 — 3. В то же время полосы в интерферометрах 1 — 2 и 2 — 3 сдвигаются на одну и ту же величину, но в противоположных направлениях. Легко видеть, что если в замкнутой цепочке сложить фазы, то их относительные сдвиги точно компенсируются. Это равносильно и для волн, приходящих в телескопы 1 и 3.

В 1974 г. А. Роджерс из обсерватории Хайстек, не зная о работе Р. Дженнисона, применил тот же метод к интерферометрам со сверхдлинной базой. Роджерс назвал сумму фаз в замкнутой цепочке «фазой замыкания». Под влиянием работы Роджерса П. Уилкинсон и автор этой статьи, работая в Калифорнийском технологическом институте, разработали метод получения качественных изображений на основе замыкания фазы при использовании РСДБ; этот метод известен теперь как гибридный метод построения радиокарт. Его применение для случая замкнутой цепочки из четырех телескопов позволило нам, измеряя, как принято говорить, амплитуду замыкания, получить из четырех наборо-



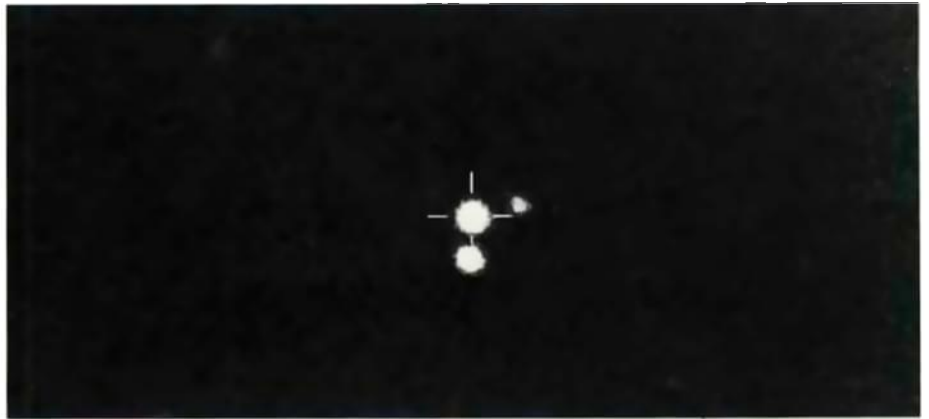
40-МЕТРОВЫЙ РАДИОТЕЛЕСКОП радиообсерватории Оуэнс Валли, директором которой является автор статьи, построен в 1967 г. В отличие от оптических телескопов радиотелескоп может работать круглосуточно при условии, что наблюдения ведутся не слишком близко к Солнцу. Чаша Оуэнс Валли нередко используется в интерферометре, включающем радиотелескопы Хэт Крик в Калифорнии, Форт Дэвис в Техасе, Норт Либерти в Айове, Альконквин Парк в Онтарио, Грин Бэнк в Западной Виргинии, Хайстек в Массачусеттсе, Джодрелл Бэнк в Англии и Эффельсберг в ФРГ.

ров интерференционных полос более точное значение амплитуды.

В методе замыкания сам небесный объект используется и в качестве опорного, и как средство калибровки максимального смещения фазы. Работая в Калифорнийском технологическом институте, нам недавно удалось расширить возможности этого метода, так что теперь удается получать качественные изображения, пользуясь совершенно некалиброванными и даже некалибруемыми данными. Новые методы революционизировали не только процесс получения изображений, но и принципы построения сетей радиотелескопов. Более того, использование этих методов не ограничено радиоволновым спектром. Их можно применять к любым волнам, которые дают регистрируемые интерференционные полосы.

С развитием метода замыкания появилась возможность получать детальные изображения космических объектов с помощью сети радиотелескопов, разнесенных на тысячи километров. Вместе с этим возникла задача создания сетей телескопов, специально предназначенных для интерферометрии со сверхдлинной базой. После интенсивных исследований наша группа в Калифорнийском технологическом институте и группа из Национальной радиоастрономической обсерватории предложили создать сеть из 10 радиотелескопов, каждый диаметром 25 м, простирающуюся от Гавайских островов и Аляски до восточного побережья США. При использовании метода гибридного картографирования эта сеть будет эквивалентна одному телескопу с апертурой 7500 км. До сих пор ни один телескоп не был сконструирован и построен специально для радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой; однако существуют сети рассредоточенных по земному шару телескопов, созданных для других целей, которые могут служить для проверки этой схемы. Отметим, что эти специальные сети не обеспечивают получение изображений удовлетворительного качества. Полной реализации возможностей РСДБ следует ожидать только при создании сети предложенного нами типа.

Гибридное картографирование впервые было использовано в 1975 г. при наблюдении квазара 3С 147, одного из множества «квазизвездных» радиоисточников, населяющих наиболее удаленные от нас области космического пространства. На фотографиях, сделанных на крупнейших телескопах, квазары выглядят как обычные слабые звезды. На первом же радиоизображении, имевшем разрешение $0,01''$, был обнаружен объект с ярким ядром и любопытным односторонним выбросом*. В следующем году объект 3С 147



ПЕРВЫЙ КВАЗАР, картографированный по методу РСДБ, — объект 3С 147, который удален от нас на расстояние 7 млрд. световых лет. На верхней фотографии, полученной на 200-дюймовом Паломарском телескопе 3С 147, выглядит как типичная слабая звезда. В 1976 г. сигналы, записанные на телескопах Оуэнс Валли, Хэт Крик, Форт Дэвис, Грин Бэнк и Эффельсберг, были синтезированы по новому методу «гибридного картографирования» для получения изображения с разрешением $0,01''$ (нижний снимок). На условно окрашенном радиоизображении виден выброс длиной 5000 световых лет, выходящий из яркого ядра. Угловая длина выброса составляет $0,2''$, то есть пятую часть оптического изображения.

наблюдался с большим разрешением ($0,003''$) с помощью сети из пяти телескопов: два из них находились в Калифорнии (Оуэнс Валли и Хэт Крик), один — в Западной Виргинии (Грин Бэнк), один — в Техасе (Форт Дэвис) и один — в ФРГ (Эффельсберг, близ Бон-

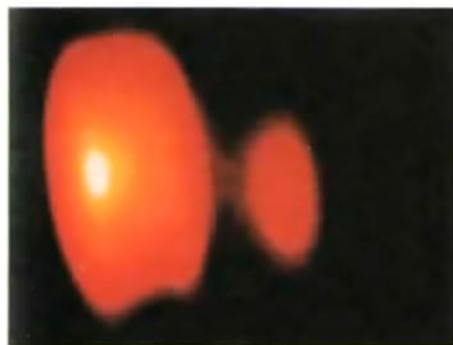
на). На изображении видно, как выброс распался на цепочку неправильных сгустков общей длиной $0,2''$. Оптическое изображение квазара 3С 147 имеет вид сплошного пятна, имеющего в поперечнике $1''$, что в пять раз превышает протяженность выброса.



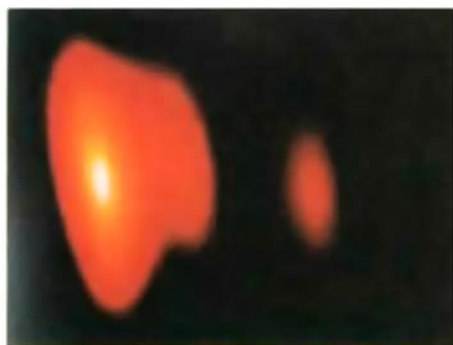
КВАЗАР 3С 273, первый «квазизвездный радиоисточник», впервые наблюдался в 1963 г. М. Шмидтом из Калифорнийского технологического института. Он обнаружил, что свет от этого звездоподобного объекта, структуру которого в оптическом диапазоне выявить не удается, совпадает с мощным радиоисточником и сильно сдвинут в красную область спектра; из этого можно сделать вывод, что квазар удаляется от нашей Галактики со скоростью, составляющей примерно $\frac{1}{4}$ скорости света. Картографирование по методу РСДБ выявило его необычную структуру (см. следующий рисунок).

*См. статью Р. Блэндфорда и др. «Космические выбросы» в этом же номере.

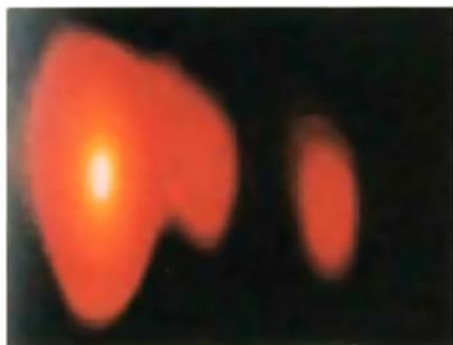
ИЮЛЬ 1977



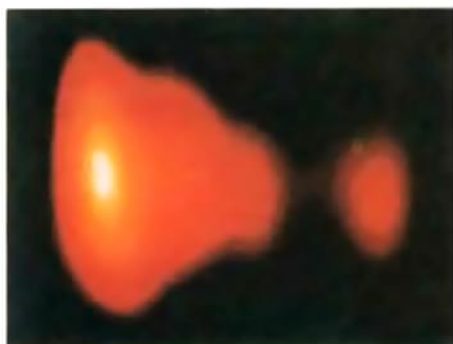
62 СВЕТОВЫХ ЛЕТ
МАРТ 1978 ГОДА



68 СВЕТОВЫХ ЛЕТ
ИЮНЬ 1979

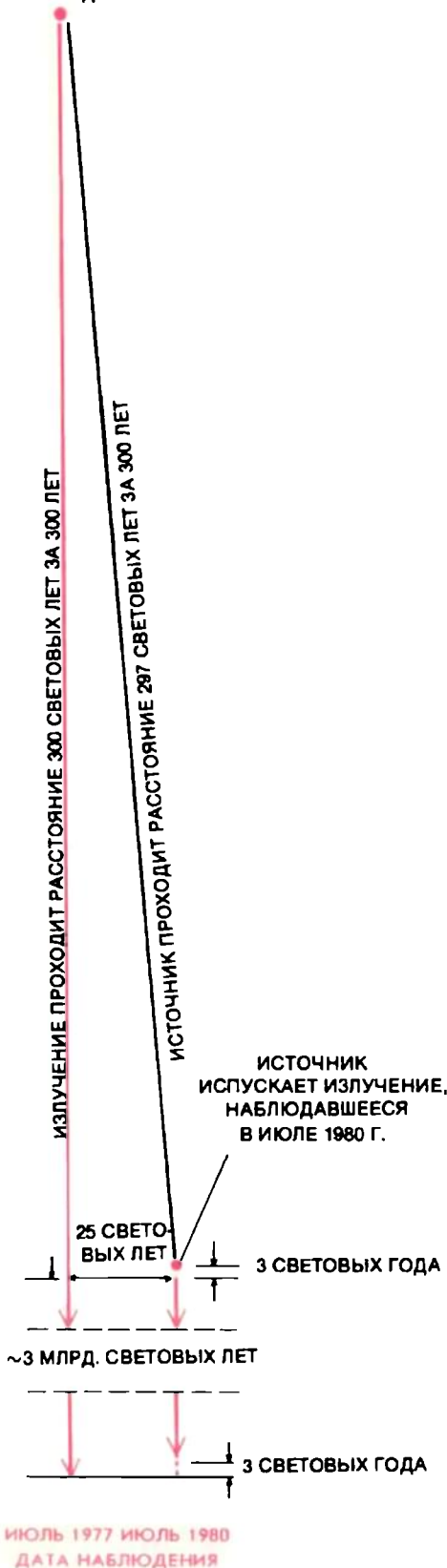


77 СВЕТОВЫХ ЛЕТ
ИЮЛЬ 1980



87 СВЕТОВЫХ ЛЕТ

ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ,
НАБЛЮДАВШИЙСЯ В ИЮЛЕ 1977 Г.



СЕРИЯ РАДИОИЗОБРАЖЕНИЙ КВАЗАРА 3С 273 с разрешением $0,001''$ (слева) получена с помощью синтеза комбинаций сигналов, записанных на разных телескопах. За три года, с 1977 по 1980 г., было зарегистрировано перемещение сгустка, испущенного квазаром, на расстояние 25 св. лет, что создавало впечатление о движении космического объекта со «сверхсветовой» скоростью. Эта иллюзия возникла из-за того, что сгусток движется почти по направлению к Земле со скоростью, близкой к скорости света. Как показано справа, излучение, достигшее радиотелескопов в 1980 г., в действительности было испущено примерно на 300 лет позже, чем излучение, зарегистрированное в 1977 г. Сам источник излучения в момент вторичной регистрации был на 297 св. лет ближе к Земле. Таким образом, два импульса достигли Земли с интервалом всего лишь в три года. За это же время сгусток сдвинулся «вбок» на 25 световых лет. Расстояние между ядром и сгустком составляет $0,006''$ или $1/30$ часть размера оптического изображения.

Полученные результаты интересны по двум причинам. Они показали техническую возможность получения качественных изображений с максимальным разрешением, которое может обеспечить метод РСДБ. Это означает, что действительно можно создавать телескопы глобальных размеров и с их помощью получать изображения теоретически достижимого уровня в условиях отсутствия атмосферного влияния и инструментальных погрешностей. Но более важным является результат, который оказался неожиданным. Крупномасштабная радиоструктура внегалактических объектов обычно обладает высокой симметрией и состоит из двух радиолепестков, расходящихся в разные стороны от оптического объекта. В случае активного ядра 3С 147, первого картографированного ядра подобного рода, структура оказалась в высшей степени асимметричной: наблюдался единственный выброс с ярким ядром на одном конце.

С 1976 г. посредством гибридного картографирования были получены изображения около 50 квазаров и галактик с высокоактивными ядрами. Оказалось, что асимметричная структура характерна для таких объектов. Кроме того, большинство из них меняет яркость с периодом около года. Было обнаружено, что некоторые квазары и галактики расширяются со скоростями, как будто превышающими скорость света. Возможность наблюдения таких «сверхсветовых» движений была впервые предсказана независимо М. Козном из Калифорнийского технологического института и И. Шапиро из Массачусетского технологического института еще в 1971 г. Это предсказание они сделали на основе теоретической модели для расчета амплитуд интерференционных полос. Однако многие астрономы сомневались в справедливости использования таких моделей.

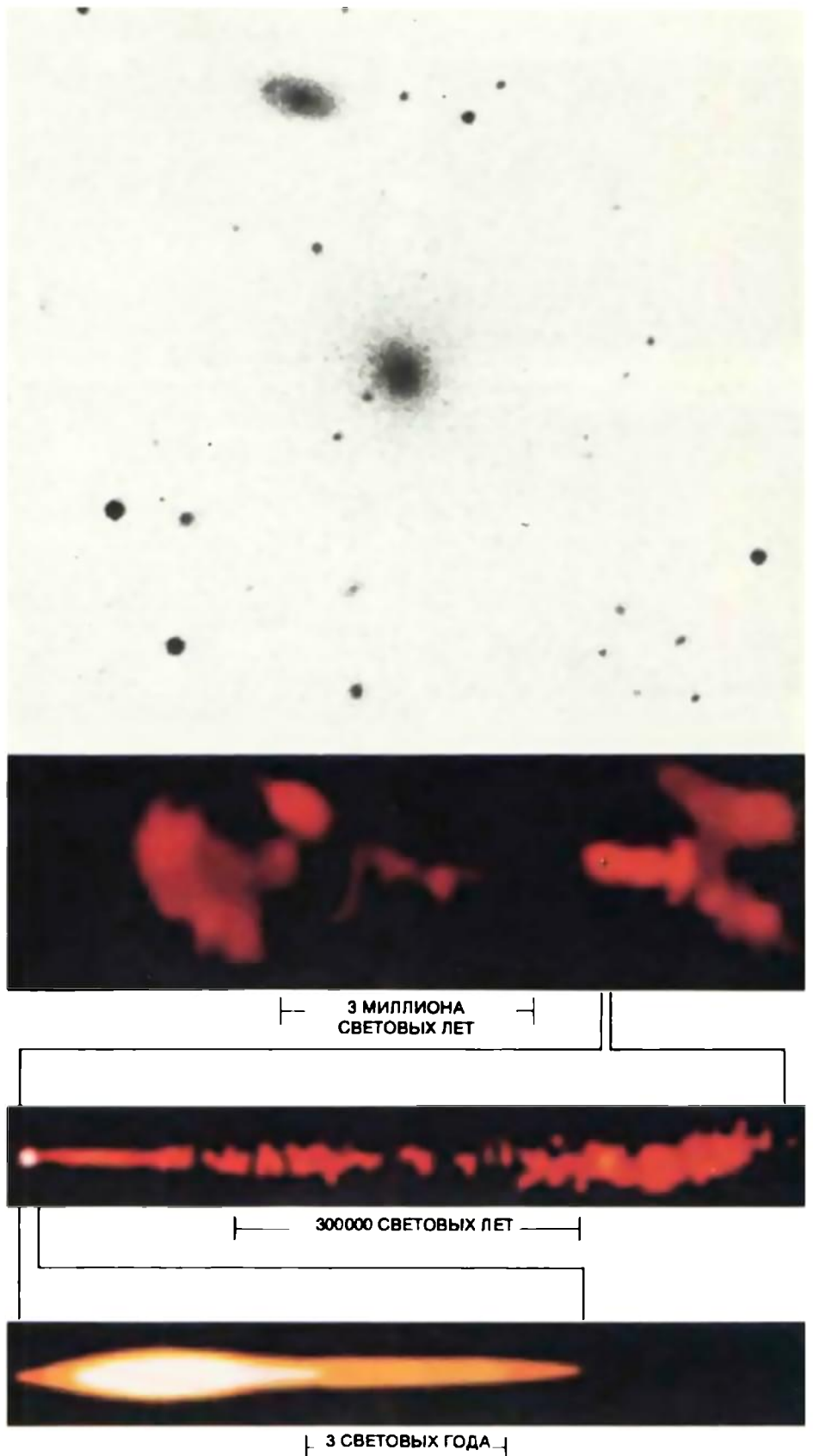
ТЕПЕРЬ уже ясно, что видимые движения квазаров могут соответствовать «сверхсветовым» скоростям без нарушения постулатов теории относительности, хотя детали моделей, объясняющих происхождение таких скоростей, могут в будущем уточняться. Это было убедительно доказано при гибридном картографировании нескольких источников, предположительно имеющих сверхсветовую скорость. Т. Пирсон и его коллеги из Калифорнийского технологического института начиная с 1977 г. периодически наблюдали квазар 3С 273 с помощью сети телескопов, работающих в режиме РСДБ и установленных в Калифорнии, Техасе, Западной Виргинии и Массачусетсе; в некоторых случаях использовался телескоп, расположенный в Эффельсберге (ФРГ). За период с июля 1977 г. по июль 1980 г. маленький сгусток, выброшенный из яркого ядра квазара,

прошел расстояние в 25 световых лет, поэтому казалось, что он движется со скоростью, в 9,6 раза превышающей скорость света (при расчете была сделана небольшая космологическая поправка на величину временного интервала).

Это, конечно, только кажущаяся скорость. Наиболее вероятное объяснение этого эффекта состоит в том, что сгусток движется почти прямо на нас со скоростью, составляющей 99,5% скорости света. Наши приборы регистрируют два импульса излучения от сгустков с интервалом в один год. Импульсы будут восприняты с очень малым промежутком, поскольку за время, прошедшее между испусканием первого и второго импульсов, излучающий объект приблизился к Земле на расстояние, почти равное одному световому году. В случае квазара 3С 273 второй импульс дойдет до нас всего на 3,5 дня позже первого. Если теперь отметить положение радиоизображений сгустка для двух моментов наблюдений, то окажется, что сгусток сдвинулся в поперечном направлении по небесной сфере на расстояние, эквивалентное одной десятой светового года. Именно поэтому создается впечатление, что сгусток перемещался в десять раз быстрее света. Разгадка состоит в том, что поперечное перемещение представляет собой короткую сторону узкого вытянутого треугольника, острый угол которого направлен от нас. Сгусток испускает первый импульс излучения, когда он находится в дальней вершине треугольника, а второй — когда он прошел расстояние 0,995 светового года вдоль гипотенузы треугольника по направлению к нам.

Такое сверхсветовое движение было обнаружено и у двух других квазаров и у галактики, относящейся к типу сейфертовских галактик. Примечательно, что эти активные ядра выбрасывают сгустки материи со скоростями, близкими к скорости света, неизменно в одном направлении. Следует отметить, что М. Рис из Кембриджского университета еще в 1967 г., основываясь на быстрых вариациях яркости таких объектов, высказал предположение, что некоторые из них выбрасывают вещество с околосветовыми скоростями.

Быстрые движения, наблюдаемые в случае сверхсветовых источников, могут дать ключ к объяснению их однобокой структуры. Согласно специальной теории относительности, если излучающее тело движется с околосветовой скоростью, то излучение испускается в узком конусе, ориентированном вдоль направления движения. Весьма вероятно, что активные ядра в этих необычных небесных источниках дают два выброса в противоположных направлениях. Наблюдению поддается только выброс, движущийся к нам; излучение другого выброса, движущегося от нас, невидимо. Эта идея очень привлека-



ВЫБРОСЫ В ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ГАЛАКТИКЕ NGC 6251, удаленной на 400 млн. св. лет от Земли, показаны на серии радиоизображений с различным разрешением. Оптическое изображение (верхний снимок), полученное на 200-дюймовом Палмарском телескопе, дает представление о NGC 6251 как об эллиптической галактике без каких-либо особенностей. В то же время галактика является мощным радиоисточником. Верхнее из трех изображений получено с помощью радиоинтерферометра, имеющего базу 800 м. Положение оптического источника NGC 6251 отмечено крестиком. На среднем изображении, полученном на 8-км радиоинтерферометре, виден выброс протяженностью более чем 500 000 св. лет с галактическим ядром на восточном (левом) конце. На нижнем изображении уже виден выброс всего в 8 св. лет, исходящий из ядра. Угловая ширина выброса всего лишь 0,0001". Изображения получены М. Козном, Р. Блэндфордом и автором статьи.

тельна, поскольку она помогает установить связи между крупномасштабной симметрией, наблюдаемой во многих внегалактических объектах, и мелкомасштабной асимметрией, характерной для многих ядер. Там, где выбросы рассекают межгалактическую среду и замедляются, излучение уже не имеет вида узкого конуса, а распространяется по всем направлениям, и оба больших ступка становятся видимыми.

Какова же природа источников энергии в квазарах и радиогалактиках и как из них выбрасывается вещество? Эти вопросы относятся к числу наиболее фундаментальных проблем современной астрономии. Наблюдения по методу РСДБ — это единственный путь прямого исследования структуры галактических ядер. Комбинация гибридных карт квазаров и радиогалактик с радио- и оптическими наблюдениями худшего разрешения дает возможность выявить природу первичного источника энергии этих динамичных объектов. Ярким примером является галактика NGC 6251.

NGC 6251 — это эллиптическая галактика из небольшого скопления на расстоянии 400 млн. световых лет от нас. На оптических изображениях она ничем не отличается от миллионов сходных объектов. Их необычные свойства были впервые обнаружены при наблюдениях в радиодиапазоне. На рисунке показаны три радиоизображения галактики NGC 6251, полученные на трех телескопах с различными разрешениями. Три изображения, расположенные одно под другим, различаются по масштабу более чем в два миллиона раз. П. Вегджет, П. Уорнер и Дж. Болдуин получили верхнее изображение с помощью Кембриджского интерферометра с длиной базы около 800 м, а среднее — на интерферометре с 5 км базой. Нижнее изображение получено Козном, Р. Блэндфордом и автором статьи при использовании трех телескопов в системе РСДБ: один находился в Калифорнии (Оуэнс Валли), второй — в Западной Виргинии (Грин Бэнк), третий — в Массачусетсе (обсерватория Хайстек).

НА ВЕРХНЕМ рисунке изображена общая радиоструктура галактики NGC 6251, которая протянулась на 60 млн. световых лет, что составляет около 60 диаметров большой галактики. Этот радиообъект — один из крупнейших среди известных. Положение галактики NGC 6251, зафиксированное оптическими средствами, помечено крестом. В масштабе фотографии оптическое изображение в диаметре должно быть не меньше 2 мм. На радиокarte видна перемилька, тянущаяся от оптического изображения вправо, т.е. на северо-восток. Окрестности перемильки показаны на среднем рисунке,

где виден необычный прямой выброс длиной более 500 000 световых лет, что почти в пять раз превышает диаметр нашей Галактики. Яркое ядро на восточном конце выброса совпадает с ядром NGC 6251.

На нижнем рисунке изображено ядро, увеличенное примерно в 100 000 раз. Ядро — это тоже выброс, но длина его всего 8 световых лет и ориентирован он под углом в несколько градусов к направлению большого выброса. Угловая ширина выбросаядра составляет $0,0001''$, что эквивалентно толщине человеческого волоса, видимого с расстояния 80 км. Ориентация двух выбросов, должно быть, сохраняется на протяжении не менее 500 млн. лет — времени, необходимого, чтобы вещество, движущееся с околосветовой скоростью, дошло от ядра до конца большого выброса.

Радиосвойства галактики NGC 6251 налагают жесткие требования на характер первичного источника энергии, вызывающего ее наблюдаемую активность. Во-первых, этот источник должен создавать гигантское количество энергии, эквивалентное полному превращению в энергию массы 10 млн. солнц в области с поперечником, много меньшим одного светового года. Во-вторых, он должен фокусировать выбрасываемое вещество в конус, шириной всего 3° . В-третьих, он должен быть стабильным и поддерживать непрерывный выброс в пределах около 1° при вылете массы, равной массе небольшой галактики. Наконец, этот источник должен допускать выброс вещества с околосветовой скоростью, если он того же типа, что и первичные источники, ответственные за сверхсветовые движения.

Известен только один вид объектов, который теоретически может удовлетворять всем этим требованиям: вращающаяся сверхмассивная черная дыра. Такой объект должен был бы иметь массу около 1 млрд. солнц и вращаться с такой скоростью, чтобы гироскопические силы обеспечивали его устойчивость. Точную и стабильную направленность выбросов можно объяснить, если предположить, что они происходят вдоль оси вращения черной дыры. Дополнительное указание на то, что в ядре NGC 6251 может находиться массивный объект, получено из оптических наблюдений, выполненных недавно В. Сарджентом, П. Янгом и сотрудниками из Калифорнийского технологического института. С помощью метода спекл-интерферометрии они обнаружили интенсивный всплеск излучения, лежащий в пределах одной секунды дуги в центре ядра. Они пришли к выводу, что в этой малой области должен быть сконцентрирован 1 млрд. солнечных масс вещества.

Если первичный источник энергии в ядре NGC 6251 — действительно черная дыра, то его мощность скорее об-

условлена освобождением гравитационной энергии, чем ядерными реакциями, обеспечивающими свечение звезд. При этом предположении требования на величину массы уменьшаются примерно в 50 раз. Выброс вещества под высоким давлением и с околосветовыми скоростями мог бы легче всего происходить в глубокой потенциальной яме, окружающей черную дыру, в которую вещество из соседних областей пространства затягивается с околосветовыми скоростями. Таким образом, существование вращающейся черной дыры, имеющей массу 1 млрд. солнц, могло бы наиболее естественным и экономным образом объяснить наблюдаемые свойства этого примечательного объекта.

Если этот вывод верен и если действительно в ядрах галактик существуют сверхмассивные черные дыры, то можно ли доказать их существование с помощью наблюдений? Переводя наблюдения по методу РСДБ в область более высоких частот, можно улучшить достигнутое сейчас разрешение примерно на порядок. При таком сверхвысоком разрешении, значительно превосходящем $0,0001''$, можно будет картографировать структуру NGC 6251 и других активных галактик в масштабе, не превосходящем размеры самой черной дыры. Тогда мы сможем наконец узнать, действительно ли центральный объект — черная дыра, или это объект совершенно нового типа.

Издательство
МИР
предлагает:

Т. Браун, Г. Лемей
**ХИМИЯ — В ЦЕНТРЕ
НАУК**

В двух частях
Перевод с английского

Продолжение серии учебных пособий, промежуточных между программами для высших и средних учебных заведений и заполняющих некоторый разрыв в химической литературе, образумый школьниками и вузовскими учебниками (См. издания этой серии: Кемпбел Дж. Современная общая химия. 1973. Полинг Л. Химия. 1978. Слейбо У., Персонс Т. Общая химия. 1979 и др.)

1983, 75 л. Цена 6р. 40к. за комплект



Гигантский кальмар

Этот глубоководный моллюск попадался на глаза — как живой, так и мертвый — настолько редко, что может показаться существом мифическим.

Тем не менее уже изучено достаточно экземпляров, чтобы обсуждать его анатомию и экологию

КЛАЙД Ф.Е. РОУПЕР, КЕННЕТ Д. БОСС

В СВОЕЙ книге «Моби Дик» Герман Мелвилл описывает морское животное, которое выглядело как «огромная мясистая масса футов по 700 в ширину и длину, вся какого-то переливчатого желтовато-белого цвета, и от центра ее во все стороны отходило бесчисленное множество длинных рук, крутящихся и извивающихся, как целый клубок анаконд». Несомненно, он имел в виду гигантского кальмара, но по его описанию чувствуется, как мало было известно тогда об этом животном.

Действительно, до 1861 г., когда кальмара увидели с борта французского военного корабля и матросы сумели добыть часть животного, он оставался полумифическим существом. Даже теперь, хотя изучено уже немало экземпляров, гигантский кальмар (его масса достигает 450 кг, а длина с вытянутыми щупальцами — почти 18 м) остается во многом таинственным. До сих пор живого гигантского кальмара ни разу не содержали в научном учреждении или в аквариуме. Большая часть того, что мы знаем, — это сведения о животных, выброшенных на берег (мертвых или умирающих), о животных, пойманных рыбаками (эти экземпляры тоже вскоре погибали), об останках, обнаруженных в желудках зубатых китов (зубатые киты питаются рыбой или кальмарами). Однако даже на основании таких данных вполне можно составить представление о том, как выглядит взрослый гигантский кальмар и каково его внутреннее строение. Что касается мест обитания и способа размножения гигантского кальмара, то об этом можно судить лишь по аналогии с другими океаническими кальмарами.

Тейтологи, т.е. специалисты по головоногим моллюскам (к головоногим моллюскам относят кальмаров, каракатиц и осьминогов), причисляют гигантского кальмара к особому роду *Architeuthis* семейства *Architeuthidae*. Описано 19 номинальных «видов», некоторые из них — только по отдельным частям животных. До последнего времени существовала тенденция чуть ли не каждую находку классифициро-

вать как новый вид. Хотя есть разные мнения похоже, что эти 19 видов в действительности нужно объединить всего в 3 вида: *Architeuthis sanctipauli*, представители которого обитают в южном полушарии, *A. japonica* — в северной части Тихого океана, и *A. dix* — в северной Атлантике. Основываясь на относительной величине головы и очертаниях хвостового плавника, некоторые авторы говорят о пяти видах в Атлантике, двух — в северной части Тихого океана и еще нескольких — в южной.

В 1980 г. на острове Плам (шт. Массачусетс) на берег выбросило гигантского кальмара среднего размера — около 10 м в длину. Этот экземпляр удалось сохранить; в течение нескольких месяцев он был выставлен в Новоанглийском аквариуме в Бостоне. Сейчас он находится в Вашингтоне, в Национальном музее естественной истории Смитсоновского института, где его подробно исследуют. Описание, которое мы приводим, основывается главным об-

разом на данных, полученных при изучении именно этого объекта. Мы старались придерживаться стандартного метода и употреблять термины «дорсальный» для спинной, или верхней, части тела, «вентральный» — для брюшной, или нижней, «каудальный» — для органов, находящихся вблизи хвоста, «передний» — для органов, располагающихся спереди, «задний» — для органов, располагающихся позади, «проксимальный» — для органов, ближних к точке отсчета, «дистальный» — для более удаленных. Обычное положение плывущего гигантского кальмара — горизонтальное, при этом дорсальная часть животного обращена кверху, а вентральная книзу.

Голова гигантского кальмара имеет форму цилиндра и может достигать в длину 1 м, она соединяется с собственно телом «шеей», вокруг которой имеется воротник с дорсальным замыкательным хрящом. Буккальный (ротовой) аппарат окружен венцом из восьми толстых мускулистых рук и двух очень длинных и тонких, но тоже мускулистых щупалец.



ВЗРОСЛЫЙ ГИГАНТСКИЙ КАЛЬМАР может достигать 18 м в длину и весить до 450 кг. Этот рисунок сделан по тем изображениям, фотографиям и препаратам, которые накопились за 100 лет. Кальмар изображен ловящим рыбу; нападая, он выбра-

Руки у молодых кальмаров относительно длинные; у взрослых животных они значительно короче, чем щупальца. Руки могут достигать 50 см в окружности (у основания) и 3 м в длину. На внутренней поверхности рук имеются невысокие слабозвитые, иногда зазубренные защитные мембраны, которые обрамляют два ряда присосок. По направлению от основания руки к ее концу присоски постепенно уменьшаются в размерах, а на самом конце они выглядят просто как небольшие бугорки.

У самцов две вентральные руки гектокотилизированы, т.е. специализированы таким образом, что облегчают оплодотворение яиц самки. При спаривании самец с их помощью передает самке сперматофоры. У разных видов длина, диаметр этих рук, а также степень их модификации для спаривания несколько различаются. На дистальном конце гектокотилизированных рук как продолжение двух рядов присосок располагаются два ряда прямоугольных подушечек, разделенных глубокой бороздой.

Два щупальца, которыми кальмар, точно щипцами, хватает свою добычу, имеют в окружности около 25 см (у основания), а в длину могут достигать более 10 м. Стебель щупальца вблизи основания не покрыт присосками; перемежающиеся мелкие присоски и входящие в их просвет бугорки располагаются несколько дальше вдоль щупальца. Количество присосок и бугорков и их размеры увеличиваются по направлению к булаве — слегка расширенному дистальному концу щупальца. Манус, или ладонь, булавы несет четыре ряда присосок с мелкими зубчиками. В двух средних рядах присоски более крупные; их диаметр приблизительно в

2,5 раза больше, чем у мелких краевых присосок. Диаметр присоски на щупальце может достигать 5,2 см. Дистальный конец булавы, или палец, тонкий и оттянутый, покрыт сотнями мелких присосок.

Все присоски у гигантского кальмара имеют форму медицинской банки. Каждая присоска сидит на коротком мускулистом стебельке, которым животное может двигать. По периметру присоски обрамлены остро зазубренными хитиновыми колечками (хитин — это твердое вещество, из которого состоят внешние покровы многих ракообразных и насекомых); они цепляются за поверхность тела жертвы, когда к ней прикасается щупальце. Щупальца гигантского кальмара лишены специализированных крючьев, которые имеются у других океанических кальмаров.

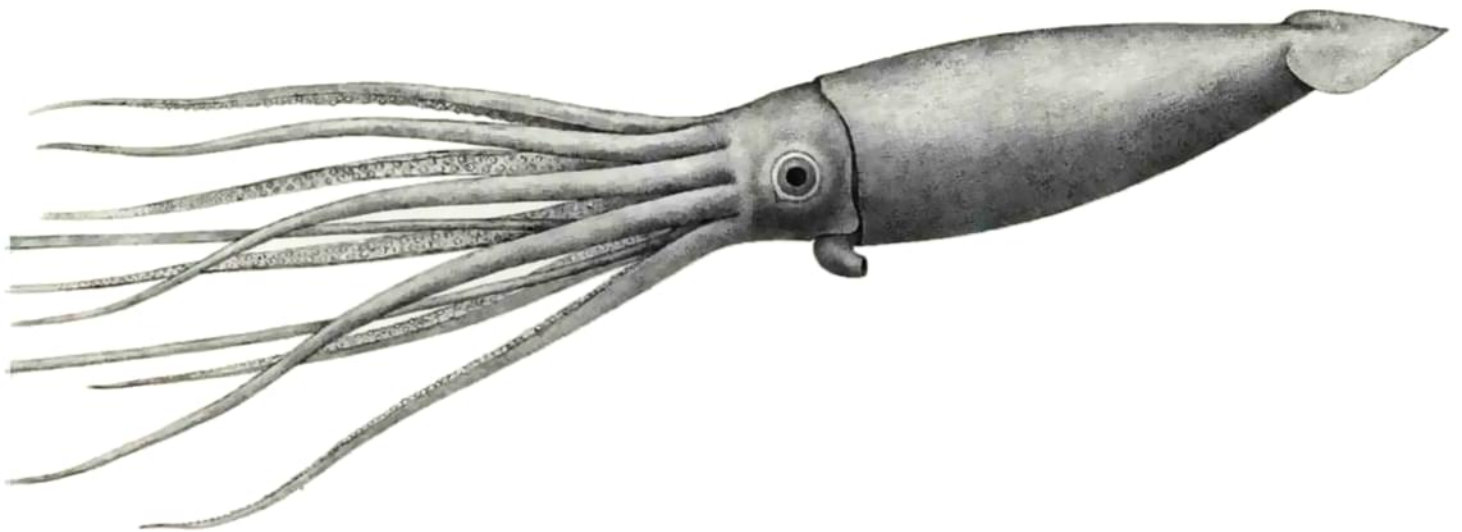
Вмятины или шрамы от присосок кальмара находили на коже кашалотов и даже на стенках их желудков. Сообщая о таких шрамах, их размер часто преувеличивали, порой говорили о шрамах диаметром в 20 см! Естественно, создавалось ложное представление о размерах гигантских кальмаров. По наиболее надежным данным, средний диаметр присосок на руках приблизительно 2,5 см, а максимальный — 5,2 см (такие большие присоски иногда бывают на булаве щупалец).

МАНТИЯ, или туловище, гигантского кальмара имеет более или менее коническую форму, суживаясь к тупоконечному «хвосту». У взрослых животных за плавники выступает короткий, крепкий вырост наподобие хвоста; у молодых особей его нет. Плавники гибкие, не очень мускулистые; они, вероятно, служат стабилизаторами.

На переднем конце мантии позади головы с вентральной стороны выдается мускулистая воронка — видоизмененная нога (нога — характерная для моллюсков часть тела). С ее помощью кальмар передвигается, сильной струей выбрасывая воду из мантийной полости. Воронка очень подвижна, так что кальмар может быстро перемещаться в любом направлении — вперед, назад, вверх, вниз, в сторону. Внутри воронки имеется лепестковидный клапан, который предотвращает обратный ток воды между отдельными выбросами ее из воронки. Вентрально по обеим сторонам от основания воронки расположены хрящевые бороздки; когда кальмар выбрасывает воду из мантийной полости, в эти бороздки входят хрящевые гребни, которые есть на внутренней поверхности мантии, в результате воронка запирается. Это приспособление (его называют мантийно-вороночный замыкательный аппарат) не дает воде выходить вокруг шеи, заставляя течь через воронку.

Внутри тела гигантского кальмара имеется полупрозрачная опорная структура, которую называют гладиусом или пером. Гладиус — это рудимент арханческой внутренней известковой раковины, которая еще сохраняется у более примитивных головоногих, например, у каракатиц. Гладиус располагается в мешке в мускулатуре мантии, простираясь от переднего конца мантии до заднего, подобного хвосту конца. Он служит для опоры мускулов и играет роль каркаса, поддерживая удлиненное тело.

Тело, голова и руки одевает многослойный наружный покров красного цвета — от темно-пурпурного до каштанового на дорсальной и несколько светлее на вентральной поверхности



сбивает вперед свои длинные щупальца и продвигается, выталкивая струю воды через обращенную назад воронку (она нарисована под глазом). Поворачивая воронку, кальмар

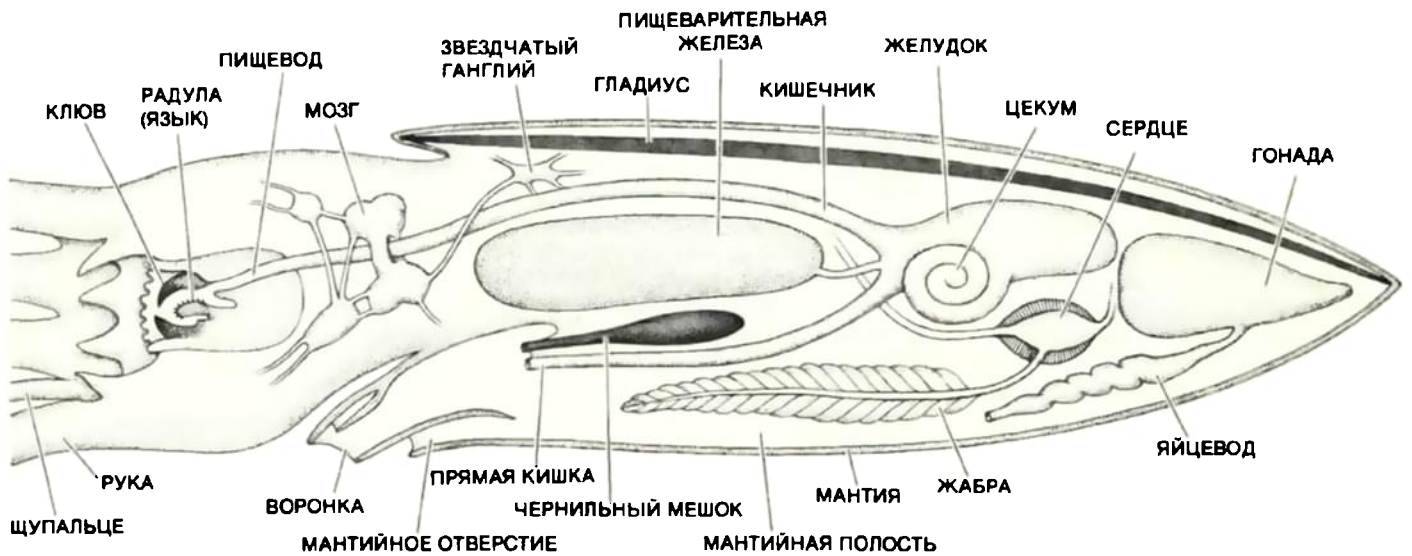
может двигаться в любом направлении. В классе головоногих гигантского кальмара относят к роду *Architeuthis*; число видов этого рода пока что точно не установлено.

тела. Дорсальные и вентральные поверхности более бледные, чем боковые. Цвет внешних покровов определяется не только общей фоновой пигментацией, но также и цветом слоя хроматофоров. Клетки-хроматофоры содержат пигмент и могут увеличи-

ваться в размерах и сокращаться, в результате изменяется окраска внешних покровов. Вероятно, состояние хроматофоров отвечает поведению животного или же изменениям освещенности. Внутренняя поверхность мантии и некоторые внутренние органы также

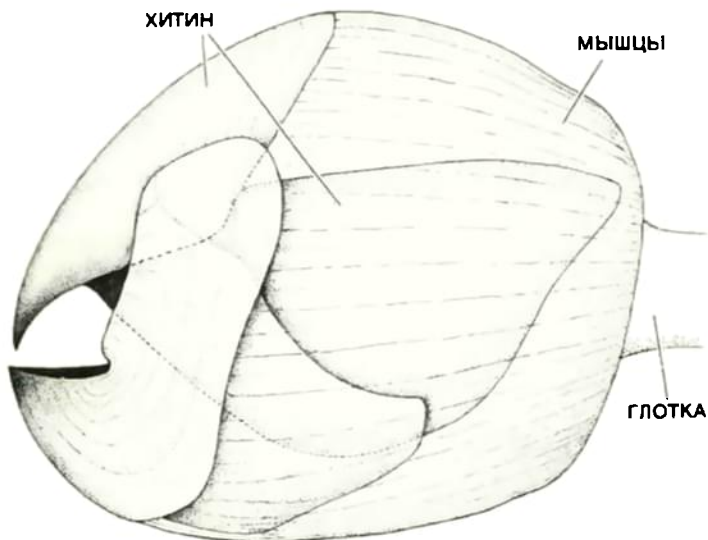
темно-красного цвета, что у океанических кальмаров встречается довольно редко. Фотофоры, или органы биолюминесценции, у *Architeuthis* не обнаружены.

Глаза у гигантского кальмара огромные, больше, чем автомобильные фа-

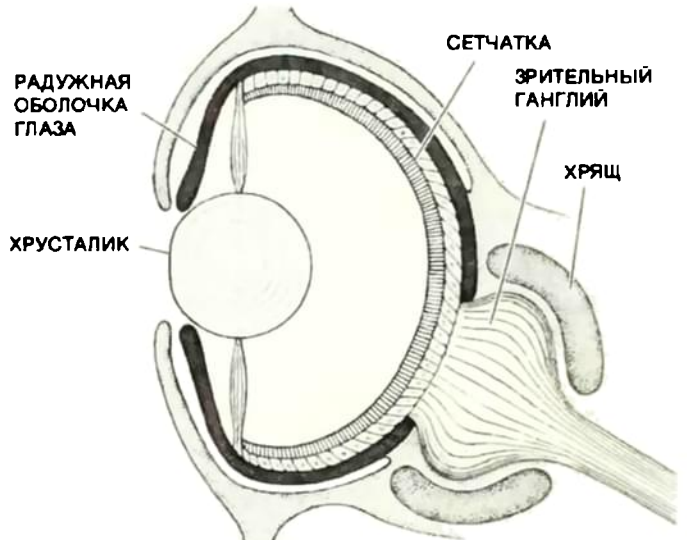


ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ самки гигантского кальмара. Гладус, или перо, — это довольно жесткая структура, которая

служит каркасом для длинного тела животного; к ней прикрепляются мускулы



РОТ И ГЛАЗ у гигантского кальмара устроены особенно замечательно. Мощный клюв состоит из хитина — того самого твердого вещества, из которого состоят внешние покровы ракообразных и насекомых. Своим клювом кальмар из-



мельчает добычу на куски такого размера, что может их проглотить. Глаза гигантского кальмара самые крупные в царстве животных; диаметр глаза приблизительно 25 см.



КОНЕЦ ЩУПАЛЬЦА гигантского кальмара имеет манус, или ладонь, где щупальце слегка расширяется. На манусе расположены четыре ряда присосок с мелкими зубцами; диаметр

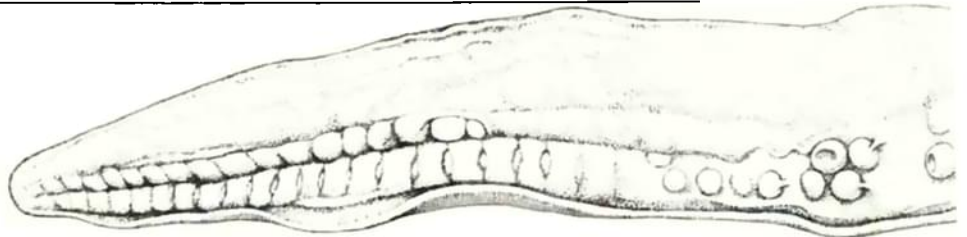
самых крупных присосок около 5 см, более мелких — примерно 2 см. Присоски подвижны. Отдельная присоска и ее хитиновое кольцо с зубчиками изображены слева вверху.

ры: их диаметр достигает 25 см. Это самые большие глаза в царстве животных. Глаза круглые, расположены по бокам головы. В глазу имеются перемишаемый хрусталик и темная радужная оболочка, но роговицы нет.

Рот находится в центре венца рук. Мощные хитиновые челюсти заключены в массу сильных мускулов и способны к вращательным и поступательным движениям; кальмар раскусывает ими добычу на куски, достаточно мелкие, чтобы их можно было проглотить. Ротовой аппарат кальмара напоминает клюв попугая; он состоит из верхней и нижней челюстей и может быть в длину более 15 см. Крепкая верхняя челюсть имеет удлиненный острый выступ (рострум), который образует что-то вроде ножниц с нижней челюстью, у которой более ровный край и закругленные крыловидные расширения. При внимательном осмотре очищенных от тканей клювов можно обнаружить видовые различия. Это дает возможность идентифицировать никак иначе не различимые компоненты содержимого желудков кашалотов и включения в амбре (амбра — это воскоподобное вещество, которое образуется в желудке кашалота вокруг неперевариваемых клювов кальмаров.)

Радула, или язык-терка, характерна для моллюсков; она представляет собой кутикулярную ленту с поперечными рядами хитинизированных зубов с зубчиками разнообразной формы. Радула у *Architeuthis* довольно небольшая для такого крупного животного — 10 см в длину и около 1 см в ширину. Тем не менее она производит впечатление при сравнении с радулами других моллюсков. Каждый ряд радулы состоит из большого центрального зуба с тремя зубчиками и шести маленьких зубов, по три с каждой стороны от большого. Размельченная челюстями пища глотательными движениями радулы проталкивается в буккальную полость. Глотанию и продвижению пищи внутрь пищеварительного канала способствуют также глоточные зубы — маленькие, наклоненные назад зубчики на кутикуле, выстилающей глотку.

Пищеварительный канал переходит в мускулистый пищевод, перистальтические сокращения которого заставляют пищу перемещаться в толстостенный желудок, сообщающийся с цекумом. Массивные слюнные железы, а также расположенная в средней части тела непарная «печень», или пищеварительная железа, и лежащая перед ней поджелудочная железа секретируют пищеварительные ферменты. Всасывание продолжается в цекуме. Непереваренные остатки проходят через короткий кишечник и выбрасываются через снабженную клапаном прямую кишку, которая открывается вблизи внутреннего отверстия воронки. Отбросы вымываются наружу через воронку струей воды при движении кальмара.



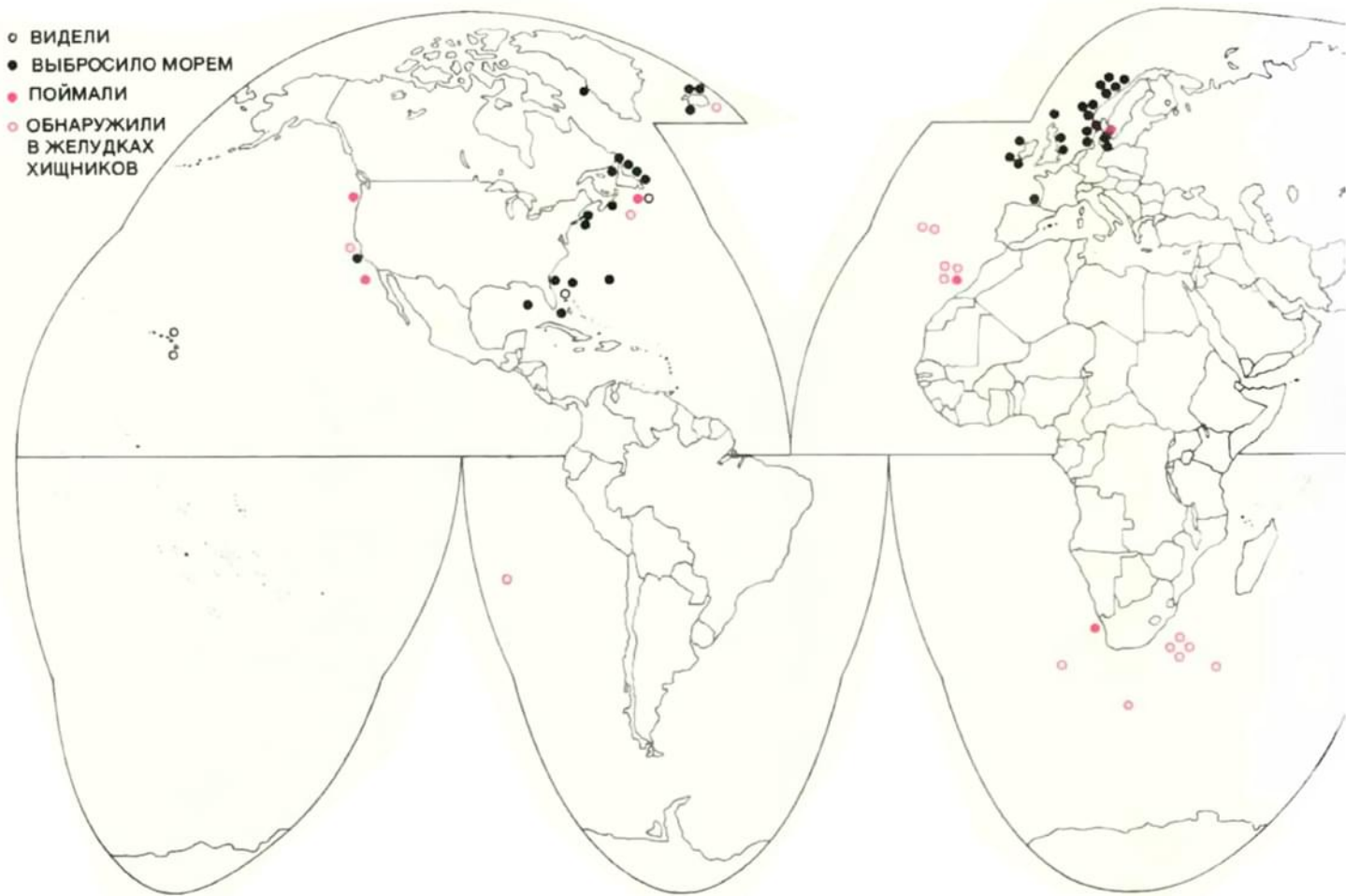
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ РУКА самца кальмара. Две из восьми рук у самца гигантского кальмара изменены таким образом, что служат для передачи сперматофоров самке; они называются гектокотилизированными руками. Их можно отличить по двойному ряду прямоугольных подушечек вместо присосок.



РАДУЛА, или язык, гигантского кальмара. Микрофотография получена с помощью сканирующего электронного микроскопа (увеличение $\times 22$). Наклоненные назад зубы способствуют продвижению пищи в пищевод. Длина всей радулы приблизительно 10 см.



ШРАМЫ ОТ ПРИСОСОК гигантский кальмар оставляет на коже кашалота, своего главного врага, пытаясь уйти от напавшего хищника. Такие шрамы часто считали доказательством того, что существуют кальмары огромного размера. Но поскольку шрамы увеличиваются по мере роста самого кашалота, судить по ним о размере кальмара нельзя, если только не доказано, что они появились недавно.



ДАННЫЕ О ГИГАНТСКИХ КАЛЬМАРАХ обычно получают, когда животных выбрасывает на берег или их находят в желудках кашалотов. Визуальные наблюдения менее надеж-

ны, поскольку на большом расстоянии гигантского кальмара можно спутать с крупными кальмарами других видов. Помимо указанных на рисунке имеется еще 148 сообщений—

Кальмар дышит жабрами; у него имеются две длинные жабры, каждая состоит из множества (иногда более 100) ламелл, или листочков — именно в них происходит газообмен. Другая характерная структура — чернильный мешок. У гигантского кальмара мешок очень большой, вытянутый. Длинный проток мешка открывается в прямую кишку. Черные слизистые чернила гигантский кальмар использует, вероятно, как и другие виды кальмаров, при бегстве от опасности. Кальмар выбрасывает облако чернил, напоминающее по форме само животное, это отвлекает нападающего хищника, и кальмар успевает ускользнуть.

САМКА КАЛЬМАРА производит колоссальное количество яиц. Яйца кальмара беловатого цвета, довольно мелкие (0,5—1,4 мм в длину и 0,3—0,7 мм в поперечнике). У одной самки их оказалось более 5 кг, что составляет около миллиона штук.

Репродуктивный аппарат самки состоит из 1) непарного личника, распо-

ложенного медиально в задней части внутренностной массы; 2) парных извитых яйцеводов, через которые зрелые яйца выпадают в мантийную полость, и 3) крупных нидаментальных желез, которые продуцируют студенистое вещество, обволакивающее яйца в мантийной полости. Где именно и как происходит оплодотворение, неизвестно, скорее всего когда зрелые яйца покидают яйцеводы. Неизвестно также, плавают яйца в толще воды или прикрепляются ко дну; по-видимому, они плавают в виде огромных студенистых масс, как у всех других видов океанических кальмаров. Самки многих видов мелководных кальмаров под ротовым отверстием имеют специальный семяприемник для сперматозоидов; у самок *Architeuthis* такие образования отсутствуют. Более того, у самок гигантского кальмара ни разу не находили сперматозоиды внутри тела, хотя у других видов океанических кальмаров они помещаются в мантийной полости или под мантией вблизи шеи.

Внешне самцы отличаются от самок тем, что у них есть пара гектокотили-

зированных рук. Семенник, белое волокнистое образование, располагается в задней части внутренностной массы. Сперматозоиды имеют вид длинных трубочек, наполненных спермой; они образуются в сложно устроенном сперматозоидном аппарате, который помещается слева, спереди от семенника.

Длинный тонкостенный сперматозоидный мешок (который часто называют нидхемовым мешком, поскольку он был впервые обнаружен и описан Дж. Нидхемом) и его базальный семенной пузырек прикреплены к внутренностной массе в мантийной полости, слева от кишечника. По сравнению с подобными структурами у других кальмаров сперматозоидный мешок *Architeuthis* можно назвать гигантским — он достигает метра в длину; в мешке хранятся сотни (а может быть, и тысячи) сперматозоидов, уложенных параллельно друг другу.

Дистальный конец нидхемова мешка часто называют пенисом, что неправильно, поскольку эта структура, по-видимому, не является органом переноса спермы. Даже у мелких зрелых

самцов она может достигать 80 см в длину и выдаваться на 5,5 см за свободный край мантии. Конец нидхемова мешка имеет грибовидную форму, с вентральной стороны расположена щель длиной около 15 мм.

Сперматофоры имеют в длину 10 — 20 см; у разных видов и на разных стадиях развития их размер и пропорции различны. Как и у других кальмаров, сперматофор *Architeuthis* снабжен проксимальной нитью и шапочкой, пружиноподобным семязвергающим аппаратом, цементным тельцем и дистальной семенной массой, защищенной оболочкой. Наружный желеобразный покров, окружающий сперматофор, — отличительная особенность *Architeuthis*.

По-видимому, у гигантского кальмара, как и у других кальмаров, имеется особый механизм, который вытягивает шапочку и нить, подобно чеке ручной гранаты, в результате чего плотно свернутый семязвергающий аппарат расправляется и выбрасывает капсулу со спермой и цементное тельце. С помощью цементного тельца масса спермы прикрепляется вблизи мантийной полости самки или внутри нее. Самцы, по-видимому, созревают очень рано: у экземпляров с мантией длиной менее метра сперматофоры уже полностью сформированы.

НЕСМОТЯ на большие размеры и массу, гигантский кальмар обладает практически нейтральной плавучестью, что объясняется высоким содер-

жанием ионов аммония (NH_4^+) в мышцах мантии, головы и рук. Вероятно, именно поэтому мертвые или погибающие кальмары всплывают на поверхность и их часто выбрасывает на берег. Удельный вес ионов аммония 1,01, т. е. меньше удельного веса морской воды (1,022 на глубине 50 м при 28°C). Без ионов аммония ткани кальмара были бы тяжелее морской воды, их средний удельный вес 1,046; благодаря присутствию этих ионов животные могут удерживаться в определенном слое воды, не тратя энергию на постоянные плавательные движения.

Из-за высокого содержания аммония мясо только что выброшенного из моря гигантского кальмара имеет отвратительный горький вкус и сильно пахнет аммиаком. (Накопление ионов аммония в некоторых мышцах у *Architeuthis* открыли три тейтолога — среди них был и один из авторов этой статьи Роупер — , когда, решив отпраздновать успешное окончание экзаменов на звание доктора, они в качестве угощения приготовили мясо гигантского кальмара. Химический анализ ткани подтвердил их наблюдение.)

По описаниям некоторых исследователей, *Architeuthis* очень хорошо плавает, однако это не так. Действительно, некоторые океанические кальмары — замечательные пловцы, но по сравнению с ними у *Architeuthis* мускулатура развита довольно слабо. Кроме того, плавники у него небольшие и слабые, а замыкательный аппарат воронки гораздо проще и слабее, чем у хорошо плавающих кальмаров.



большей частью из района Японии и южной оконечности Африки.



ГИГАНТСКИЙ КАЛЬМАР, ВЫБРОШЕННЫЙ НА БЕРЕГ острова Плам (штат Массачусетс) в 1980 г. Это было взрослое животное средних размеров — около 10 м в длину. Большую часть кожи содрало песком, щупальца (а также концы неко-

торых рук) отсутствовали. Представление о размерах животного дают человеческие следы на переднем плане и раковины на ровной части пляжа.

О том, чем питается гигантский кальмар, известно мало. У большинства добытых экземпляров желудки были пусты; в самом деле, если кальмар не болен и не истощен, мало вероятно, что он всплывет на поверхность или его выбросит на берег. Даже если в желудке кальмара что-то и находят, разобраться в содержимом очень трудно, потому что клюв и радула измельчают добычу на совсем мелкие кусочки, которые к тому же быстро перевариваются пищеварительными ферментами.

Тем не менее многие исследователи думают или располагают наблюдениями, что *Architeuthis* питается мелкой рыбой и крупными беспозвоночными, например другими головоногими. Описания останков животных в желудке гигантского кальмара публиковались неоднократно; судя по ним, он действительно питается рыбой и другими кальмарами. Поскольку *Architeuthis* довольно плохо плавает, он, вероятно, хищник медлительный, пассивный, не способный активно охотиться и ловить крупную подвижную добычу.

Что касается естественных врагов гигантского кальмара, то прежде всего следует назвать кашалота (*Physeter catodon*). Особей, не достигших зрелости, поедают некоторые рыбы, обитающие в толще воды. Хотя *Architeuthis* плохо плавает, он очень проворен; притом он имеет огромные размеры, у него мощные, покрытые присосками и в высшей степени подвижные руки. К защитным приспособлениям можно отнести и глаза, которые замечательно служат для обнаружения опасности, и чернильный мешок.

Порой в литературе можно встретить описания поединков гигантского кальмара с кашалотом на поверхности моря. Пожалуй, в такой схватке *Architeuthis* скорее попытается ускользнуть от кашалота, чем напасть на него. Шрамы от присосок гигантского кальмара, которые находили на коже вокруг рта и на голове кашалотов, свидетельствуют о том, что такие поединки действительно случаются.

Кашалоты охотятся на самых разных рыб, на ракообразных, осьминогов и кальмаров, но большую часть их рациона составляют *Architeuthis*. В желудке кашалота можно найти обычно лишь несколько клювов гигантского кальмара, а клювов других кальмаров — сотни, однако следует учесть размеры гигантского кальмара — один экземпляр занимает третью часть желудка кашалота. Судя по тому, что в кишках кашалота остатки других животных обнаруживаются одновременно во множестве, а *Architeuthis* не более одного, гигантские кальмары — одиночные животные, за исключением, вероятно, периода спаривания.

МНОГО написано о максимальных размерах *Architeuthis*; общая длина оценивается в 75 м и более. Обычно о такой величине говорят, основываясь на размерах шрамов от присосок на коже кашалотов. Однако шрамы увеличиваются по мере роста самого кашалота, так что из этого исходить нельзя, если, конечно, не доказано, что шрам возник недавно.

Самый крупный экземпляр из тех, о которых сообщалось в научной литературе, имел общую длину около 20 м. (Это животное было выброшено на пляж в Новой Зеландии в 1880 г.) Значительная часть общей длины (метров 10—12) приходилась на щупальца; у мертвых животных они очень эластичны, и их легко растянуть (для всех других видов кальмаров длина щупалец всегда считается неточной величиной в измерениях). Длина мантии самых крупных известных нам гигантских кальмаров составляет 5—6 м, длина головы — около 1 м.

Хотя сообщений об *Architeuthis* в настоящее время довольно много, по-прежнему неизвестно, где же именно обитает это неуловимое животное. Чаще всего в описаниях речь идет о выброшенных на берег или обнаруженных в желудках кашалотов кальмарах; по этим данным нельзя прямо судить о месте обитания. Кашалоты, как известно, кормятся на глубине от 10 до 1000 м; есть также веские доказательства, что они опускаются и до 2000 м. Если судить по содержимому желудков, кашалоты порой кормятся, передвигаясь вдоль дна. Следовательно, те *Architeuthis*, которых находили в желудках кашалотов, могли находиться как в толще воды, так и вблизи дна. Предполагают, что взрослые особи гигантского кальмара обитают вблизи дна или на дне на глубине около 1000 м. Эта точка зрения подтверждается, например, тем, что вблизи Азорских островов на глубине 1246 м поймали глубоководную акулу и в ее желудке обнаружили останки *Architeuthis*. Однако и этот факт не прямое указание, поскольку некоторые придонные рыбы и акулы часто поднимаются для охоты в толщу воды.

Удивительно, что лишь очень редко гигантские кальмары попадались в рыболовные сети. Известно несколько случаев, когда животные попадали в донные тралы на глубине 200 — 375 м. Поскольку в момент поимки они были живыми, мы должны допустить, что их поймали в естественном для них месте обитания или поблизости от него — на дне либо в толще воды, когда поднимали сеть.

Был, правда, случай, когда свежий кусок щупальца гигантского кальмара выловил разноглубинным тралом на горизонте 600 м. Это произошло в 150

милях от берегов Калифорнии над глубиной около 4000 м. Гигантских кальмаров, плывущих по поверхности воды, видели, с одной стороны, близ Большой Ньюфаундлендской банки, где глубина менее 100 м, а с другой — в центральной части Тихого океана, где глубина превышает 4000 м. В последние годы *Architeuthis* обнаруживали вблизи Гавайских островов, где, по существу, отсутствует континентальный шельф и дно резко падает до нескольких тысяч метров.

Кроме того, в тех случаях, когда животных выбрасывает на берег, они либо еще живые, либо умерли, как можно заключить, совсем недавно и, следовательно, недалеко от того места, где их нашли. Правда, следует сделать оговорку: крупных кальмаров, как и китов, может выбросить далеко от их местообитания, если они были больны и их долго носило по морю.

Тот факт, что гигантские кальмары очень редко попадают в сети, весьма примечателен, особенно если учесть, что в последнее время и рыболовецкие, и научно-исследовательские суда широко используют огромные донные и разноглубинные тралы. Быть может, гигантские кальмары, подобно другим океаническим головоногим, умеют обнаруживать приближающуюся сеть и избегать поимки? А может быть, они обитают там, где редко бывают рыбаки и исследовательские экспедиции, например на средних глубинах в открытом океане, которые малопродуктивны в смысле улова, или в районах глубоких каньонов и краев континентальных склонов, которые слишком скалисты и опасны для судов? Даже на такие вопросы мы пока что не можем ответить — как много нам еще предстоит узнать об этом удивительном животном.

Питательные вещества, влияющие на функции мозга

Речь пойдет о предшественниках нейромедиаторов. Повышение концентрации этих веществ в тканях мозга усиливает сигналы от нервных клеток. В результате они действуют как лекарства и, возможно, найдут применение в медицине

РИЧАРД ДЖ. ВУРТМАН

ПОЖАЛУЙ, все понимают, что питательное вещество и лекарственный препарат не одно и то же. Питательные вещества — это компоненты пищи, они дают организму энергию или необходимые ему строительные материалы. Лекарства — это вещества, которые принимают, чтобы определенным образом подействовать на тот или иной орган либо на клетки того или иного типа. В то время как всем здоровым людям нужны, в сущности, одни и те же питательные вещества, лекарства назначаются только тем, кто страдает каким-то заболеванием. Я расскажу о трех питательных веществах, которые в чистом виде или в составе пищи могут действовать подобно лекарственным препаратам. Они вызывают существенные изменения в химическом составе некоторых структур мозга, что влияет на функции мозга, особенно у людей, страдающих определенными нервными заболеваниями или нарушениями обмена веществ.

Два из тех трех соединений, о которых идет речь, — аминокислоты триптофан и тирозин. Из аминокислот состоят белки, так что триптофан и тирозин входят в состав большинства пищевых продуктов. Третье вещество — холин, он входит в состав лецитина; особенно богаты холином яичный желток, печень и соевые бобы. Триптофан, тирозин и холин могут влиять на химический состав и функции мозга, потому что они являются предшественниками нейромедиаторов — веществ, которые выделяются при возбуждении нейронов. Медиатор передает нервный импульс через синапс другой клетке — нервной, мышечной или секреторной. В окончаниях определенных нейронов триптофан превращается в медиатор серотонин. В других нервных клетках холин превращается в медиатор ацетилхолин. В клетках третьего типа тирозин служит предшественником дофамина, норадреналина и адреналина (эти три медиатора относятся к группе катехо-

ламинов). Когда уровень предшественника в мозговой ткани возрастает, усиливается синтез соответствующего медиатора. В результате нейрон, срабатывая, выделяет больше молекул медиатора, и к тем клеткам, которые он иннервирует, поступит более сильный сигнал.

Мои сотрудники и я в Массачусетском технологическом институте, а также другие исследователи изучали, как количество введенного или поступившего с пищей питательного вещества влияет на его концентрацию в плазме крови и на передачу нервных импульсов в нервной ткани. Зависимость здесь далеко не проста. На превращение триптофана в серотонин влияет содержание углеводов в пище, но синтез медиатора серотонина в свою очередь сказывается на количестве углеводов, которое человек потребляет с пищей, поскольку состав рациона человек определяет себе сам по каким-то внутренним причинам и побуждениям. Что касается холина и тирозина, эффект повышения их концентрации зависит от частоты срабатывания нейрона, но они же и влияют на эту частоту. Поэтому холин и тирозин усиливают выделение медиатора избирательно, повышая его в одних синапсах и не изменяя в других. Может быть, эту избирательность удастся использовать для лечения, например, гипертонии, некоторых депрессивных состояний, болезни Паркинсона, некоторых расстройств памяти у пожилых людей.

ДАННЫЕ, указывающие на связь между поступлением питательных веществ и передачей нервных импульсов, были получены при исследовании явлений, казалось бы не имеющих отношения к деятельности мозга, а именно при изучении суточных ритмов обмена аминокислот. Когда человек ест, концентрация большинства аминокислот (и других компонентов пищи) в плазме крови изменяется в зависимости от ви-

да пищи. У тех, кто принимает пищу в одно и то же время, обычно наблюдаются четкие суточные колебания концентраций аминокислот в плазме. Так, например, у людей, потребляющих много белка (в США это типично), концентрация аминокислоты лейцина в плазме крови в период между 3 часами дня и 3 часами ночи вдвое выше, чем в остальное время суток. Если те же лица перейдут на безбелковое питание, концентрация лейцина в часы активного пищеварения и усвоения уменьшится в два раза. В первом случае повышение концентрации лейцина отражает поступление в кровь лейцина белков пищи. Во втором случае снижение уровня лейцина обусловлено секрецией инсулина (ее вызывают поступившие в организм углеводы), который ускоряет переход лейцина и других аминокислот из крови в скелетные мышцы.

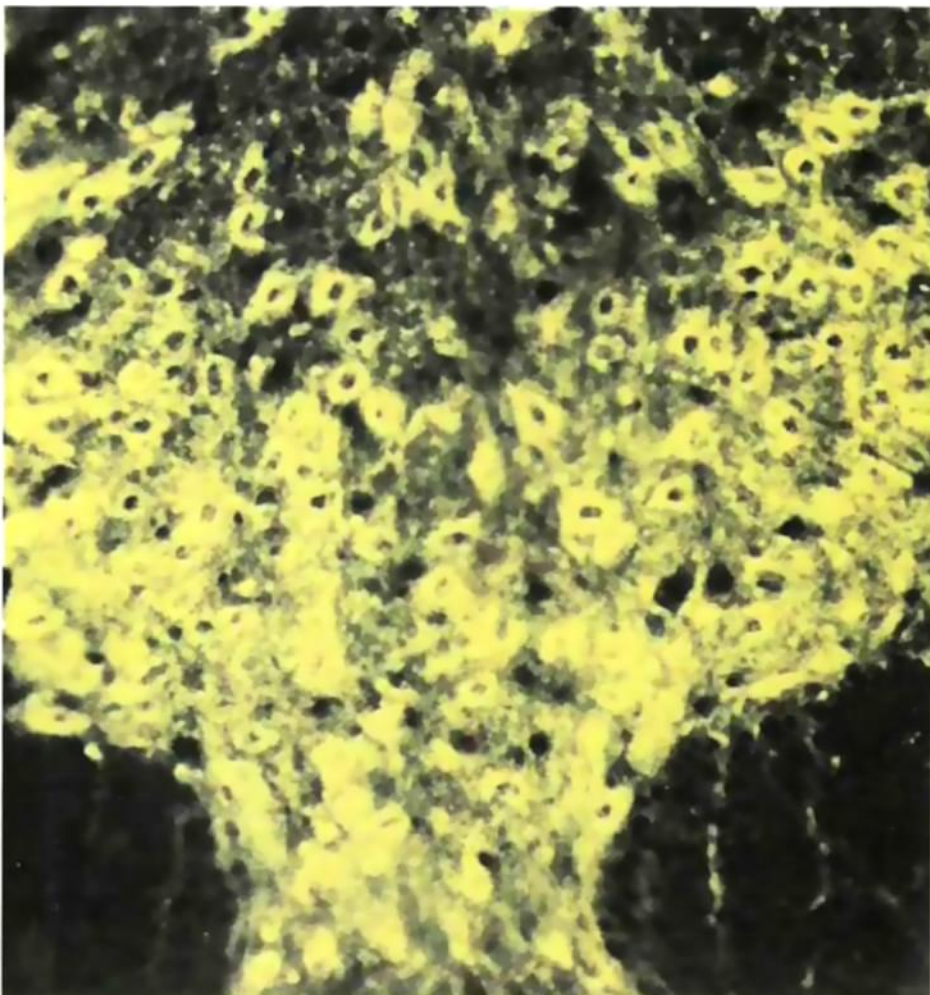
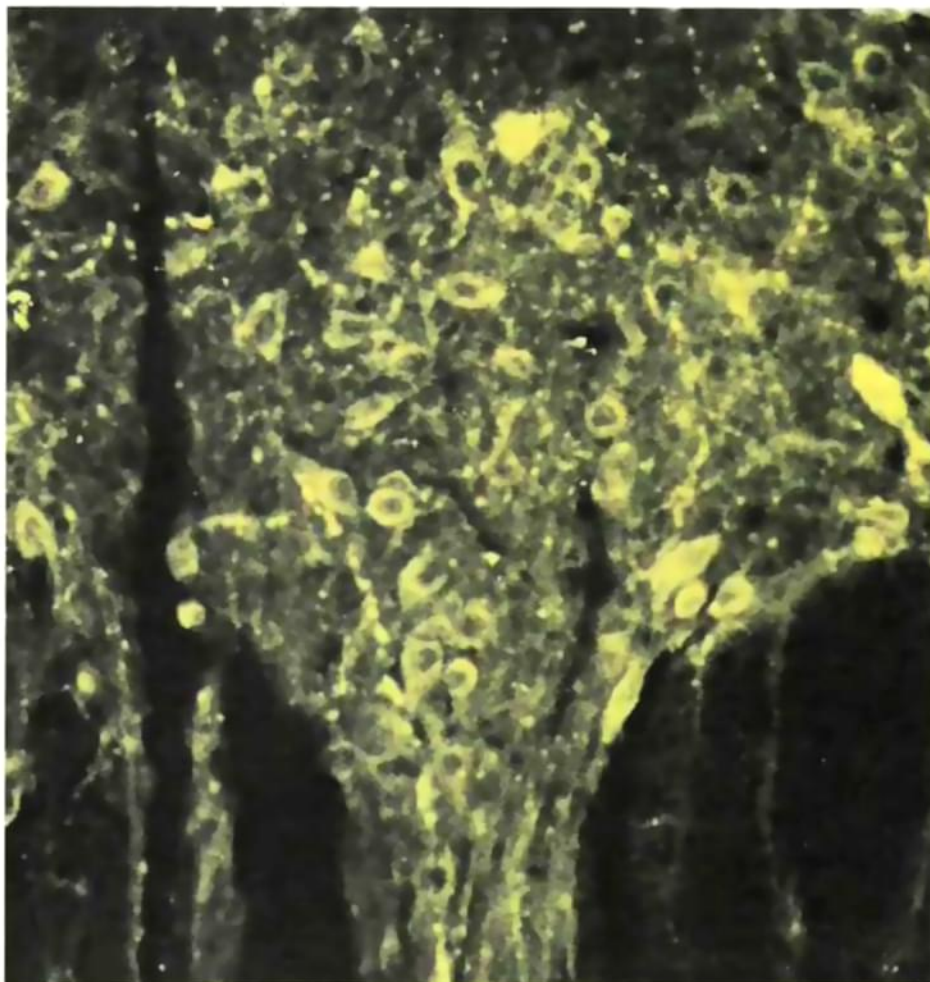
Мы обнаружили ритмические изменения концентрации различных питательных веществ в плазме крови примерно 10 лет назад. Нас заинтересовало, имеют ли эти изменения функциональное значение. В частности, влияют ли флуктуации концентрации циркулирующих в крови питательных веществ на скорость, с которой они превращаются в компоненты клеток. Чтобы изменение концентрации вещества влияло на скорость его превращения, фермент, катализирующий это превращение, должен обладать определенными свойствами: сродство фермента к субстрату должно быть относительно невелико, так чтобы при обычной концентрации питательного вещества не все молекулы фермента были насыщены субстратом и максимальная скорость реакции не достигалась. В этом случае скорость реакции лимитируется количеством субстрата и повышение его концентрации увеличивает ферментативную активность: превращается больше вещества и образуется больше продукта.

Мы знали, что триптофан превращается в серотонин именно таким

ферментом — с низким сродством к субстрату. Серотонин, выделяемый нейронами ствола мозга, передает сигнал далеко отстоящим друг от друга группам нейронов, контролирующим такие функции, как сон, настроение, аппетит. Другие исследователи показали, что повысить концентрацию серотонина в мозгу можно, вводя экспериментальным животным очень большие дозы чистого триптофана. Дж. Фернстром и я решили исследовать, достаточны ли нормальные суточные вариации концентрации триптофана в плазме для изменения скорости синтеза серотонина в мозгу крысы. Оказалось, что даже низкие дозы триптофана, повышающие его концентрацию в плазме в пределах обычных суточных вариаций, действительно усиливают синтез серотонина.

Желая выяснить, имеет ли уменьшение количества триптофана в плазме противоположный эффект, мы одним крысам делали инъекции инсулина, а другим давали с пищей много углеводов, что стимулирует секрецию инсулина. Мы ожидали, что гормон снизит уровень триптофана в плазме — по аналогии с другими аминокислотами, которые под влиянием инсулина переходят из крови в скелетные мышцы. К нашему удивлению, инсулин не снижал концентрацию триптофана в плазме, более того, в тканях мозга она повышалась, а синтез серотонина усиливался вместо того, чтобы уменьшаться. Оказалось также, что когда животных кормили пищей с высоким содержанием белка, то, несмотря на обилие аминокислот, и концентрация триптофана в мозгу, и синтез серотонина были снижены.

СИНТЕЗ СЕРОТОНИНА существенно усиливается после введения вещества-предшественника — аминокислоты триптофана. На снимке видны нейроны ядра дорсального шва мозга крысы. Это одна из структур, в которых синтезируется и хранится серотонин. Тонкие срезы мозговой ткани обрабатывали формальдегидом, который при реакции с серотонином образует флуоресцирующее соединение зеленовато-желтого цвета. На контрольном срезе (*верхний снимок*) слабая флуоресценция свидетельствует о присутствии серотонина в цитоплазме клеток и вдоль аксонов (аксоны — это нервные волокна). Другой срез (*нижний снимок*) сделан с мозга животного, которое получило большую дозу триптофана за час до взятия образца ткани. Хорошо видно, что флуоресценция заметно увеличилась; это отражает усиление синтеза серотонина в присутствии дополнительного количества предшественника. (Микрофотографии сделаны Дж. Агаджаняном, Медицинская школа Йельского университета.)



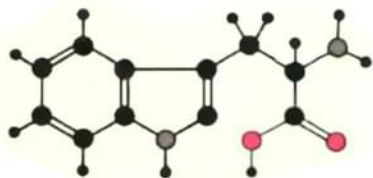
КАЗАВШАЯСЯ противоречивой ситуация прояснилась, когда мы обнаружили, что количество триптофана, который может превратиться в серотонин в тканях мозга, зависит не только от содержания триптофана в плазме крови, но и от отношения его концентрации к концентрации в плазме тирозина, фе-

нилаланина, лейцина, изолейцина и валина. Молекулы всех этих шести аминокислот сравнительно велики; в физиологических условиях большинство их электронейтральны, т.е. в молекуле число положительных зарядов равно числу отрицательных зарядов.

Большие водорастворимые молеку-

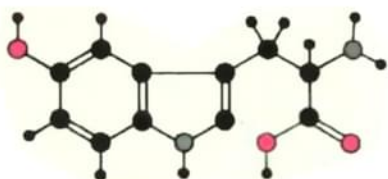
лы с трудом диффундируют из капилляров мозга в нейроны и другие клетки мозговой ткани. Их переход из крови в мозг облегчают молекулы-переносчики, которые имеются в эндотелиальных клетках, выстилающих капилляры мозга. Все шесть больших нейтральных аминокислот переносятся через ге-

ТРИПТОФАН

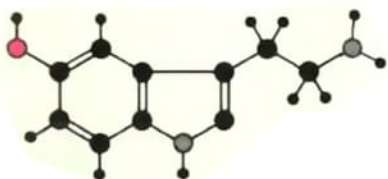


ТРИПТОФАН
ГИДРОКСИЛАЗА ↓

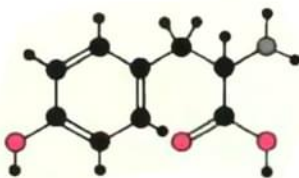
5-ГИДРОКСИТРИПТОФАН



СЕРТОНИН

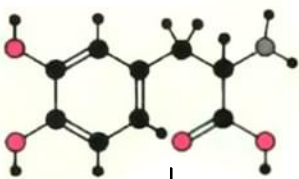


ТИРОЗИН

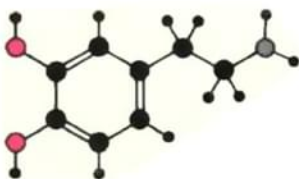


ТИРОЗИН
ГИДРОКСИЛАЗА ↓

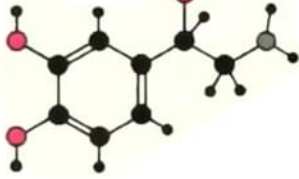
ДОФА



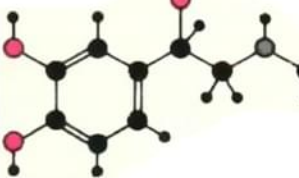
ДОФАМИН



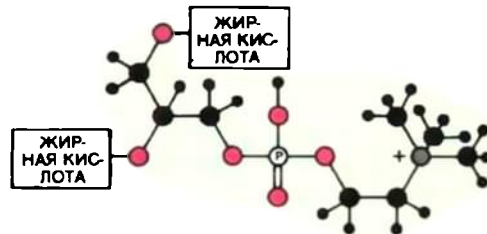
НОРАДРЕНАЛИН



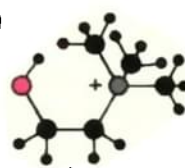
АДРЕНАЛИН



ЛЕЦИТИН (ФОСФАТИДИЛХОЛИН)

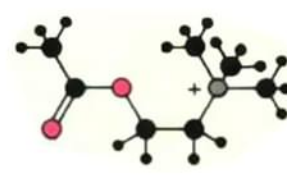


ХОЛИН



ХОЛИНАЦЕТИЛ
ТРАНСФЕРАЗА ↓

АЦЕТИЛХОЛИН



ХОЛИНЭСТЕРАЗА ↓

ХОЛИН



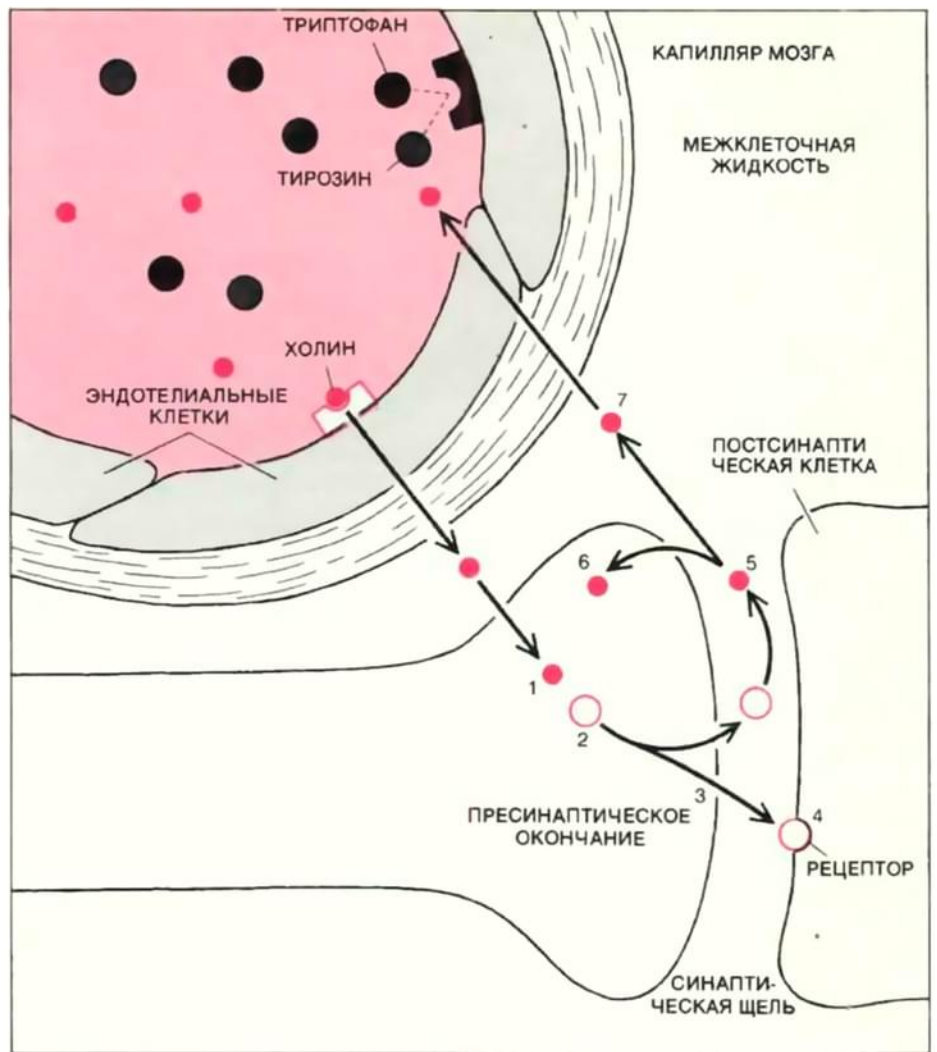
- УГЛЕРОД
- ВОДОРОД
- КИСЛОРОД
- АЗОТ
- ⊕ ФОСФОР

ХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА трех веществ — предшественников медиаторов и пути их превращения. Триптофан превращается в серотонин в два этапа. Катехоламины дофамин, норадреналин и адреналин образуются из другой аминокислоты — тирозина. Лецитин служит источником

холина, который является предшественником ацетилхолина. В отличие от других веществ-предшественников холин используется циклически, так как он образуется при расщеплении ацетилхолина холинэстеразой.

матознцефалический барьер одним и тем же переносчиком; аминокислоты конкурируют друг с другом за присоединение к переносчику и, следовательно, за проникновение в мозговую ткань. В большинстве белков триптофана содержится гораздо меньше, чем тирозина, фенилаланина, лейцина, изолейцина или валина. Поэтому, когда пища богата белком, отношение концентраций триптофана и конкурирующих с ним аминокислот в плазме снижается, стало быть, меньше триптофана проникает через барьер и попадает в нейроны.

Пища, богатая углеводами, оказывает противоположное действие, потому что в ответ на поступление углеводов усиленно секретируется инсулин, который снижает концентрацию конкурирующих аминокислот в плазме сильнее, чем концентрацию триптофана. В то время как все аминокислоты циркулируют в кровотоке в виде свободных молекул, триптофан по большей части связан с альбумином плазмы. На триптофан, иммобилизованный на альбумине, инсулин практически не влияет. Поэтому после приема углеводистой пищи отношение концентраций триптофана и конкурирующих с ним аминокислот повышается, в результате чего больше триптофана попадает в нейроны (см. "Nutrition and the Brain", J. D. Fernstrom, R. J. Wurtman, Scientific American, February, 1974). Мы предположили, что эти взаимодействия позволяют нейронам мозга, выделяющим серотонин, реагировать на изменения концентрации триптофана в плазме таким образом, что выделение серотонина усиливается после принятия с пищей углеводов и уменьшается при употреблении пищи с высоким содержанием белка. Д. Эшли и Г. Андерсон, сотрудники медицинского факультета Торонтского университета, получили данные, указывающие на то, что, когда животное выбирает пищу, в его мозгу используется это свойство серотониновых нейронов. Чтобы узнать, выбор каких компонентов пищи определяется серотином мозга, Дж. Вуртман и я поставили такой опыт. Крысам давали возможность сделать выбор между двумя рационами с различным соотношением белков и углеводов. Воздействия, повышающие выделение серотонина в мозгу (например, лекарственный препарат фенфлурамин), заставляли крыс предпочитать пищу с меньшим содержанием углеводов. Недавно мы показали, что стимуляция выделения серотонина сходным образом влияет и на людей: если в течение нескольких недель пациентам, расплывшим из-за избытка углеводов в питании, давать соответствующие препараты и предоставить возможность самим варьировать свой рацион, они преодолевают привы-



МОЛЕКУЛЫ ВЕЩЕСТВА-ПРЕДШЕСТВЕННИКА должны пересечь гематоэнцефалический барьер для того, чтобы проникнуть в клетки мозга, где они превращаются в медиатор. Эндотелиальные клетки капилляров мозга прилегают друг к другу очень плотно, так что молекулам триптофана, тирозина и холина приходится пользоваться услугами молекул-переносчиков, которые есть в стенках клеток капилляров. Триптофан, тирозин и другие большие электронейтральные аминокислоты конкурируют за один и тот же переносчик. На рисунке показано также поглощение и превращение холина. Из межклеточной жидкости холин попадает в окончание холинэргического нейрона (1) и превращается в ацетилхолин (2). Когда нейрон срабатывает, ацетилхолин выделяется в синаптическую щель (3). Ацетилхолин либо взаимодействует с рецептором постсинаптической клетки и таким путем передает ей сигнал (4), либо превращается обратно в холин (5), который вновь проникает в пресинаптическое окончание (6) или переходит в межклеточную жидкость мозга и кровотока (7).

чку есть много углеводистой пищи.

Другими словами, потребление пищи, содержащей много углеводов и мало белков, приводит к нейрохимическим изменениям, а именно повышается синтез серотонина, в результате животное начинает потреблять меньше углеводов (но не белков). Взаимоконтроль между выделением серотонина и составом пищи сформировался, вероятно, ради лучшего баланса питания. Благодаря этому механизму медведь не станет питаться только медом, а человек — мучным и сладостями, исключив из рациона белки. Может быть, у некоторых тучных людей нарушен механизм обратной связи, согласующий питание с обменом веществ, химией

мозга и поведением. К сожалению, мы не располагаем безвредным способом измерения количества выделяющегося в мозгу серотонина, который мог бы прямо показать роль выделения этого медиатора в организме человека.

В 1975 г. Э. Козн и я и независимо от нас Д. Хоубрич (Научно-исследовательский институт терапии, «Мерк») показали, что включение в пищу холина усиливает синтез ацетилхолина в мозгу. (Еще более эффективным оказался лецитин, обычный компонент пищи, который является основным источником холина.) Вскоре К. Джибсон и я обнаружили связь между составом

пищи и синтезом катехоламиновых медиаторов дофамина, норадреналина и адреналина. При включении в рацион тирозина или потреблении пищи, повышающей уровень тирозина в крови (имеется в виду, что концентрация тирозина возрастает по сравнению с концентрацией других больших нейтральных аминокислот), увеличивается концентрация тирозина в нейронах, где аминокислота доступна для тирозингидроксилазы, и синтез катехоламинов ускоряется.

Итак, для трех питательных веществ показано, что они влияют на синтез медиаторов. Есть некоторые общие принципы, исходя из которых можно предсказывать, регулируется ли данный конкретный медиатор таким способом, и разрабатывать какие-то стан-

дартные процедуры, позволяющие это установить. Чтобы пояснить, какие принципы я имею в виду, кратко опишу необходимые свойства пяти последовательных биохимических процессов, которые происходят в случае, если при приеме пищи, богатой веществом-предшественником, в тканях мозга усиливается синтез соответствующего медиатора.

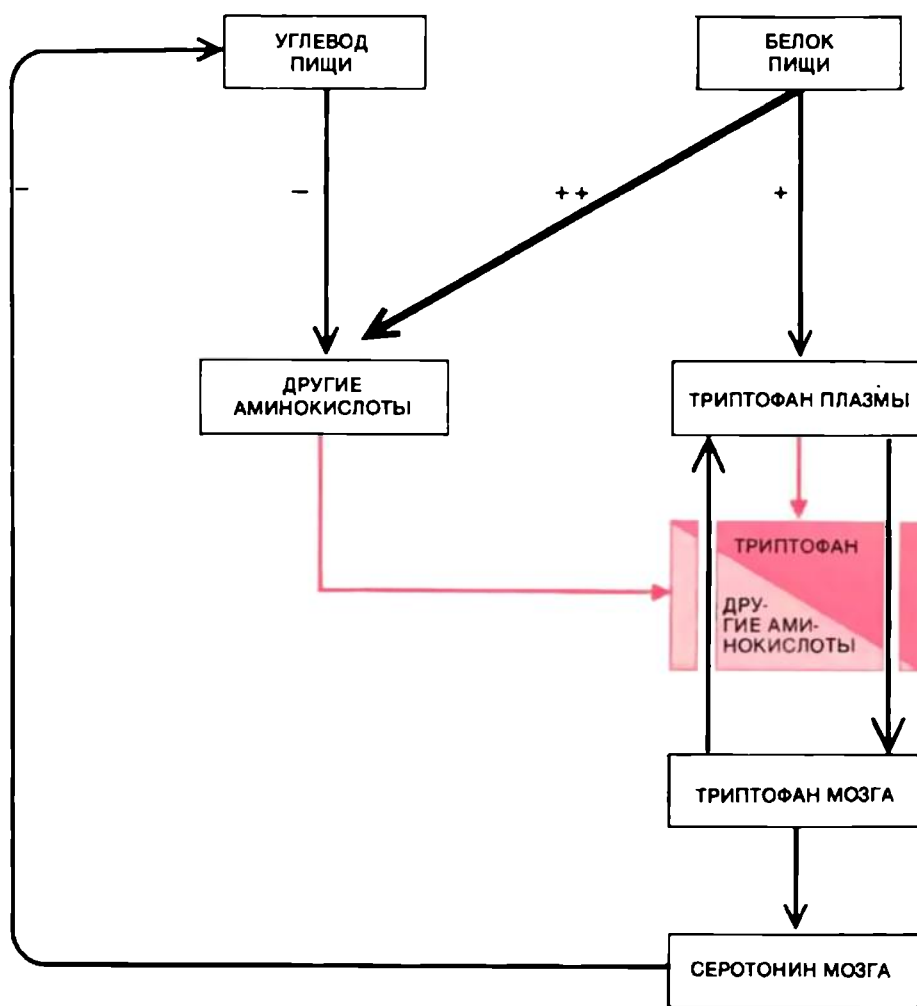
Во-первых, при потреблении пищи, содержащей данное вещество-предшественник, должна значительно повышаться его концентрация в плазме крови; в отличие от рН плазмы или концентрации в ней кальция концентрация вещества-предшественника не поддерживается на постоянном уровне по механизму обратной связи. Во-вторых, концентрация вещества-пред-

шественника в тканях мозга должна зависеть от его концентрации в плазме и изменяться в соответствии с ней; для предшественника должен быть проницаем гематоэнцефалический барьер. В-третьих, перенос вещества-предшественника из крови в ткань мозга должен быть низкоаффинным — насыщение субстратом (предшественником) исключается во избежание потери способности связывать субстрат при дальнейшем повышении его концентрации в плазме. В-четвертых, находящийся внутри нейрона фермент, катализирующий превращение предшественника в медиатор, также должен иметь низкое сродство к субстрату. (Как я уже упоминал выше, именно это условие привело нас к открытию действия триптофана на серотониновые нейроны.) В-пятых, не должно быть ингибирования фермента по принципу обратной связи при повышении внутриклеточной концентрации его продукта, т.е. медиатора.

Было показано, что именно так обстоит дело при синтезе серотонина, ацетилхолина и катехоламинов. Есть данные, что эти условия выполняются и при синтезе двух других медиаторов — гистамина и глицина, образование которых также регулируется доступностью веществ-предшественников. Сложность набора условий, необходимых для регуляции синтеза медиатора его предшественником, указывает на неслучайность этого биологического явления. Скорее всего оно имеет адаптивное значение и поэтому сохранилось в процессе эволюции.

Все ли медиаторы управляются своими предшественниками? Вероятно, не все. Непосредственные предшественники некоторых медиаторов обычно присутствуют в клетке в таких концентрациях, которые полностью насыщают механизмы синтеза медиатора и, стало быть, не зависят от состава плазмы. В других случаях регуляцию синтеза медиатора предшественником невозможно выявить либо из-за того, что предшественник не идентифицирован, либо из-за того, что гематоэнцефалический барьер не позволяет увеличить его концентрацию в ткани мозга. Пусть лишь некоторые медиаторы (всего их сейчас известно примерно 25) могут регулироваться составом пищи; важно и интересно, что среди них есть такие, на действие которых влияют лекарственные препараты, применяемые для лечения неврологических, психических и даже сердечно-сосудистых заболеваний.

Тот факт, что состав пищи может влиять на синтез медиатора в пресинаптических окончаниях нейронов, еще не достаточное основание, чтобы предполагать изменение в передаче импульсов через синапс. Необходимо показать, что под действием данного ком-



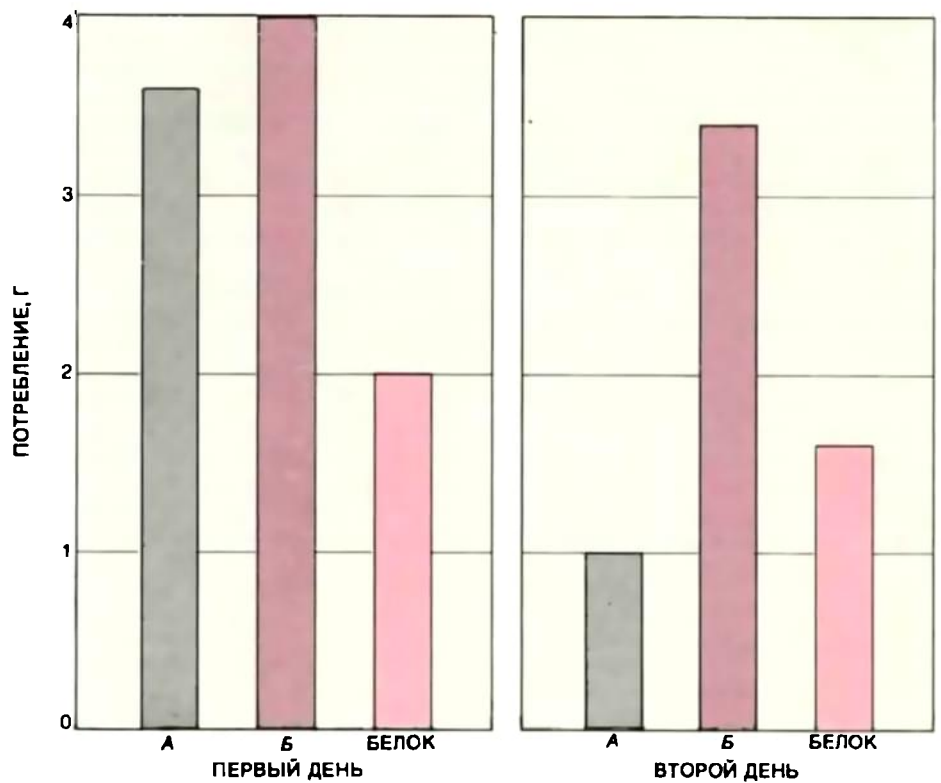
СОСТАВ ПИЩИ влияет на синтез серотонина в мозгу. Под влиянием белков пищи возрастает концентрация триптофана в плазме, но одновременно еще сильнее возрастает концентрация в плазме пяти других больших электронейтральных аминокислот, так как в белках их содержится больше, чем триптофана. Углеводы пищи вызывают секрецию инсулина, инсулин заставляет аминокислоты покидать кровяное русло, однако триптофан в этом не участвует. Триптофан конкурирует за перенос через гематоэнцефалический барьер с другими большими нейтральными аминокислотами, поэтому переход триптофана из плазмы в ткань мозга регулируется отношением концентрации триптофана к концентрации этих аминокислот (выделено цветом). Если это отношение велико, триптофан проникает в мозг, если оно понижается, триптофан выходит из мозга в кровь. Похоже, что, когда в мозгу выделяется образовавшийся из триптофана серотонин, у крыс (и у человека) снижается потребность в углеводах.

понента пищи данная группа нейронов выделяет больше молекул медиатора в единицу времени. Количество медиатора зависит от числа нейронов в исследуемом нервном пути, от общего числа их синапсов, от частоты срабатывания нейронов и от среднего числа молекул медиатора, выделяющихся в каждом синапсе при одном срабатывании нейрона. Теоретически можно было предполагать, что меняется только синтез медиатора, а не выделение его в синапс. В опытах Дж. Биркампера и А. Гольдберга (Медицинская школа Университета Джонса Гопкинса) это не подтвердилось. Они измеряли выделение ацетилхолина двигательными нейронами при инкубации их в условиях разной концентрации холина. Когда нервные волокна стимулировали электрическим током, наблюдалась корреляция между концентрацией холина и количеством выделяющегося ацетилхолина.

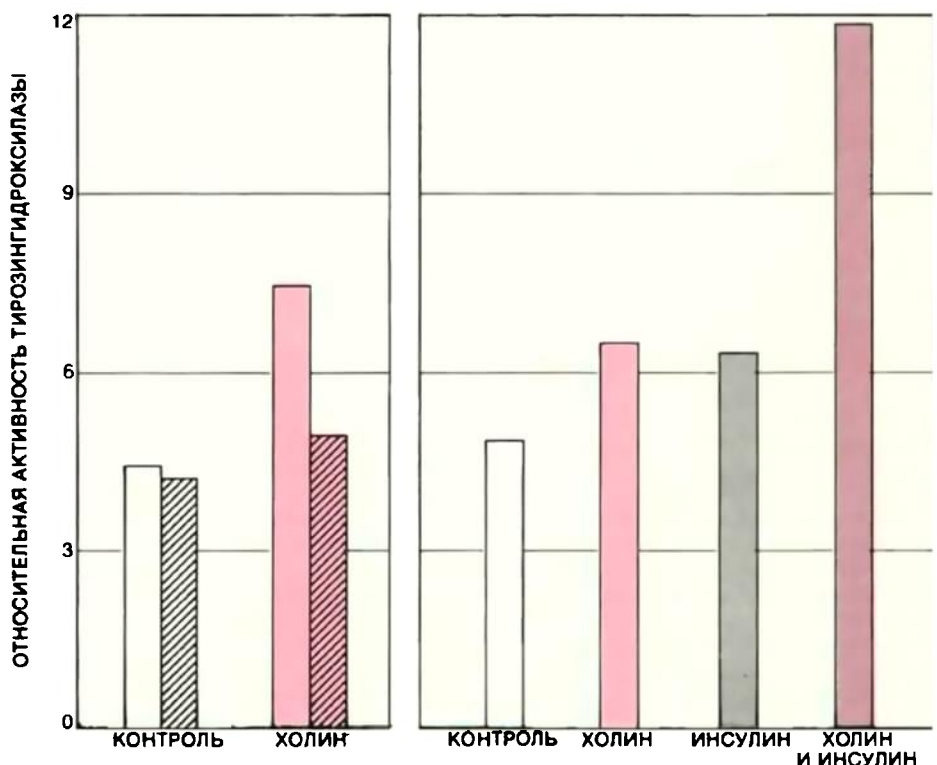
И. УЛАС (Бурский университет, Турция) и я показали, что усиливается не только выделение медиатора, но и собственно передача импульса в синапсе: изменяется химический состав постсинаптических клеток. Мы ставили опыты на чревном нерве, идущем от спинного мозга к надпочечникам. В надпочечниках чревный нерв оканчивается в синапсах на хромоаффинных клетках мозгового слоя. В окончании чревного нерва выделяется медиатор ацетилхолин. Под действием ацетилхолина в постсинаптических хромоаффинных клетках образуется адреналин и включается дополнительный синтез тирозингидроксилазы — фермента, контролирующего конечный этап синтеза адреналина.

Другие исследователи (в частности, Ю. Аксельрод, Х. Тёнен и Р. Мюллер, работавшие в то время в Национальном институте охраны психического здоровья) показали, что если крыс поставить в такие условия, чтобы чревный нерв срабатывал все время с повышенной частотой, то вследствие уси-

ВЛИЯНИЕ СЕРОТОНИНА на выбор пищи. Крысам предлагали пищу двух типов. Количество углеводов и калорийность были одинаковы, но, съедая пищу типа «А», животные получали 5% белков, а съедая пищу типа «Б» — 45%. В первый день крысам сделали инъекции плацебо (т.е. просто безразличного вещества), а на второй день ввели фенфлурамин, который повышает выделение серотонина. Вследствие дополнительного синтеза серотонина крысы съедали меньше пищи «А», так что потребление ими углеводов упало, в то же время белка животные съедали примерно столько же, сколько и прежде.



ДЕЙСТВИЕ ХОЛИНА на передачу сигнала от окончаний чревного нерва к хромоаффинным клеткам надпочечника посредством ацетилхолина. В этих опытах измеряли активность тирозингидроксилазы — фермента, синтез которого под действием ацетилхолина усиливается. *Слева*: у крысы денервировали один из надпочечников (полосатый столбик), затем в течение нескольких дней животному давали холин; в результате в интактной железе активность тирозингидроксилазы увеличилась, а в денервированной нет. *Справа*: исследовали влияние на крыс воздействия двух типов — сначала по отдельности, а затем в комбинации. Включение холина в пищу повышает активность тирозингидроксилазы; такое же действие производит и инъекция инсулина, ускоряющего срабатывание чревного нерва. Эффекты холина и инсулина усиливают друг друга: совместный эффект более чем вдвое превышал каждый из них в отдельности.



ленного выделения ацетилхолина повышается активность тирозингидроксилазы в надпочечниках. Мы предположили, что если просто дать крысам холин, не меняя частоту срабатывания чревного нерва, то количество ацетилхолина все равно увеличится и активность тирозингидроксилазы возрастет. Так и оказалось. Затем мы проделали те же опыты на животных, у которых было перерезано ответвление чревного нерва, ведущее к одному из надпочечников. Мы обнаружили, что холин вызывал повышение ферментативной активности в интактной железе и не влиял на денервированную, значит сам холин не эффективен, он должен сначала превратиться в ацетилхо-

лин в окончании чревного нерва.

Чтобы доказать, что под действием холина меняется количество выделяющегося медиатора, а не частота срабатывания нейрона, мы исследовали, как влияет введение холина одновременно с искусственным повышением частоты срабатывания чревного нерва. Для этого крыс держали при низкой температуре и давали им очень большие дозы инсулина, одновременно с помощью медикаментов у животных надолго снижали кровяное давление. Мы считали, что, если и холин и другие воздействия повышают частоту срабатывания нейрона, их совместный эффект в отношении тирозингидроксилазы будет примерно таким же, как и каждого в

отдельности. Если же холин повышает количество ацетилхолина, выделяющегося при каждом срабатывании нейрона, то совместный эффект будет больше. Оказалось, что при такой постановке опыта эффективность холина действительно увеличивается. Причем, к нашему удивлению, эффект от стимуляции чревного нерва был также больше на фоне холина, чем без него.

Из этих экспериментов следуют два вывода. Во-первых, введение вещества-предшественника может усиливать выделение медиатора и, следовательно, действие нейрона на постсинаптические клетки. В наших опытах под влиянием холина в окончаниях чревного нерва выделялось больше ацетилхо-

	ЧИСЛО СИНАПСОВ	ЧАСТОТА СРАБАТЫВАНИЯ (В 1 С)	ВЫДЕЛЕНИЕ МЕДИАТОРА НА ОДНО СРАБАТЫВАНИЕ ОДНОГО СИНАПСА	СУММАРНОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ МЕДИАТОРА ЗА 1 С.
НОРМАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ				
ЗАБОЛЕВАНИЕ				
ИЗБЫТОК ВЕЩЕСТВА ПРЕДШЕСТВЕННИКА ПРИ ЗАБОЛЕВАНИИ				
ИЗБЫТОК ВЕЩЕСТВА-ПРЕДШЕСТВЕННИКА В НОРМАЛЬНОМ СОСТОЯНИИ		1		
		2		
		3		
		4		

ЧАСТОТА СРАБАТЫВАНИЯ И КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА-ПРЕДШЕСТВЕННИКА взаимосвязаны. В верхнем ряду изображены четыре нормальных синапса; нейроны разряжаются с частотой 4 раза в секунду, и при каждом срабатывании в каждом синапсе выделяются 3 молекулы медиатора. Всего за 1 секунду выделяется 48 молекул. Допустим, что при заболевании число нейронов и синапсов уменьшается. Уцелевший нейрон возбуждается и разряжается чаще, но медиатора все равно выделяется недостаточно. В присутствии дополнительного количества вещества-предшественника увеличивается число молекул медиатора, выделяющихся при каждом срабатывании нейрона, и в целом достигается нормальный уровень медиатора. Если в

присутствии избытка предшественника работает неповрежденная группа нейронов, сначала наблюдается резкое усиление выделения медиатора, поскольку его больше синтезируется и больше выделяется при каждом срабатывании нейрона (1). Однако вскоре частота срабатывания нейронов уменьшается и выделение медиатора нормализуется (2). При этом нейроны каким-то образом становятся менее чувствительны к дополнительному количеству предшественника и при каждом срабатывании нейрона выделяется меньше медиатора (3). В конце концов устанавливается такое соотношение между частотой срабатывания и числом молекул медиатора, выделяющихся за один раз, что поддерживается нормальный уровень выделения медиатора (4).

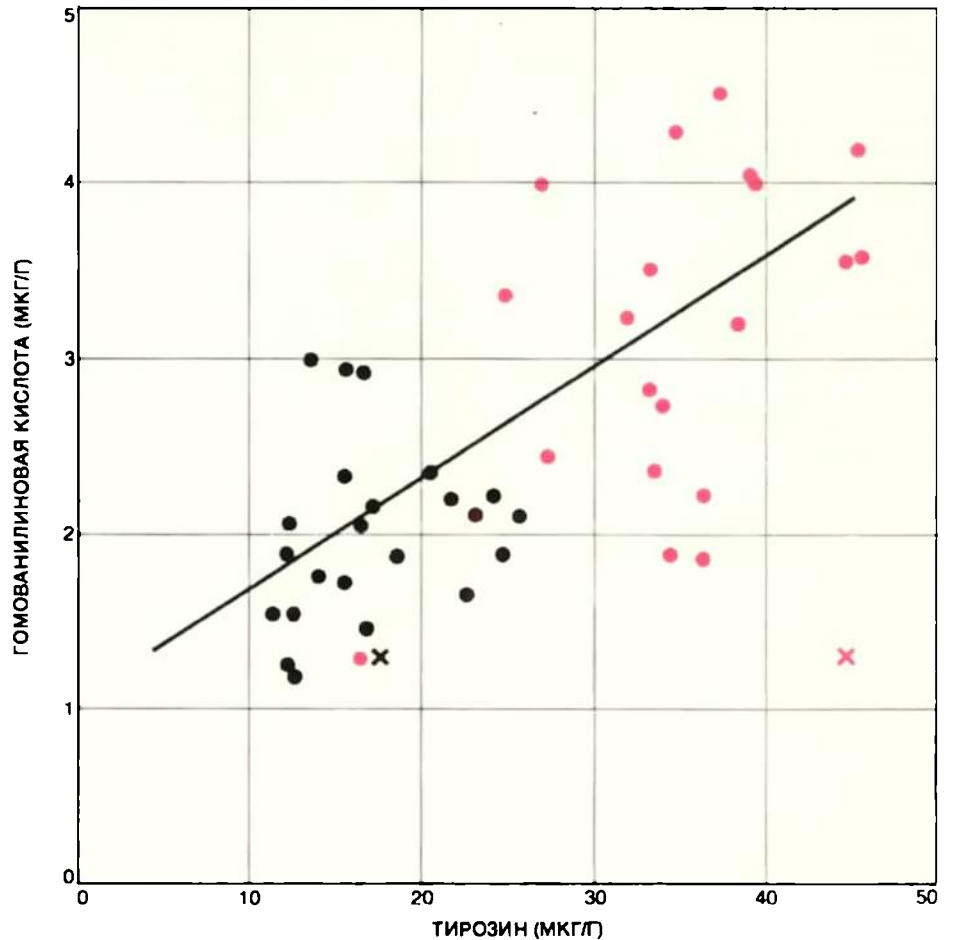
лина и повышалась активность тирозингидроксилазы. Во-вторых, эффективность холина зависит от частоты срабатывания нейронов, на которые он действует. Это последнее наблюдение подтверждает предположение о связи между частотой срабатывания нейрона и его ответом на повышение количества поступающего к нему предшественника его медиатора.

СПУСТЯ четыре месяца после публикации нашей первой статьи о повышении уровня ацетилхолина в мозговой ткани крыс, которым давали холин, появилось сообщение о клиническом применении этого эффекта. Речь шла о больном, страдавшем одной из форм гиперкинеза; при этом заболевании характерны произвольные движения лица и верхней части тела. Как правило, такой гиперкинез развивается в результате длительного приема антипсихотических средств; по мнению многих психиатров, этот побочный эффект существенно снижает ценность ряда антипсихотических препаратов.

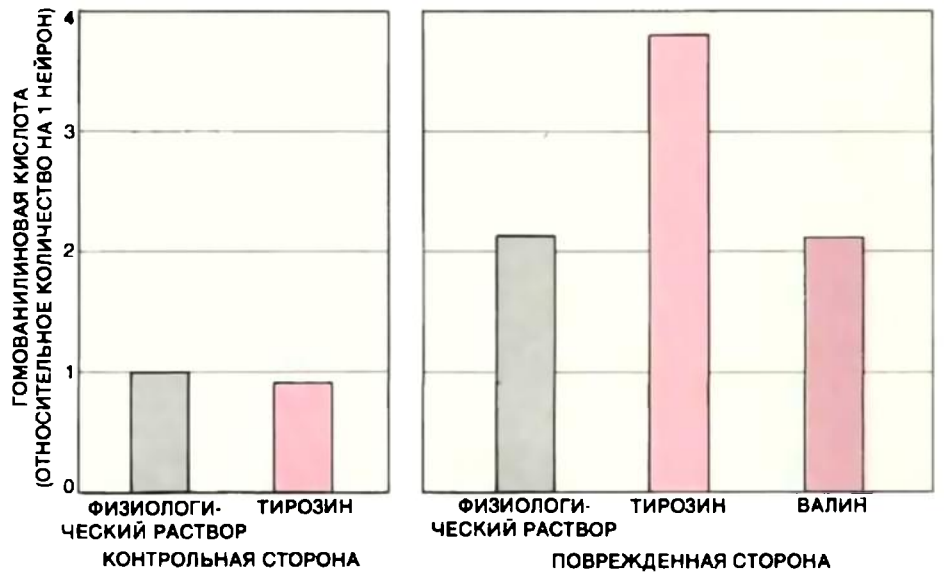
К. Дэвис и его сотрудники (Медицинская школа Станфордского университета) установили, что при гиперкинезе состояние больных можно временно улучшить физостигмином (физостигмин повышает концентрацию ацетилхолина, предотвращая разрушение медиатора ферментом холинэстеразой). Они показали, что такой же эффект дает введение холина. С тех пор многие исследователи подтвердили эффективность холина при гиперкинезе; в частности, большую группу больных обследовал мой сотрудник Дж. Гроудон (Медицинская школа Тафтского университета), который применил двойной слепой тест с «плацебо» в качестве контроля.

Холин часто заменяют лецитином, так как лецитин меньше разрушается бактериями в кишечнике. Помимо того что холин расходуется зря, при его разложении образуется триметиламин, который пахнет тухлой рыбой, что вряд ли приятно пациенту. К сожалению, словом «лецитин» врачи и биохимики называют вполне определенное химическое соединение — фосфатидилхолин, а работники пищевой промышленности — целую группу веществ — фосфатиды. Источником холина является только фосфатидилхолин. Почти все поступающие в продажу препараты лецитина содержат столько примесей, что практически бесполезны как лекарственные средства.

Холин и лецитин не мешают терапевтическому эффекту антипсихотических средств, они только снимают их побочное действие — гиперкинез. Кроме того, в отличие от физостигмина и других ингибиторов холинэстера-



ТИРОЗИН В ПИЩЕ вызывает накопление гомованилиновой кислоты (продукта распада дофамина) в полосатом ядре мозга крысы только, когда нейроны, выделяющие дофамин, разряжаются с повышенной частотой. Если в пищу добавлен тирозин (цветной крестик), концентрация тирозина в мозгу повышается (уровень тирозина в мозгу контрольных животных обозначен черным крестиком), а выделение дофамина (измеряют концентрацию гомованилиновой кислоты) держится на том же уровне. Когда в пищу включают галоперидол, который ускоряет срабатывание нейронов, усиливается выделение дофамина, причем синтез и выделение дофамина зависят от уровня тирозина в мозгу (черные кружки); теперь при наличии в пище тирозина выделение дофамина усиливается (цветные кружки).



ЧАСТОТА СРАБАТЫВАНИЯ нейрона влияет на выделение дофамина. В одном из полушарий мозга крысы разрушили около 75% дофаминовых нейронов; оставшиеся нейроны стали срабатывать чаще. В интактном полушарии инъекции тирозина (и инъекции просто физиологического раствора) не влияли на выделение дофамина отдельным нейроном. В поврежденном полушарии частота срабатывания уцелевших нейронов резко повышалась: при инъекции физиологического раствора выделение дофамина нейроном возрастает почти вдвое. После инъекции тирозина оно еще больше, а валин не имеет никакого эффекта.

зы холин и лецитин не имеют побочного действия, связанного с усиленной активностью холинэргических синапсов: физостигмин, например, вызывает избыточное образование слизи в дыхательных путях, сильное замедление пульса, спазмы в желудочно-кишечном тракте и многочисленные нарушения деятельности мозга. Почему же в случае лецитина и холина такого побочного действия нет?

Вернемся к взаимосвязи между частотой срабатывания нейрона и синтезом медиатора (см. рис. на с. 75). Не во всех нейронах, способных усилить выделение медиатора в присутствии большого количества его предшественника, эта возможность реализуется. В соответствии с поступающими к ним сигналами от других нервных клеток в некоторых группах нормально действующих нейронов может снизиться частота срабатывания, так что, несмотря на избыточный синтез медиатора, их производительность не повышается. Уменьшение частоты срабатывания имеет еще одно следствие: каким-то образом при этом более медленно срабатывающие нейроны становятся менее чувствительными к количеству предшественника. При гиперкинезе нейроны, ответственные за ослабление болезненных симптомов, явно чувствительны к избыточному холину, так что их деятельность усиливается. Другие холинэргические нейроны сначала срабатывают с меньшей частотой, а затем теряют чувствительность к дополни-

тельному холину. В результате выделение ацетилхолина не усиливается и поэтому нежелательные побочные эффекты отсутствуют.

ХОЧЕТСЯ думать, что с помощью лецитина можно будет лечить любое заболевание, связанное с нарушением деятельности холинэргических синапсов. Неоднократно появлялись публикации, в которых сообщалось об успешном лечении лецитином больных, страдающих подобными заболеваниями. Однако, за исключением случая гиперкинеза, пока что нет достаточных оснований даже для предварительных выводов.

К числу заболеваний, привлекающих в последнее время интерес с точки зрения возможности лечения их лецитином, относятся расстройства памяти у пожилых людей. С возрастом утрачивается часть нейронов головного мозга, в особенности уязвимы холинэргические нейроны. В гиппокампе, который считается ответственным за формирование новых следов памяти, холинэргических нейронов особенно много. У молодых людей такие лекарства, как скополамин, блокирующие холинэргические синапсы, вызывают кратковременные нарушения памяти, аналогичные тем расстройствам, которые наблюдаются у пожилых. Возможно, удастся лечить больных с расстройствами памяти при помощи средств, повышающих содержание ацетилхолина в тканях мозга.

Изучая способы лечения таких расстройств, исследователи столкнулись с рядом проблем. Одна из них — отсутствие клинической основы, которая позволила бы как-то классифицировать нарушения памяти по причинам заболевания. Вполне вероятно, что диагнозами «старческое слабоумие» или «болезнь Альцгеймера» объединяются больные с различными расстройствами, причем далеко не все из них обусловлены избирательным снижением содержания ацетилхолина в мозгу и, соответственно, поддаются терапии холином. Пока у нас нет способов для дифференцированного диагностирования таких больных.

Другая трудность в том, что нет надежных тестов, позволяющих судить об улучшении памяти. Объективные тесты памяти существуют, но ни разу не удалось показать, что улучшение показателей при тестировании свидетельствует об истинном улучшении памяти. Получается какой-то порочный круг, потому что судить о показательности тестов можно, в свою очередь, только будучи уверенным, что применяемый метод лечения действительно улучшает память. Дело осложняется еще и тем, что имеющиеся препараты оставляют желать много лучшего.

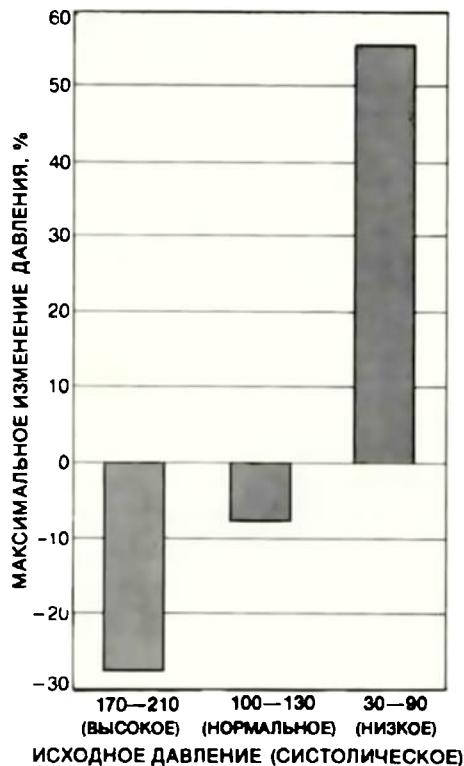
Препараты частично очищенного лецитина содержат, как правило, слишком мало фосфатидилхолина или же крайне неприятны на вкус в тех больших дозах, которые необходимы. Вещества, с помощью которых исследователи стимулируют холинэргические функции у животных, действуют неспецифически на все холинэргические синапсы организма и поэтому имеют слишком много побочных эффектов, так что применять их для лечения людей нежелательно.

Судя по немногочисленным сообщениям о влиянии лецитина на память у людей, такое лечение идет на пользу, но, конечно, не возвращает молодость. Возможно, что для лечения больных, у которых расстройства памяти связаны с локальной недостаточностью холинэргических функций, окажется эффективной комбинация лецитина с лекарствами, ускоряющими срабатывание холинэргических нейронов гиппокампа, или с небольшими дозами ингибиторов холинэстеразы. Дж. Гроудон и С. Коркин в Массачусетском политехническом институте сейчас испытывают такие комбинации.

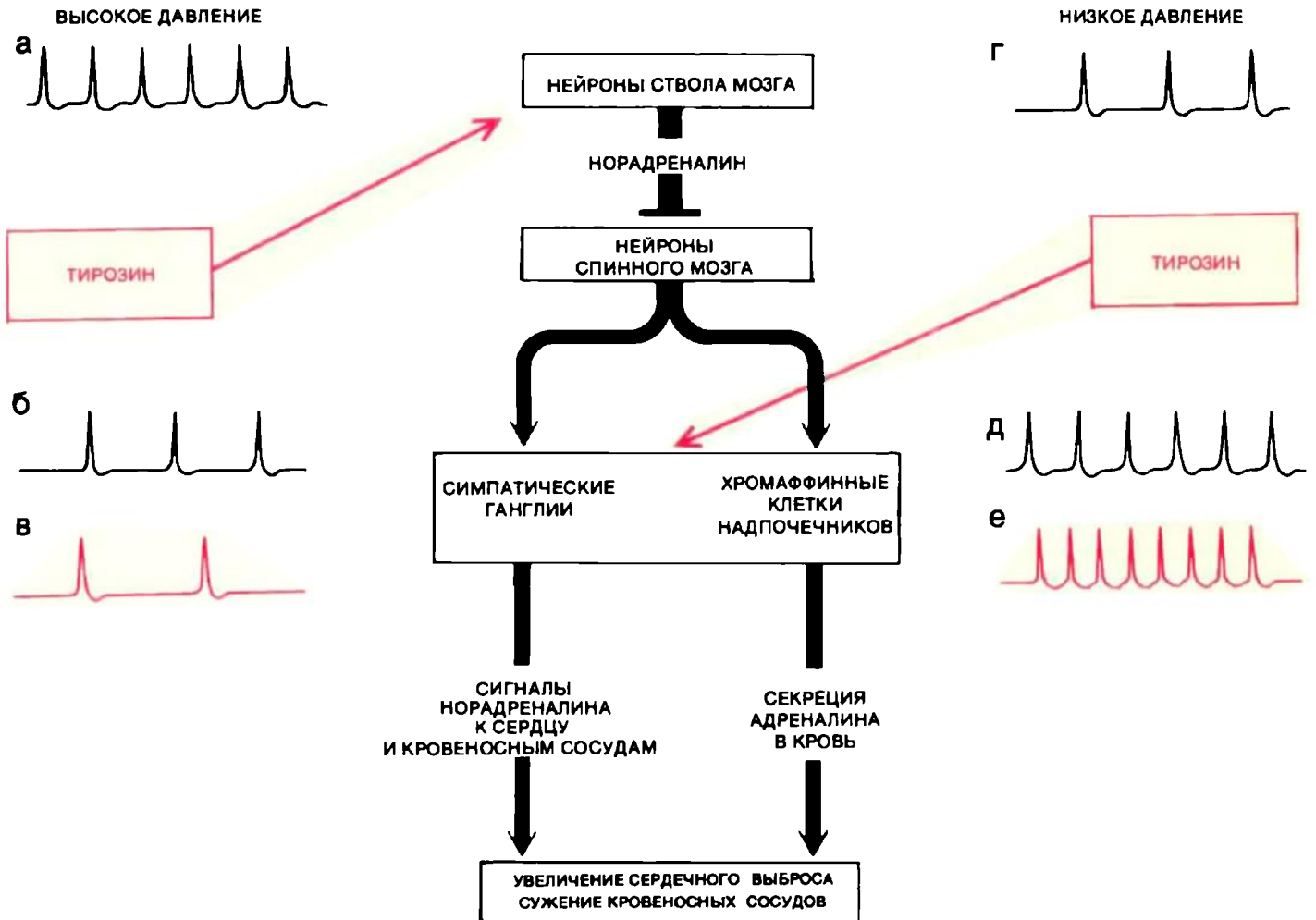
ТЕСНАЯ связь между частотой срабатывания нейрона и его реакцией на избыток предшественника медиатора прекрасно видна на примере группы дофаминовых нейронов, отростки которых тянутся от substantia nigra среднего мозга к полосатому телу, расположенному в глубине полушарий мозга. Эти нейроны участвуют в контроле (в частности, в инициации) движений; именно они дегенерируют при болезни Паркинсона.

У животных выделение дофамина в нейронах substantia nigra можно оценить, измеряя в полосатом теле накопление гомованилиновой кислоты — продукта превращения дофамина. Если животных не подвергать никаким другим воздействиям, то, даже когда они получают очень большие дозы тирозина (тирозин служит предшественником дофамина), в полосатом теле концентрация гомованилиновой кислоты не изменяется. Если же животным предварительно дать препарат, стимулирующий срабатывание нейронов substantia nigra, выделение дофамина становится чувствительным к концентрации тирозина.

Это показали в очень красивых опытах Ф. Хефти и Э. Меламед (мы работали вместе в Массачусетском технологическом институте; сейчас Хефти работает в Исследовательской лаборатории Сандоз в Базеле, а Меламед на медицинском факультете Университета Хибру в Иерусалиме). Модифицированный дофамин разрушает дофаминэргические нейроны, этим способом удавалось вывести из строя более 75%



ВЛИЯНИЕ ТИРОЗИНА на кровяное давление зависит от его величины. При гипертонии у крыс под действием тирозина давление снижается, при гипотонии повышается.



СПОСОБНОСТЬ ТИРОЗИНА снижать повышенное кровяное давление и повышать пониженное объясняется тем, что тирозин по-разному действует на разные популяции клеток. При высоком давлении норадреналиновые нейроны ствола мозга разряжаются с большей частотой (а). Норадреналин этих нейронов имеет тормозный эффект — подавляя симпатические преганглионарные нейроны спинного мозга, он тем самым снижает активность нейронов в симпатических ганглиях и хромоаффинных клетках в надпочечниках (б), т.е. ту активность, которая обычно стабилизирует или подни-

мает кровяное давление. Тирозин влияет на часто разряжающиеся нейроны ствола мозга, в них синтезируется больше норадреналина, тормозное действие усиливается (в) и давление падает. Наоборот, при понижении давления срабатывание нейронов ствола головного мозга подавляется (г); в результате их тормозное действие ослабляется и активность нейронов в ганглиях и хромоаффинных клеток в надпочечниках возрастает (д). Эти клетки становятся чувствительными к увеличению количества тирозина. Их активность возрастает еще больше (е) и кровяное давление повышается.

нейронов substantia nigra в одном из полушарий мозга крысы. При этом повышалась частота срабатывания уцелевших нейронов поврежденного полушария; вероятно, здесь реализуется механизм обратной связи, обеспечивающий нейронам substantia nigra функциональную взаимозаменяемость. (Такого же рода компенсация сдерживает внешние проявления болезни Паркинсона до тех пор, пока не окажется поврежденной по крайней мере половина нейронов substantia nigra.) Ускорение срабатывания подтверждалось тем, что концентрация гомованилиновой кислоты в расчете на один уцелевший нейрон была гораздо выше в поврежденном полушарии, чем в интактном. Далее животным давали тирозин. В поврежденном полушарии количество гомованилиновой кислоты на один нейрон продолжало возрастать, а в интактном полушарии изменений не было.

Тирозин, поступающий с пищей, может также усиливать синтез норадреналина или же не влиять на него в зависимости от частоты срабатывания соответствующих нейронов. С этим связано влияние тирозина на кровяное давление. Если тирозин дают людям или животным с нормальным давлением, никакого эффекта не наблюдается. При гипертонии, однако, тирозин снижает давление, а при гипотонии (например, при шоковом состоянии) поднимает его почти до нормы. Эти наблюдения проделали мои аспиранты А. Сведом, Л. Кондэй и Т. Маер; они исследовали крыс с наследственной гипертонией и крыс, давление у которых снижали, изымая примерно пятую часть крови.

Мозг крысы-гипертоника, пытаюсь снизить кровяное давление, ускоряет срабатывание норадреналиновых нейронов ствола мозга. В этой части мозга норадреналин действует как тормоз-

ный медиатор — он подавляет другие нейроны, снижая в конечном счете активность периферических симпатических нейронов и хромоаффинных клеток мозгового слоя надпочечников. Симпатические нейроны и хромоаффинные клетки освобождают меньше адреналина и норадреналина. Адреналин и норадреналин вообще повышают кровяное давление, так как под их влиянием сужается просвет сосудов и возрастает сердечный выброс. Поскольку только нейроны ствола мозга срабатывают с достаточной частотой, именно в них при введении тирозина увеличится выделение медиатора; в результате кровяное давление снизится. Когда животное находится в состоянии шока, деятельность его мозга направлена на повышение давления — подавляются тормозные норадреналиновые нейроны ствола мозга, а симпатические нейроны и хромоаффинные клетки активируются, частота их срабатывания уве-

личивается. Теперь тирозин избирательно усиливает выделение катехоламинов этими клетками и кровяное давление повышается.

Теоретически благодаря такому регуляторному механизму тирозин должен иметь определенные преимущества перед другими лекарственными препаратами, которыми сейчас лечат нарушения кровообращения. Можно думать, что в случае тирозина нет опасности «пересолить», так как по достижении нормального кровяного давления избирательное изменение частоты срабатывания нейронов делает животное нечувствительным к его действию. Что касается человека, теоретических рассуждений недостаточно; нужно надежно испытать тирозин, прежде чем лечить им гипертонию или шоковое состояние у людей.

Депрессивный синдром — еще одно заболевание, которое сейчас пытаются лечить тирозином. Большинство психиатров, ищущих биохимические основы психических заболеваний, считают, что у многих больных депрессия связана с нарушением передачи нервных импульсов в серотониновых или норадреналиновых синапсах. Если это так, то некоторым больным, страдающим от депрессии, лечение тирозином может существенно помочь. Впервые данные об антидепрессантном эффекте тирозина были получены нами в сотрудничестве с А. Джеленбергом (Массачусетская больница общего типа). Наши данные вскоре подтвердили и другие исследователи. Если дальнейшие клинические испытания покажут, что тирозин можно применять для лечения депрессивного синдрома, стоило бы выяснить механизм явления. Какое именно звено метаболизма нарушено у больных, поддающихся лечению тирозином, — обмен аминокислот (и поэтому концентрация тирозина в плазме ниже нормы) или превращение тирозина в норадреналин в нейронах мозга?

МОЖНО ЛИ считать лекарством вещество, если оно является просто компонентом пищи, который в лечебных целях назначается в больших дозах, отдельно от других компонентов пищи, в норме служащей его источником? Это не просто вопрос терминологии. В случае каждого лекарственного препарата необходимо тщательно проверять его эффективность и безвредность. Для практического применения важно, однако, насколько он доступен. Если интересующие нас вещества сочтут медикаментами, контролирующими организации могут потребовать таких сложных и дорогостоящих предварительных испытаний, что они отпугнут большинство потенциальных поставщиков — фирмы, производящие лецитин и аминокислоты для нужд пищевой

промышленности.

Ясно, что прежде чем эти соединения можно будет прописывать больным или рекомендовать для самостоятельного лечения, надо получить доказательства их безвредности и эффективности. Но стоит ли в отношении компонентов повседневной пищи подходить к этому вопросу так же строго, как это требуется по закону для лекарственных препаратов? Пожалуй, нет — по нескольким причинам. Аминокислоты и холин быстро перерабатываются ферментами организма — этому механизму миллионы лет. Способ, которым молекулы данного вещества включаются в обмен веществ, не зависит от того, попало ли это вещество в организм в чистом виде или же в качестве компонента пищи — белка либо лецитина. Предшественники водорастворимы и легко переходят из крови в ткани путем диффузии или же — в мозг — благодаря системам переноса. Концентрация их в тканях в отличие от концентрации многих лекарств не нарастает при повторном введении. Более существенно, что мозг вынужден как-то приспособливаться к влиянию этих веществ на передачу нервных импульсов; это достигается избирательной реакцией нейронов на избыток предшественника, благодаря ей эффект концентрации предшественника подлежит регуляции.

Чтобы воздействовать на синтез медиаторов, вещества-предшественники нужно принимать в довольно больших количествах; это, собственно, отражает то обстоятельство, что они входят в обычный рацион. Их нормальная концентрация в крови и суточная доза не равны нулю, как в случае лекарственного препарата, впервые назначаемого больному. Поэтому всего удобнее принимать их в составе специальной лечебной пищи, именно для этих целей и приготовленной. Термин «лечебная пища», естественно, не означает, что речь идет о нарушениях питания. Гиперкинез развивается не из-за нехватки лецитина, а шоковое состояние не связано с недостатком тирозина. Вещество-предшественник назначается ради его фармакологического эффекта; точно так же назначали бы в лечебных целях кофе, коньяк, отруби или сливовый сок, если бы они могли служить лекарством. Однако в более широком смысле было бы правильно рассмотреть этот вопрос с точки зрения питания. Улучшится ли здоровье пожилых людей, мозг которых утратил много нейронов, выделяющих зависимые от предшественника медиаторы, если они будут употреблять обычную пищу, но обогащенную тирозином, триптофаном или лецитином? Если да, то следует ли в этом случае считать нормальный, небогатый рацион недопадением? Я ставлю знак вопроса.

Издательство
МИР
предлагает:

МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

Под редакцией У. Ли
В двух книгах
Перевод с английского

Рассматриваются акустические и фонетические методы распознавания речи, применяемые в настоящее время при автоматическом вводе речевой информации в автоматизированных системах проектирования, конструирования и технологической подготовки производства. Значительное внимание уделено коррекции ошибок при распознавании речи и нахождению оптимальных ошибок определения правильности вводимых в ЭВМ слов.

Для системотехников, инженеров — математиков и филологов, занимающихся автоматизацией проектирования и конструирования.

1983, 52 л. Цена 7р. 40к. за комплект

МИКРОКОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ СИСТЕМЫ.

Проектирование
и применения

Под редакцией У. Томпкинса
Перевод с английского

Одна из первых монографий, посвященных проектированию автоматизированных медицинских систем на основе микро-ЭВМ. Рассматриваются принципы создания и эксплуатации таких систем, особое внимание уделяется методам фильтрации биомедицинских сигналов. На многочисленных примерах демонстрируется использование систем в клинических исследованиях. Для разработчиков медицинского оборудования, врачей и биологов.

1983, 37 л. Цена 4р.



Григорианский календарь

Четыреста лет назад папа римский Григорий XIII ввел современный календарь, чтобы исправить накапливающуюся ошибку юлианского календаря и сохранить празднование пасхи весной

ГОРДОН МОЙЕР

В 1582 г. папа римский Григорий XIII ввел календарь, названный его именем; это та система календарного счета дней, которая принята теперь во всем мире. До введения григорианского календаря счет дней в западных странах осуществлялся по юлианскому календарю, введенному Юлием Цезарем. Эта система счета дней использовалась на протяжении более шестнадцати столетий вопреки постепенно накапливающемуся расхождению между средней продолжительностью принятого в ней года — 365,25 суток — и тропическим годом, исчисляемым как средний интервал времени между двумя последовательными видимыми прохождением Солнца через точку весеннего равноденствия. К 1582 г. ошибка юлианской системы достигла приблизительно 11 суток. Этот недостаток вызывал у папы римского немалую озабоченность: если продолжать пользоваться юлианским календарем, то пасху со временем пришлось бы праздновать летом.

Для проведения реформы юлианского календаря папа Григорий создал специальную комиссию с участием астрономов, математиков и священников. Комиссия столкнулась с основной трудностью, неизбежной при построении всякого календаря: совершенно естественно, что любой календарь, предназначенный для повседневного употребления, должен содержать целое число дней — ведь нельзя же, чтобы в конце года оставалась какая-то часть суток, не учтенная календарем. Один из ведущих членов комиссии, иезуит астроном Христоф Клавий, выразил это весьма четко: «Annum civileм necessario constare ex diebus integris» («Гражданский год по необходимости содержит целое число дней.») В этом основном условии заключается причина сложностей составления точного календаря. И именно поэтому создание безупречного календаря, который никогда не погрешит ни на один день, совершенно невозможно.

В принципе григорианский календарь — это всего лишь слегка измененный вариант юлианского. Комиссия постановила, что для возвращения

даты весеннего равноденствия на 21 марта, из 1582 г. будет изъято 10 дней, так как за многие столетия эта дата сдвинулась на 11 марта. Чтобы исключить сдвиг даты равноденствия в дальнейшем, было решено в трех из каждых четырех столетий в вековые годы (оканчивающиеся двумя нулями) — например, в 1700, 1800 и 1900 гг. — дополнительный день високосного года, добавляемый в юлианской системе, выбрасывать. Эта реформа, объявленная папской буллой от 24 февраля 1582 г., вызвала бурю возражений и ожесточенную полемику среди ученых, а профаны спрашивали, будут ли теперь птицы знать, когда им следует улетать на юг для зимовки. Достаточно пролистать солидное издание "Bibliographie Générale de l'Astronomie", выпущенное в 1887 г. Жаном Шарлем Гузо и Альбером Бенуа Ланкастером, чтобы получить представление о чудовищном количестве трактатов в поддержку реформы и против нее.

С ПОРЫ носили как религиозный, так и чисто научный характер. Это был век реформации, и протестантские страны отвергли новый календарь, объявив его попыткой папы вернуть взбунтовавшуюся паству под юрисдикцию Рима. Такое обвинение имело свои основания. Григорий XIII энергично — чтобы не сказать безжалостно — проводил контрреформацию. Он помогал испанскому королю Филиппу II истязать протестантскую Голландию и с ликованием принял голову вождя французских гугенотов после позорной резни в Варфоломеевскую ночь — кровавой бани, которую папа отпраздновал как победу католицизма, приказав выбить медаль для ее увековечения. Григорий, вероятно, счел этот момент наиболее подходящим для того, чтобы навязать христианскому миру календарную реформу, что он и сделал, угрожая отлучением всякому, кто откажется ее принять.

Но борьба против введения нового календаря была не только следствием религиозных распрей той эпохи. Многие ученые понимали необходимость реформы (накапливающаяся ошибка

юлианского календаря замечалась уже в течение столетий), однако они не были уверены, что григорианская система представляет собой значительный шаг вперед по сравнению со «старым стилем». Так, например, знаменитый математик Франсуа Виет, которого нередко называют отцом современной алгебры, осудил эту реформу как простое искажение юлианского календаря.

Ведущие ученые XVI в., и в частности Виет, утверждали, что григорианский календарь астрономически необоснован. Это мнение разделяли два наиболее ожесточенных критика реформы, Микаэль Местлин и Жозеф Жюст Скалигер. Астроном Местлин одним из первых открыто поддержал теорию Коперника; он знаменит тем, что был учителем Иоганна Кеплера в Тюбингене. Скалигер, тоже известный ученый, был необычайно образованным человеком: он свободно владел доброй дюжиной языков, был знатоком античной культуры, историком, филологом и специалистом по хронологии. О нем говорили: «Ума палата, бездонный кладезь познаний». Он стал величайшим врагом Клавия, главного защитника григорианской реформы.

В 1595 г. Скалигер опубликовал комментарий к трактату IV в. о вычислении даты пасхи "Canon Paschalis" Ипполита. В приложении, вдвое превосходившем по объему основной труд, он язвительно критиковал григорианский календарь. Скалигер отстаивал собственный план, который действительно позволил бы создать чуть более точный, хотя и несколько более сложный, календарь. Клавий не замедлил откликнуться на выступление Скалигера. В том же году он опубликовал труд "Iosephi Scaligeri elenchus, et castigatio calendarii Gregogiani", содержащий едкие возражения. В нем за каждым абзацем с изложением критических замечаний Скалигера на пасхальный канон следовал абзац ответов Клавия. Кое-какие замечания Клавия до смешного страстны, но они лишь редко превосходят по неистовству выпады Скалигера. Последний именовал баварца Клавия «толстобрюхим немцем» и «скотиной».

Скалигер выдвинул возражения и

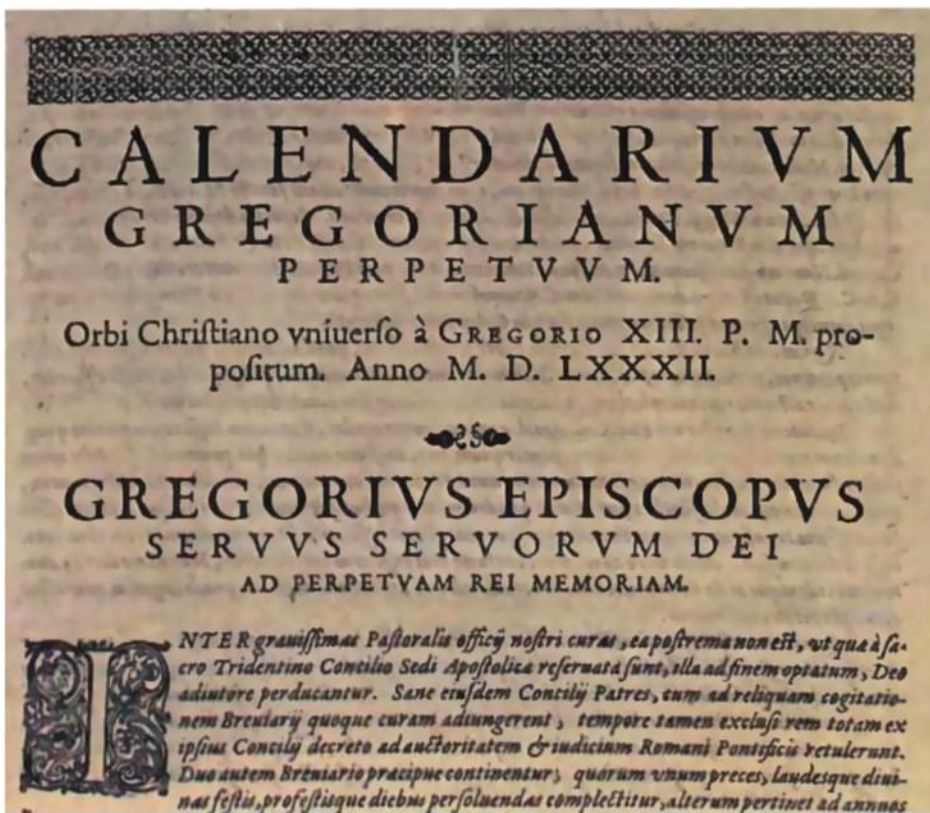


ФРАГМЕНТ КАРТИНЫ с изображением сцены доклада о причинах реформы юлианского календаря. Один из членов комиссии, учрежденной папой римским Григорием XIII в 1576 г. для изучения необходимости этой реформы, иллюстрирует ошибку юлианского календаря в 10 дней, которая, как определили астрономы, накопилась со времени Первого христианского собора в городе Никее в 325 г. Верхняя дуга на чертеже — разделенный на дни отрезок календарного года, а нижняя соответствует отрезку тропического года (измеряемого промежутком времени между последователь-

ными прохождениями центра Солнца через точку весеннего равноденствия). Зодиакальные знаки Весы и Скорпион символизируют месяц октябрь, в котором будет пропущено 10 дней, накопившихся за счет опережения календарем среднего солнечного времени. Слева от этого фрагмента на полной картине изображен сидящий на троне Григорий XIII. Картина написана неизвестным художником в год календарной реформы (1582) по заказу Сципиона Турамини, члена муниципального совета Сиены. Фотография сделана в архиве города Сиены, где эта картина хранится до сих пор.



ПАПА РИМСКИЙ ГРИГОРИЙ XIII увековечен статуей над входом в Палаццо публи- ко города Болоньи. Портал сооружен в XVI веке архитектором Галеаццо Алесси в память избрания Григория, родившегося в Болонье. Он стал папой римским 13 мая 1572 г., а через десять лет провел реформу юлианского календаря, насчитывавше- го к тому времени уже 1600 лет.



ПАПСКАЯ БУЛЛА от 24 февраля 1582 г., предписывавшая всем христианам по всей Европе принять григорианский календарь с 15 октября 1582 г. (или в 1583 г.). Текст буллы приведен в V томе "Opera mathematica" астронома-иезуита Христофа Клавия, который был одним из главных членов папской комиссии, изучавшей календарную реформу, а позже стал ярким защитником этой реформы. На фотографии показана первая страница буллы, как она была воспроизведена в книге Клавия.

против светской, и против церковной стороны календаря. Он утверждал, что таблицы, используемые для вычисления даты пасхи, так называемые эпакты, были ошибочными, а модернизированные правила соблюдения високосных годов недостаточны для того, чтобы постоянно удерживать дату весеннего равноденствия на 21 марта. И действительно, согласно новому календарю, дата равноденствия может колебаться в пределах одного-двух дней, но пока календарь удерживает эту дату на 21 марта и будет ее удерживать еще в продолжении многих столетий.

МЕСТЛИН, как и Скалигер, не одобрил григорианскую систему определения дня пасхи. Никейский собор 325 г. постановил, что весь христианский мир должен праздновать пасху в один и тот же день. Церковь решила, что этим днем должно быть первое воскресенье после четырнадцатого дня от новолуния (что приблизительно соответствует полнолунию), которое падает на момент или на ближайшее время после весеннего равноденствия, приходившегося, как считали в эпоху Никейского собора, на 21 марта. Это неудобное правило применяется и в наши дни для установления даты пасхи и всех переходящих праздников. Вычисление даты пасхи — это, вне всяких сомнений, самая сложная часть календаря. Даже Карл Фридрих Гаусс, в молодости занимавшийся этой проблемой, не сумел разработать полный алгоритм определения даты пасхи.

В каждом данном году пасха может приходиться на любое воскресенье между 22 марта и 25 апреля. Как это ни невероятно, все даты пасхи в том же порядке могут повториться только раз в 5 750 000 лет. Для определения фазы Луны на 1 января каждого года в цикле из 7000 лет используются таблицы эпакт. Поскольку средний промежуток времени между двумя последовательными новолуниями, называемый лунным месяцем, чуть больше, чем 29,53 суток, максимальное число в таблице эпакт равно 30 (29,53, округленное до ближайшего целого числа).

Зная фазу Луны на 1 января, несложно рассчитать даты всех новолуний и полнолуний на весь год. А затем легко можно найти тот четырнадцатый день после новолуния, который приходится на 21 марта или после него. Первое воскресенье после этого четырнадцатого дня и будет пасхой. Однако цикл эпакт лишь приблизительно соответствует истинным или астрономическим лунным месяцам; эпакты могут отклоняться от реальных лунных фаз на целые трое суток, хотя обычное отклонение составляет не больше одного-двух дней. Главное преимущество искусственного лунного цикла — это его простота. Истинное движение Луны слишком сложно, для того чтобы его



ХРИСТОФ КЛАВИЙ, выдающийся математик, запечатлен на гравюре Франциском Вилламоэной в 1606 г., когда Клавию было 69 лет. Справа воспроизведен титульный лист обобща-

можно было отразить в простой и удобной таблице, которую без труда понимали бы священники, обученные «компутусу» (компутус — это правила вычисления даты пасхи, которыми пользовались на протяжении всего средневековья и в эпоху Возрождения).

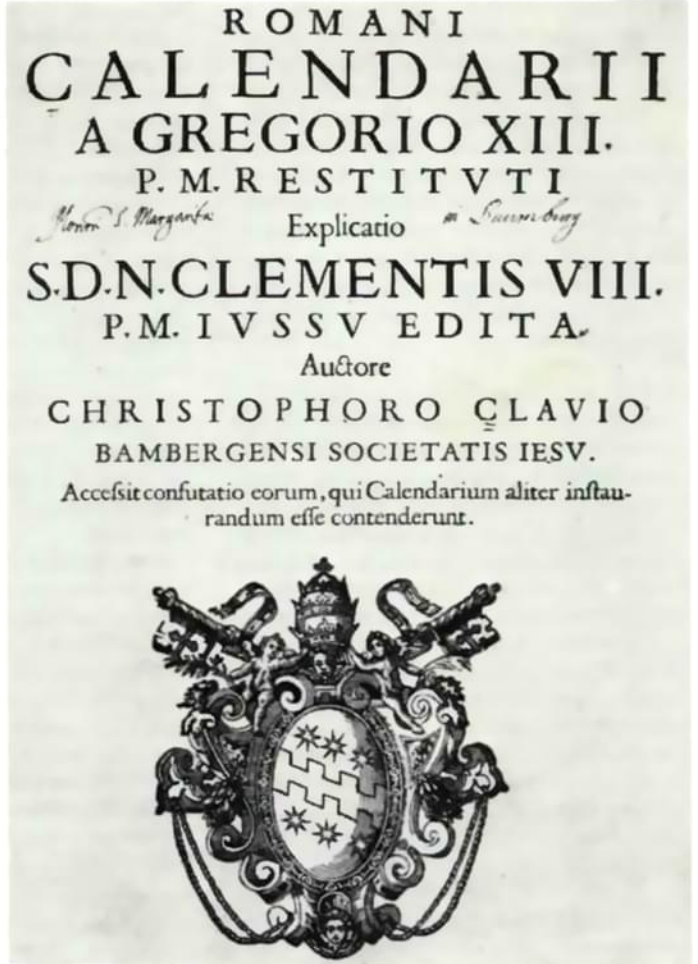
Клавию было вполне удовлетворено таким приближением. Он постоянно отстаивал простоту календаря, подчеркивая, что астрономии может постичь далеко не каждый. Местлин в свою очередь выступал за астрономически точные вычисления даты пасхального полнолуния. Кеплер же в отличие от своего бывшего учителя поддержал достаточно практичный метод Клавию для расчетов лунных фаз, заявляя, что «пасха — это праздник, а не планета».

ИМЕННО неустанная защита григорианского календаря обеспечила Клавию столь почетное место в истории науки, что его именем назван самый большой лунный кратер. В защиту нового календаря Клавию написал пять трактатов. Первый, вышедший в свет в 1588 г., был ответом на критику Местлина. Однако наиболее полный труд Клавию о календаре — это восьмисотстраничный том “Romani

calendarii in Gregorio XIII P.M. restituti explicatio”, впервые опубликованный в 1603 г. В нем он повторил, местами дословно, почти все свои прежние возражения Местлину.

Клемент VIII, ставший римским папой в 1592 г., поручил Клавию объяснить и обосновать новый календарь для всего христианского мира. Результатом папского поручения стал весьма солидный труд — “Explicatio”. Профессор Эдинбургского университета Александер Филип, автор одной из немногих солидных работ о григорианском календаре на английском языке, писал, что Клавию, «словно каракатица», фактически затемнил предмет своих объяснений «океаном чернил, которым он его окружил». Такое критическое замечание нельзя назвать совершенно необоснованным: Клавию действительно был многословен и часто повторялся, но он редко писал непонятно, и другие ученые отмечали доступность его изложения. Пожалуй, он был одним из наиболее популярных ученых-писателей в эпоху позднего Возрождения.

Все трактаты Клавию о григорианском календаре были собраны в V томе его сочинения “Opera mathematica”, опубликованном в 1612 г., в год его



ющего труда Клавию о календаре. Труд этот написан по заказу Клемента VIII, который стал папой римским в 1592 г. — пятым после Григория.

смерти. В этот том включен также текст официального изложения реформы “Kalendarium Gregorianum perpetuum”, составленного календарной комиссией при папе Григории и изданного церковью в 1582 г. Там же приведена папская булла “Inter gravissimas...” («Среди важнейших понтификальских...») от 24 февраля 1582 г., оповещавшая всех владетельных особ христианских стран, что новая система официально вступает в силу 15 октября того же года. Она предписывала передвинуть счет дней на десять суток вперед: «А посему с целью вернуть весеннее равноденствие на его прежнее место, каковое отцы Никейского собора установили на 12-й день перед апрельскими календами (21 марта), мы предписываем и повелеваем касательно месяца октября текущего 1582 г., чтобы десять дней, от третьего дня перед нами (5 октября) до кануна ид (14 октября) включительно, были изъяты»*. При этом Клавию и другие члены комиссии избежали разрыва между дня-

* В римском календаре счет дней велся по числу дней до трех определенных моментов в каждом месяце — календ, нон, ид. — Прим. ред.

ми недели: за четвергом 4 октября, последним днем по юлианскому календарю, непосредственно следовала пятница 15 октября.

В своих возражениях Местлину Клавий объяснял, что в выборе месяца не было ничего таинственного: просто на октябрь приходится меньше всего церковных праздников, а потому пропуск дней в этом месяце был наиболее подходящим для церкви. Он, кроме того, указал, что октябрь — это месяц делового затишья.

ПРОПУСК десяти дней не был астрономической необходимостью. Датой весеннего равноденствия с тем же успехом могло оставаться 11 марта. Проблема заключалась в том, чтобы предотвратить сдвиг любой избранной даты в дальнейшем. Каким же образом план, осуществленный папой Григорием, удерживал день весеннего равноденствия на 21 марта или в непосредственной близости к этой дате? Именно этот главный вопрос и следует рассмотреть в связи с реформой. Хотя основная задача комиссии, созданной папой Григорием, сводилась к восстановлению прежних сроков пасхи, цель эта не могла быть достигнута без стабилизации даты равноденствия.

Не исключено, что в 1582 г. не стали бы проводить никакой реформы, если

бы речь шла не о праздновании пасхи. Ошибка приблизительно в 11 дней, накопившаяся в юлианском календаре к концу XVI века со времени Никейского собора, была еще не столь велика, чтобы можно было заметить несовпадение календарных дат с временами года. Собственно, если бы даже юлианским календарем пользовались до сих пор, то ошибка составила бы сейчас всего около двух недель. По сроку такой сдвиг был бы не столь значительным, чтобы в северном полушарии можно было заметить несовпадение календарных дат с привычной сменой весны на лето. Однако такая ошибка сильно сказывалась в отношении пасхи, поскольку день ее празднования зависит от фиксированной даты весеннего равноденствия.

Постоянное отставание даты равноденствия происходило почти исключительно по причине несовпадения длительности года в юлианском календаре и тропического года. По совету александрийского астронома Созигена Юлий Цезарь при введении календаря в 45 г. до н.э. установил правило, согласно которому каждый обычный год равнялся 365 дням, а каждый год, кратный четырем, состоял из 366 дней. Дополнительный день первоначально вводился перед днем 25 февраля, который именовался *ante diem sexto Kalendas*

Martius — «шестой день перед мартовскими календами». Дополнительный день поэтому был назван *bissextus* (второй-шестой) *Kalendas Martius*, и от этого «биссексто» произошел (с обычным позднегреческим переходом «б» — «в») русский термин «високосный». Григорианская реформа перенесла дополнительный день на конец февраля.

В эпоху установления юлианского календаря длительность тропического года еще не была точно определена, по крайней мере западными астрономами. При введении, согласно предложению Созигена, дополнительного дня раз в четыре года средняя продолжительность календарного года составляла 365,2425 суток. Однако в 45 г. до н.э. тропический год длился примерно 365,24232 суток, т.е. он был приблизительно на 11 минут 4 секунды короче юлианского года. Это первоначально незначительное расхождение постепенно накапливалось, и разница достигла уже не минут, а дней. Именно тогда ошибка начала проявляться в постепенном отставании календарных дат равноденствий и солнцестояний.

Накопление ошибки юлианского календаря со временем ускорялось из-за уменьшения длины тропического года — явления, которое оставалось совершенно неизвестно ученым, даже астрономам, рассматривавшим техни-



*Luigi Giglio in latino Lilius
Celebre reformatore
del Calendario Romano.
Nacque e morì in Ciro
nella Calabria nel XVI. Secolo.*

СОЗДАТЕЛЕМ григорианского календаря был Луиджи Лилио (латинизированная форма имени — Алоизий Лилий); его портрет на рисунке слева. Он умер в 1576 г., но его план реформы календаря спас от забвения и представил на рассмотрение папы Григория XIII брат Алоизия, Антоний. Его план был принят с небольшими изменениями, которые внес Христоф Клавий. Справа — первая страница книги, в которой Лилий кратко изложил план реформы календаря. Книга

PERITIS MATHEMATICIS



VM in sacro cōcilio Tridentino Breuiarij Misfalisque emendatio Romano Pontifici referuata esset; idque felicitis recordationis Pius V. quanta maxima potuit diligentia superioribus annis perficiendum curasset, atq; edidisset: nō tamen id opus uisum est suis omnibus numeris absolutum atque perfectum, nisi restitutio quoque anni & ecclesiastici Calendarij accederet. In eam igitur curā dum Gregorius XIII Pont. Max. toto animo & cogitatione incumbit, allatus est illi liber ab Aloisio Lilio cōscriptus, qui neq; incommodam neque difficilem uiam ac rationem eius rei perficiendae proponere uidebatur. Verum cū ea calendarij emendatio multas ac magnas difficultates afferat, & iam diu a bonis uiris omnibus estlagitata, a doctissimis mathematicis saepe deliberata, & multū agitata, absolui tamen adhuc, & ad exitum perducī minime potuerit, uisum est prudentissimo Pontifici de ea re peritissimos quosque huius scientiae uiros consulendos esse, ut res quae omnium communis est, communi etiam omnium consilio perficiatur. Cogitabat itaque eum librum cunctis Christianis Principibus mittere, ut ipsi adhibitis peritioribus mathematicis, illum aut sua sententia comprobarent, aut si quid deesse uideretur, id amne

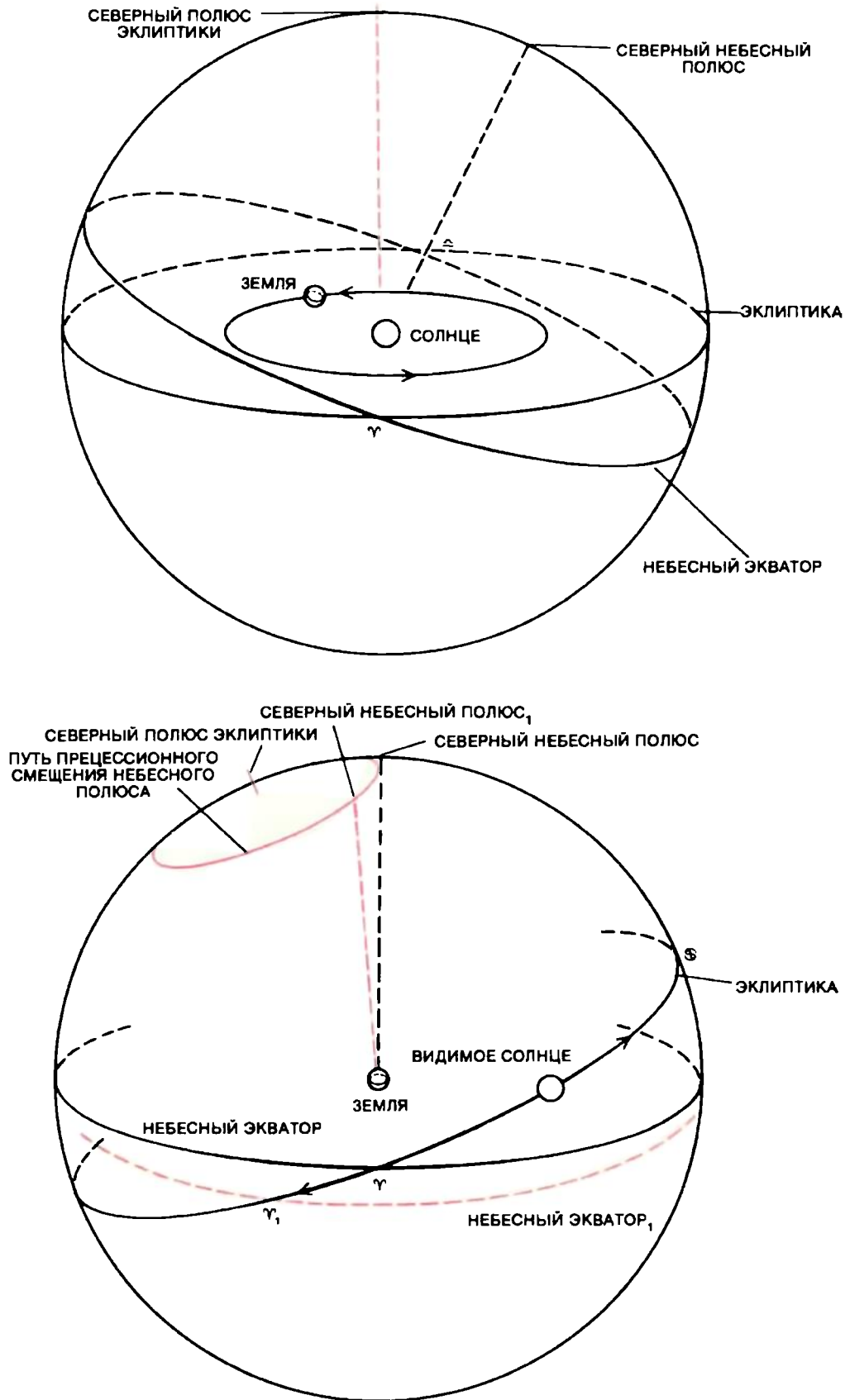
была найдена автором настоящей статьи в Центральной национальной библиотеке во Флоренции. В каталоге она числится как книга неизвестного автора, хотя на этой странице указано: «...эта книга, написанная Алоизием Лилием...». На миниатюре в заглавной букве «С» изображен папа римский, возглавляющий заседание членов его комиссии по календарной реформе.

ческие аспекты этого календаря. Со-кращение тропического года происходит в геометрической прогрессии, что необходимо учитывать при определении точности всякого солнечного календаря. Если бы исходная разница между юлианским и средним солнечным годом, составлявшая 11 минут 4 секунды, оставалась неизменной (то есть если бы календарь постоянно сохранял это ежегодное превышение по сравнению с солнечным временем), ошибка достигла бы величины в одни средние солнечные сутки чуть больше, чем за 130 лет. Сдвиг проявился бы в том, что равноденствие произошло бы по календарю на один день раньше, чем за 130 лет до этого. Однако на самом деле отставание календарных дат равноденствий и солнцестояний происходило быстрее. Ко времени григорианской реформы ошибка календаря по сравнению со средним солнечным временем нарастала со скоростью одни сутки за каждые 128,5 лет.

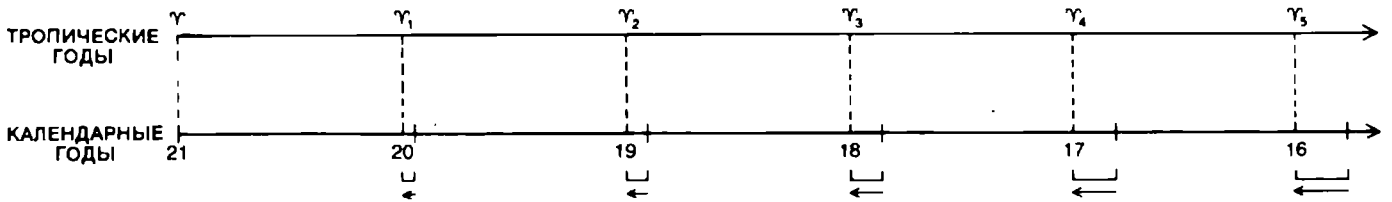
Уменьшение длины тропического года постепенно становится все более заметным. Это одна из причин, почему нельзя создать безупречный календарь. Но главная причина, как указывал Клавий, заключается в том, что календарь, предназначенный для повседневного пользования, должен содержать целое число дней, в то время как тропический год имеет еще и дробную часть суток. Дело сводится к тривиальной арифметической проблеме: дробную часть нельзя выразить в целых числах. Солнечный календарь может соответствовать тропическому году лишь приблизительно; дробную часть суток можно учесть только путем поправок, т.е. периодически ввода в календарь дополнительные високосные дни. Чем точнее такие вставки будут учитывать дробную часть тропического года, тем совершеннее будет календарь с точки зрения стабилизации даты весеннего равноденствия в течение длительного периода.

КАЛЕНДАРНЫЕ преобразования, предпринятые папой Григорием XIII, принципиально не изменяют юлианскую систему. В то же время исправленный календарь замедляет смещение даты равноденствия и дает ошибку на одни сутки лишь более чем за 2000 лет*. Основные положения григорианского гражданского календаря были разработаны не Клавием и не кем-либо из членов специальной комиссии, а преподавателем медицины в Перуджийском университете, которому не довелось дожить до того времени, когда его творение стало законом. Зва-

*Средняя длина года в григорианском календаре превосходит продолжительность тропического всего на 26 секунд, что приводит к ошибке в одни сутки лишь за 3280 лет. — *Прим. ред.*



ТРОПИЧЕСКИЙ ГОД — это средний промежуток времени между двумя последовательными прохождениями центра Солнца через точку весеннего равноденствия (вверху). Точка весеннего равноденствия (γ) — это точка пересечения эклиптики с небесным экватором. Находящемуся на Земле наблюдателю кажется, что Солнце обращается вокруг Земли (внизу). В момент весеннего равноденствия Солнце движется вдоль эклиптики к точке летнего солнцестояния (ζ), в то время как точка весеннего равноденствия сдвигается в обратном направлении. По истечении года Солнце вновь достигает точки весеннего равноденствия в ее новом смещенном положении (γ_1), еще не завершив полного круга. Поскольку приливное трение постепенно замедляет вращение Земли, это тоже увеличивает прецессию равноденствий. В результате длина тропического года со временем уменьшается. Длина среднего календарного года составляет 365,2425 суток.



ОТСТАВАНИЕ ДАТЫ весеннего равноденствия объясняется тем, что средняя длина календарного года больше длины тропического года. На графике изображено несколько весенних равноденствий. Первое из отмеченных равноденствий приходится на 21 марта, но с течением времени расхож-

дение между календарным и тропическим годом проявляется в отставании, отмеченном скобками. Для упрощения постепенное уменьшение длины тропического года не учитывается.

ли его Луиджи Лилио (нередко пишут «Джилля»), или — в латинизированной форме — Алоизий Лилий. Клавий называет его *primus auctor* нового календаря. До того как этот календарь стал повсюду называться «григорианским», его нередко именовали «лилианским». Лилий не только разработал для комиссии новую систему поправок, но и создал таблицу эпакт, которую Клавий позже модифицировал, чтобы она лучше соответствовала новым правилам добавления високосных дней.

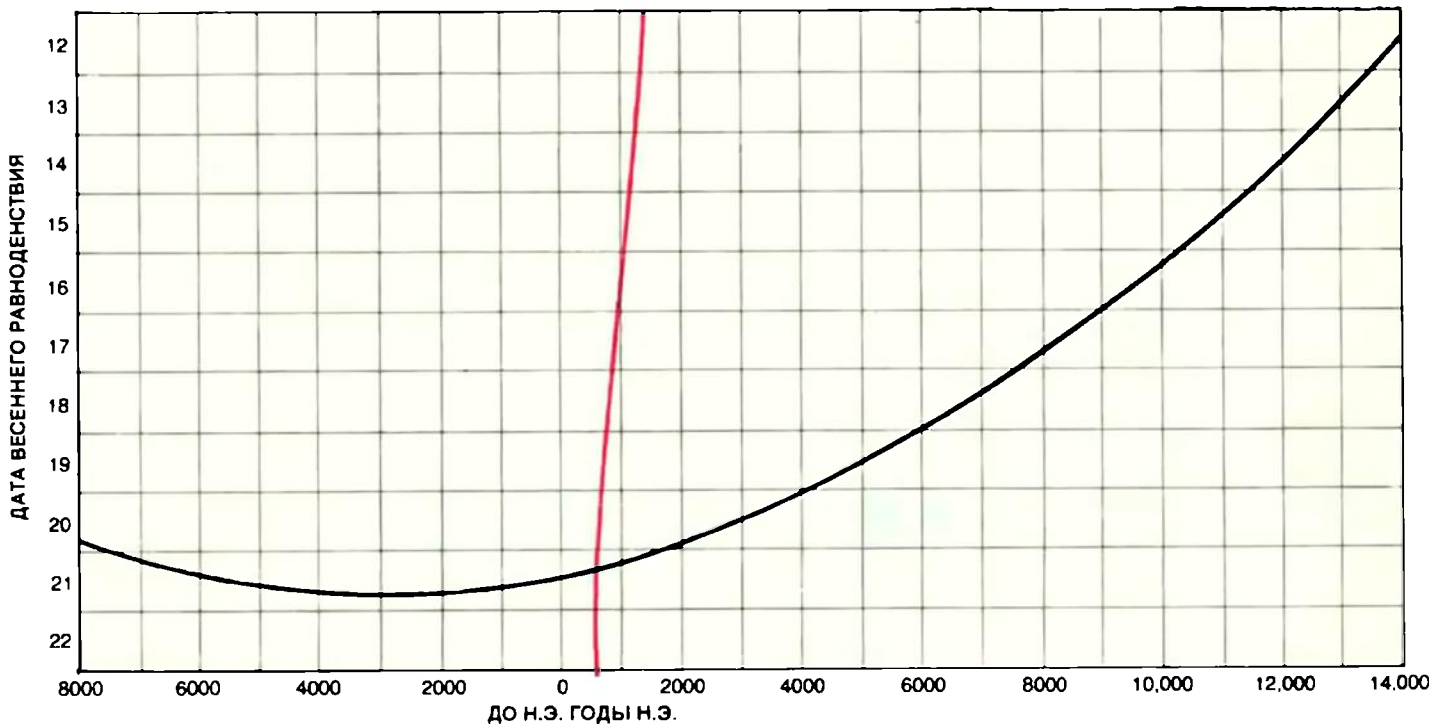
Именно Лилий предложил изъять из календаря 10 дней — либо сразу, либо начиная с 1584 г. в течение 40 лет не вводить дополнительные (високосные) дни, которые при обычных условиях должны были бы прибавляться к каждому четвертому году в течение этого периода. Выбор между этими двумя возможностями он предоставил комиссии. По-видимому, решение перевинуть счет дней в календаре на десять дней сразу в месяце октябре принадлежит Клавию.

Около 10 лет потратил Лилий на

тщательную разработку своей реформы. Большую часть его усилий заняло создание метода удобного и достаточно точного вычисления даты пасхи. Гораздо легче оказалось создать систему поправок, которая давала бы лучшее совпадение с длиной тропического года. Уже после смерти Луиджи в 1576 г. его брат, Антоний Лилий, представил папе Григорию рукопись его "*Compendium novae rationis restituendi kalendarium*" («Краткого руководства нового плана восстановления календаря»), исторически наиболее важного из всех документов, связанных с календарем. Рукопись эта была затем разослана для ознакомления наиболее именитым духовным лицам и ученым разных стран. Труд Лилия был высоко оценен за его точность и простоту, и поэтому из множества предложенных проектов именно ему было отдано предпочтение.

В заметке, опубликованной в научном журнале "*Journal for the History of Astronomy*" в 1974 г., Н. Свердлоу, преподаватель Чикагского университе-

та, писал, что трактат Лилия, по-видимому, утрачен, и сделал оговорку: «Не исключено, однако, что где-то хранится еще не открытая рукопись "Краткого руководства". Недавно Свердлоу сообщил мне, что, по мнению сотрудника Нью-Йоркского политехнического института Т. Сеттла, печатный экземпляр этого документа, по-видимому, имеется в архивах Центральной национальной библиотеки во Флоренции. И действительно, один экземпляр его сохранился в этой библиотеке; в каталоге он числился как документ неизвестного автора. Но на первой странице небольшого томика Лилий прямо говорит о своем авторстве. Убедившись, что книга во Флоренции действительно есть, я стал разыскивать ее в других итальянских городах. Этот редчайший трактат, местонахождение которого никто из ученых почему-то никогда не указывал, нашелся также в архивах сиенской Общественной библиотеки дельи Интронати и в библиотеке Ватикана. Экземпляры во всех этих библиотеках были пере-



ЮЛИАНСКИЙ И ГРИГОРИАНСКИЙ КАЛЕНДАРИ сравниваются по графикам скорости смещения даты весеннего равноденствия. В юлианском календаре (цветная линия) смещение происходит очень быстро. В григорианском календа-

ре (черная линия) оно гораздо медленнее, так как этот календарь точнее совпадает с тропическим годом. Тропический год совпадал с григорианским примерно в 3000 г. до н.э. С тех пор смещение ускорилось.

плетены вместе с другими отдельно публиковавшимися работами о календаре, авторами которых были современники Лилия и, наиболее известный среди них, Алессандро Пикколомини.

Правило введения дополнительных дней, предложенное Лилием в «Кратком руководстве», было несложным: они не должны вводиться в конце тех веков, номер которых не кратен четырем. Таким образом, система введения поправок в григорианском календаре отличается от системы, принятой в юлианском календаре, тем, что вековые (кратные 100) годы, такие, как 1700, 1800 и 1900, которые в юлианском календаре считались високосными, стали обычными годами (дополнительный день в эти годы не вводится!). В григорианском календаре число дополнительно вводимых дней меньше и равно 97 вместо 100 на 400 лет, как это было в юлианском календаре.

Изменение это невелико, но существенно. Средняя продолжительность года при этом становится равной 365,2425 суток, что более точно соответствует длине тропического года. В 1582 г. длина тропического года составляла приблизительно 365,24222 суток и отличалась от григорианского календарного года немногим больше чем на 24 секунды. Если бы сама длина тропического года постепенно не уменьшалась, календарь, составленный по плану Лилия, удерживал бы дату весеннего равноденствия на 21 марта или в непосредственной близости от этой даты на протяжении более 3550 лет.

Сам Клавий вычислил, что ошибка григорианского календаря должна достигнуть одних суток в 5084 г. С учетом уменьшения длины тропического года, которое было совершенно неизвестно астрономам XVI века, ошибка календаря будет оставаться в пределах одних средних солнечных суток более короткое время, примерно 2417 лет, или до 4317 г. (При экстраполяции в качестве исходной величины была принята длительность тропического года в 1900 г., которая, по расчету американского астронома Саймона Ньюкомба, составляет 365,24219879 средних солнечных суток).

Как получил Лилий величину 365,2425 суток, остается загадкой. «Краткое руководство», к сожалению, не проливает никакого света на этот вопрос. Наиболее надежные цифры длины тропического года, которые были известны Лилию, приводились в «Alphonsine Tables» 1252 г., в труде Коперника «Об обращениях небесных сфер» 1543 г. и в «Prutenic Tables» 1551 г. Во всех этих источниках приводится величина около 365 суток 5 часов 49 минут 16 секунд с расхождением менее чем на одну секунду и все приведенные данные примерно на 4 секунды превышают григорианский год. Ни

один из этих вариантов не будет близок к среднему календарному году с добавлением 97 дней за 400 лет. Однако Свездлоу заметил, что все три величины, выраженные в шестидесятеричных дробях — в той форме, в какой они могли бы быть взяты из таблицы усредненного движения Солнца, — совпадают во втором шестидесятеричном разряде. В шестидесятеричных дробях эта величина равна 365; 14,33 (33 — это и есть второй разряд). Переведя шестидесятеричные дроби в простые, получаем 365 и 97/400, или же 365,2425 суток. Эта гипотеза объясняет длину григорианского года не хуже всякой другой.

Лилий не первый предложил вводить 97 дополнительных дней за 400 лет. Тот же план выдвинул в 1560 г. веронский астроном Петрус Питат. Неизвестно, заимствовал ли Лилий свою систему у Питата, но такая вставка достаточно проста, так что к ней можно было прийти независимо.

Система Лилия удерживает дату весеннего равноденствия в довольно узких пределах. Дата эта может приходиться на 21 марта, на 20 марта и даже на 19 марта, хотя на 19 марта она может падать только вблизи границы столетий. Вопреки тому что говорится во многих учебниках по астрономии, в результате применения григорианских правил отсчета високосных годов весеннее равноденствие чаще приходится на 20, а не на 21 марта.

При григорианской системе введения дополнительных дней все даты календаря повторяются в цикле, состоящем точно из 146 097 дней, что соответствует 400 григорианским годам. Иначе говоря, все даты 1583 г. будут повторены в 1983 г.; то же верно для 1584 и 1984 гг., и так далее. Первый свой большой цикл григорианский календарь завершил 15 октября 1982 г.

Лилий и Клавий преуспели там, где другие потерпели неудачу. Григорианский календарь представляет собой весьма удовлетворительный компромисс между необходимой точностью и крайне желательной простотой. Более 800 лет попытки усовершенствовать юлианский календарь предпринимали такие одаренные люди, как Роджер Бэкон, Николай Кузанский, Региомонтан, Иоганнес Шенер и Пауль из Мидделбурга. Все они отмечали возрастающее несоответствие юлианского календаря с движением Земли относительно Солнца, но по тем или иным причинам — из-за политических потрясений, равнодушия властей — в этом отношении ничего не было сделано, пока в 1572 г. бывший профессор канонического права Болонского университета по имени Уго Буонкампањи не стал папой римским Григорием XIII.

Издательство МИР предлагает:

Л. Маргелис РОЛЬ СИМБИОЗА В ЭВОЛЮЦИИ КЛЕТКИ

Перевод с английского

Монография известного американского специалиста по происхождению жизни посвящена интересной проблеме — происхождению клеток эукариот в результате симбиоза. В монографии детально излагается суть теории симбиоза и те фактические данные, на которых она основана, геологические и физические предпосылки возникновения жизни, ранние этапы формирования обмена веществ, история возникновения различных клеточных органелл.

Предназначена для эволюционистов, цитологов, молекулярных биологов, зоологов, ботаников, палеонтологов.

1983, 40 л. Цена 4р. 30к.

Дж. Симпсон ВЕЛИКОЛЕПНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ История млекопитающих Южной Америки

Перевод с английского

Книга известного американского ученого посвящена эволюции млекопитающих Южной Америки, развивавшихся в условиях изоляции на протяжении большей части кайнозойской эры. Рассмотрены общезволюционные аспекты — влияние изоляции, факторы биоценотических сукцессий, влияние животных-иммигрантов на перестройку флоры и фауны континента, явления параллельного и конвергентного развития.

Предназначена для зоологов, палеонтологов, биогеографов, а также биологов других специальностей.

1983, 16 л. Цена 1р. 50к.



Вокруг кубика Рубика: сферы, пирамиды, додекаэдры и бог знает что еще

ДУГЛАС Р.ХОФШТАДТЕР

"...О cursed spite,
that ever I was born to set it right!"*

В НАШИ ДНИ достаточно одного слова "кубик", ни к чему говорить "кубик Рубика" — и так ясно, что речь идет именно об этой головоломке головоломок. Правда, у меня есть и кубик в форме сферы, который я иногда называю "круглый кубик", а иногда "вон тот кубик" (рис. 1). Он должным образом разрезан на слои, имеет вращающиеся "границы" и внутри устроен так же, как Кубик**. Есть у меня и некий предмет — с виду куб, только с необычными диагональными разрезами; он способен дьявольски перекашиваться и на самом деле представляет собой совсем не Кубик (рис. 2). Мой круглый кубик — это, конечно, Кубик, а кубический предмет — самозванец, нарядившийся Кубиком.

Разнообразные кубики (будем назы-

вать так все головоломки типа Кубика с перемещающимися при вращении частями) заполнили весь свет, что поистине удивительно. Начало этому положил венгр Эрне Рубик (и японец Терутоя Исиге*, которого как-то обошла слава), а затем игра распространилась с быстротой пожара в прерии. Внезапно повсюду завертелись разные Кубики (то есть кубики Рубика $3 \times 3 \times 3$): большие, маленькие, совсем крошечные, привлекательно оформленные и т.д.

Первые существенно иные кубики, которые попались мне на глаза, прибыли из Японии. Это были кубики $2 \times 2 \times 2$. Один был магнитный и состоял из восьми металлических кубиков**, скользящих по центральной магнитной сфере. Другой был пластмассовый и имел сложный механизм, подобный конструкции $3 \times 3 \times 3$ Рубика — Исиге, но не совсем такой же. Он и не мог быть таким же, поскольку вся конструкция кубика $3 \times 3 \times 3$ держится

на шести центрах граней*, а в кубике $2 \times 2 \times 2$ их просто нет! Позже я выяснил, что механизм кубика $2 \times 2 \times 2$ также придуман Рубиком и основан на механизме $3 \times 3 \times 3$. Кубик $2 \times 2 \times 2$ (см. рис. 3) — совершенно замечательная игрушка, о нем никак нельзя не рассказать, потому что в чем-то кубик $2 \times 2 \times 2$ даже занимательнее, чем кубик $3 \times 3 \times 3$. Этот кубик (Двубик?) представляется мне идеальным для новичков как первая ступенька в овладении секретами кубикования, потому что решить его — все равно, что восстановить только углы кубика $3 \times 3 \times 3$.

Правду сказать, самым первым из новых кубиков, с которыми я познакомился, был не кубик $2 \times 2 \times 2$, а Волшебное домино — другое изобретение Рубика. Домино — это как бы два из трех слоев кубика $3 \times 3 \times 3$ (см. рис. 4). Оба его квадратных слоя — верхний и нижний — могут поворачиваться на 90° , а четыре прямоугольных боковых слоя должны поворачиваться только на 180° , иначе будут невозможны дальнейшие ходы. Была еще и Восьмиугольная призма — кубик со спиленными четырьмя ребрами, приобретающая после закручивания довольно причудливую форму (см. рис. 5 и 6). В этом варианте часть информации теряется (а именно, нельзя сказать, как повернуты спиленные кубички), из-за этого решение Призмы несколько отличается от решения полного Кубика. В полном Кубике ребра могут переворачиваться в своих гнездах (на 180°) только попарно. Для Призмы это тоже верно, но, поскольку нельзя узнать, перевернут или нет спиленный реберный кубичек, у вас может получиться как будто бы совсем правильный кубик, только у него окажется перевернуто ровно одно ребро. Такое может сбить с толку человека, привыкшего к полному Кубику.

* "... — и скверней всего, что я рожден восстановить его!"

У. Шекспир. Гамлет. — Полн. собр. соч. в 8-ми т. — М.: Искусство, 1958 — 1960, т. 6, с. 40. — Прим. ред.

**Здесь и далее Кубик (с большой буквы) — это кубик Рубика $3 \times 3 \times 3$. — Прим. ред.

*Т. Исиге изобрел Волшебный кубик независимо от Э. Рубика и почти одновременно с ним. — Прим. ред.

**В русском языке за головоломкой Рубика уже закрепилось уменьшительное название "кубик" (а не "куб"), поэтому составляющие ее маленькие кубики приходится называть еще более уменьшительно — "кубички"; в оригинале — cubies или cubelets. — Прим. перев.



Рис. 1. Кубик.



Рис. 2. Не кубик.

ЧЕРЕЗ некоторое время я познакомился еще с одним кубиком. Я имею в виду изобретение молодого немца Керстена Майера, в то время аспиранта Станфордского университета, где он занимался исследованием операций. Майер сделал действующую модель Волшебной пирамиды (только у этой пирамиды основание не квадратное, как у египетских пирамид: Волшебная пирамида — правильный тетраэдр, все четыре грани которого равносто-

*Кубички, образующие кубик Рубика, делятся на три типа: 8 угловых, 12 реберных и 6 центральных (последние помещаются в центрах граней). Для краткости автор статьи часто называет их просто углами, ребрами, центрами граней. Аналогично именуется и элементы, из которых составляются другие рассматриваемые в статье головоломки. Мы сохраняем эту терминологию везде, где это не может вызвать недоразумений. — Прим. перев.

ронние треугольники). Правда, игрушка Майера была сделана так грубо, что, когда ее вертели, она частенько рассыпалась в руках. Тем не менее она была действительно новым этапом, и стоило придать ей товарный вид. Впоследствии я узнал, что примерно в то же время с такой же идеей выступил математик из Университета шт. Индиана Бен Хэлперн. И Майер и Хэлперн обобщили принцип конструкции Рубика — Исиге $3 \times 3 \times 3$ и придумали, как сделать аналогичную головоломку-додекаэдр. Хэлперн собрал действующие модели пирамиды и додекаэдра (см. рис. 7 и 8).

Но оказывается, приоритет принадлежит Уве Мефферту (тоже немцу по происхождению); правда, он шел по другому пути. В 1972 г. Мефферт, заинтересовавшись пирамидами, напал на идею пирамиды с вращающимися гранями и изготовил несколько штук (см. рис. 9). Он нашел, что игра с пирамидами успокаивает и способствует размышлениям, но вскоре забросил это занятие. И вдруг появился кубик Рубика. Узнав о феноменальном успехе Кубика, Мефферт понял, что и его давнее изобретение могло бы принести доход. Он поторопился запатентовать свою конструкцию и подготовил все необходимое для ее массового производства и продажи. В результате — всемирный успех Пираминкса*, пирамидального кубика. Принцип действия Пираминкса совсем не такой, как в пирамиде Майера — Хэлперна.

Мефферт серьезно увлекся производством и сбытом своего Пираминкса. Разъезжая по всему свету, он установил контакты с другими изобретателями и решил, что неплохо было бы организовать торговлю разными игрушками-кубиками в международном масштабе. Мефферт связался с Майером и Хэлперном, так что и их пирамида вскоре станет доступной любителям головоломок. Она будет называться Волшебный тетраэдр-пираминкс. Появится также и додекаэдр — под названием Волшебный додекаэдр-пираминкс. (Я бы назвал его Королевским.) Мефферта интересуют любые идеи новых головоломок. Он хочет также организовать Клуб любителей головоломок: его члены ежегодно вносили бы определенную сумму и получали взамен по меньшей мере шесть новых головоломок в год из числа особо сложных или известных только посвященным кубиков, которые бы изготовлялись в ограниченном количестве.

Рональд Тернер-Смит, коллега Мефферта по математическому факультету Китайского университета в Гонконге, написал чудесную маленькую книжку о

*Это название получилось из двух слов: pyramid — пирамида и pinx — шалунья. — Прим.перев.

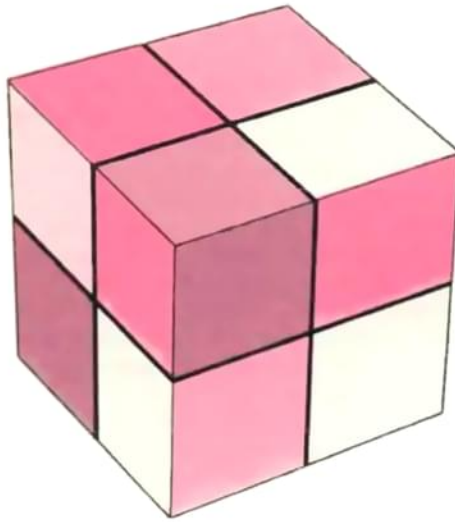


Рис. 3. Кубик $2 \times 2 \times 2$.



Рис. 4. Волшебное домино.



Рис. 5. Восьмиугольная призма в начальном состоянии.

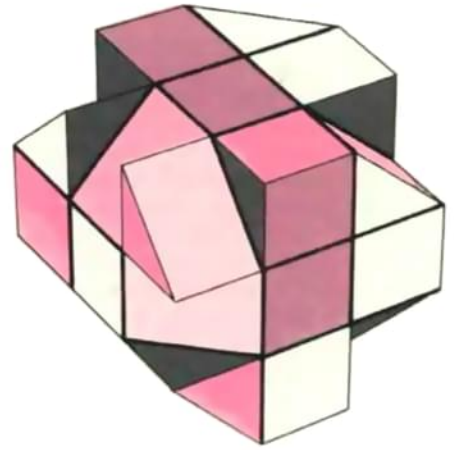


Рис. 6. Восьмиугольная призма в запутанном состоянии.

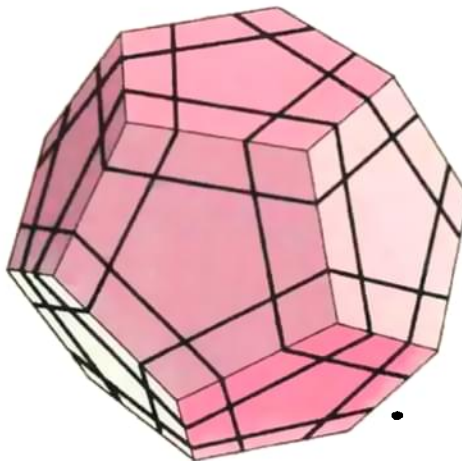


Рис. 7. Волшебный додекаэдр-пираминкс.

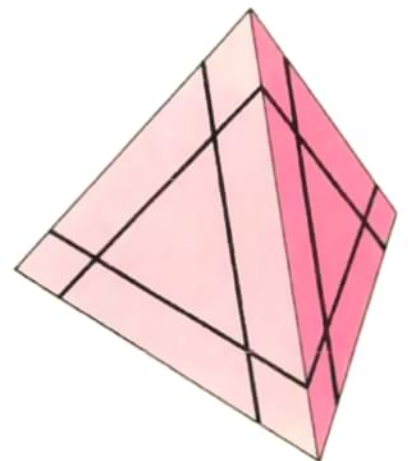


Рис. 8. Волшебный тетраэдр-пираминкс.

Пираминкс — «Удивительный Пираминкс», в которой очень живо рассказывает о его необыкновенных свойствах и связанных с ними математических закономерностях. Тернер-Смит сделал для Пираминкса то же, что Дэвид Сингмастер сделал для Кубика, написав «Заметки о Волшебном кубике Рубика»*. (Кстати, Сингмастер остается признанным авторитетом в кубиковедении. Сейчас он издает журнал с забавным названием «Кубический циркуляр». Должен также упомянуть, что этим летом в Венгрии начнет выходить журнал «Rubik's».) Как и Сингмастер, Тернер-Смит вводит специальную нотацию и использует ее для изложения некоторых связанных с Пираминксом сведений из теории групп. Это позволяет читателям составить более глубокое представление о предмете, чем может дать чисто механическое решение головоломки.

ИНТЕРЕСНО, что есть два разных способа обращаться с Пираминксом и описывать, как он действует. Можно вращать либо грань, либо малую пирамиду. Эти два способа эквивалентны, но взаимно дополняют друг друга, так как грань (то есть все примыкающие к грани пирамиды элементы Пираминкса) и противоположащая малая пирамида вместе составляют целую пирамиду. Тернер-Смит рассматривает малые пирамиды как подвижные, а грани как покоящиеся. Я сначала приму эту точку зрения, а затем вернусь к дополнительной. Итак, давайте введем обозначения для четырех возможных ходов (см. рис. 10). При каждом ходе вращается одна малая пирамида — верхняя (*B*), задняя (*Z*), левая (*L*) или правая (*R*). Буквы *B*, *Z*, *L* и *R* означают поворот на 120° по часовой стрелке, а *B'*, *Z'*, *L'* и *R'* — на 120° против часовой стрелки (если смотреть на вращающуюся вер-

шину вдоль оси вращения*). Заметим, что при любом ходе все вершинные пирамидки (верхушки) остаются на своих местах (хотя и подкручиваются**). Поэтому их можно принять за неподвижные точки отсчета аналогично шести центрам граней в случае Кубика. В самом деле, начиная решать Пираминкс, верхушки можно сразу подкрутить так, чтобы согласовать их цвета, тогда в дальнейшем они для каждой грани будут указывать нужный цвет. Таким образом, четыре верхушки можно считать либо полезными указателями, либо, если угодно, просто декоративными элементами.

Элементы Кубика, меняющие свое расположение, мы называем кубичками. Что им соответствует в Пираминксе? Безусловно, не просто маленькие пирамидки. Так же, как в Кубике, в Пираминксе есть элементы трех типов: реберные блоки, средние блоки и вышеупомянутые верхушки (см. рис. 12 — 15). Легко видеть, что при каждой вершине имеется средний блок с тремя наружными треугольниками разных цветов — тех же, что и у насаживной на него верхушки. Как и вер-

*Вообще, x' здесь и далее означает ход, обратный к x . — *Прим. перев.*

**Сколько-нибудь устоявшейся русской терминологии для кубика Рубика пока что нет. Поясняю термины, которые я употребляю. Всякий кубичек может находиться на одном и том же месте в разных положениях (*ориентациях*). Для реберного кубичка таких положений два (они отличаются поворотом на 180° около середины ребра), для углового — три (они отличаются поворотами на $\pm 120^\circ$ около соответствующей вершины). Переход от одного положения к другому мы называем *поворотом* в случае ребер и *подкруткой* в случае углов. *Перевернутое ребро* — это реберный кубичек, находящийся на правильном месте, но с неправильной ориентацией. Наконец, преобразование, при котором ровно два кубичка «меняются квартирами», будем называть *обменом*. Эти же термины используются для Пираминкса и для других головоломок, о которых говорится в статье. — *Прим. перев.*

хушка, средний блок не покидает своего места, а только подкручивается. Поэтому верхушки можно считать тривиально разрешимыми элементами Пираминкса, а средние блоки — легко разрешимыми.

Теперь остается шесть реберных двухцветных блоков, которые могут менять местоположение и переворачиваться совсем так же, как ребра Кубика. Собственно говоря, ограничения на перевороты и обмены реберных блоков абсолютно аналогичны тем, которые касаются ребер Кубика: реберные блоки могут переворачиваться на своих местах только парами, кроме того, разрешаются только их четные перестановки — то есть перестановки, при которых происходит четное число обменов.

Это позволяет быстро сосчитать число способов распределения реберных блоков по Пираминксу. Без учета ограничений количество их расстановок по ребрам равно $6!$, или 720: первый блок может попасть в одно из шести гнезд, второй — в одно из пяти и т.д. Однако условие четности перестановки уменьшает это количество вдвое, и получается 360. Далее, реберный блок, свободный от ограничений, может сидеть в данном гнезде в двух положениях, что дает для шести блоков 2^6 , или 64 разных варианта, но мы снова должны разделить результат на два из-за ограничения на перевороты. В итоге получаем 32 различных набора ориентаций ребер. Перемножив 360 и 32, находим, что возможно 11 520 настоящих различных состояний Пираминкса. Конечно, если вам захочется принять в расчет средние блоки и верхушки, то надо учесть, что существует 3^4 , или 81, способов их подкрутить, причем без всяких ограничений, так что вы можете раздуть общее число состояний до 75 582 720. Пожалуй, разумнее всего не учитывать ориентацию вершек, но учитывать средние блоки. Тогда мы имеем $81 \times 11 520$, или 933 120, нетривиально различных состояний Пираминкса.

*Д. Сингмастер — автор первой книги о кубике Рубика и известнейший его популяризатор. — *Прим. перев.*

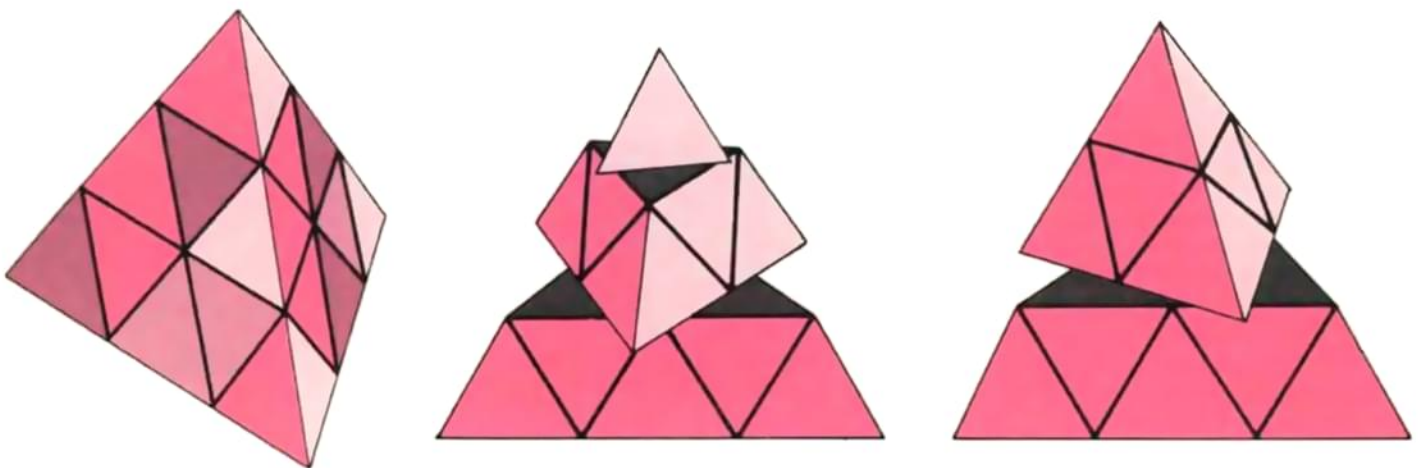


Рис. 9. Пираминкс и как он вертится.

КРАТЧАЙШИЙ из известных сейчас алгоритмов решения Пираминкса нашли с помощью ЭВМ: он требует не более 21 поворота. Легко доказать, что есть позиции, от которых нельзя вернуться в начальное, правильное, состояние быстрее чем за 12 поворотов. Однако, как и в случае Кубика, никому не известно, ни каким алгоритмом пользовался бы господь бог (а он выбирает всегда самый короткий путь — "алгоритм бога"), ни каково максимальное число ходов, которое может для него потребоваться.

Когда Мефферт конструировал Пираминкс, он прекрасно понимал, что внутри пирамиду можно разрезать и иначе, даже если снаружи сохранять тот же вид, — с девятью треугольничками на каждой грани. Поэтому он рассчитал и некоторые другие варианты внутреннего устройства, допускающие более богатый выбор поворотов. Игрушка, которую я описал, называется Популярный пираминкс. Другой вариант — Суперпираминкс — запланировано выпустить в начале 1983 г. В нем кроме всех движений Популярного пираминкса возможны еще вращения каждого ребра (точнее, группы всех примыкающих к нему блоков) на 180° вокруг его середины; тем самым можно поменять местами любые две верхушки и при этом перевернуть (только один!) реберный блок, расположенный между ними (см. рис. 11). Такая подвижность достигается за счет того, что каждый средний блок сам состоит из нескольких кусков, причем некоторые из них могут путешествовать по всей пирамиде.

Так получается гораздо более сложная головоломка. Ее механизм исключительно хитроумен, потому что при поворачивании ребра каждая из двух его верхушек связана с остальной частью Пираминкса маленькой невидимой деталькой внутри теперь уже составного среднего блока. Эта деталька не знает, какому из ребер она придана. Поэтому она просто отвалилась бы вместе с верхушкой, но Пираминкс устроен так хитро, что каждая верхушка "замыкает" свою детальку на соответствующем ребре перед тем, как оно начнет поворачиваться, и "отмыкает", когда поворот завершается. Тернер-Смит указывает число возможных состояний Суперпираминкса: оно превосходит 446 триллионов.

Заразившись кубикodelанием, Мефферт не остановился на тетраэдре, а двинулся дальше в мир правильных многогранников. Следующее его достижение — восьмицветный октаэдр, каждая из треугольных граней которого разделяется еще на девять треугольничков. Как же все это вертится? Как и в случае Пираминкса, здесь возможны различные способы вращения. Интересно, что два эквивалентных варианта

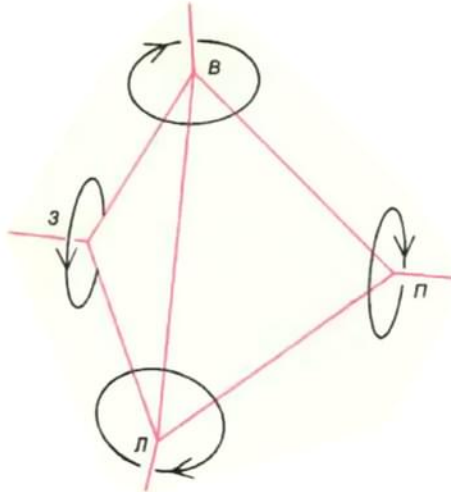


Рис. 10. Обозначения поворотов Пираминкса.

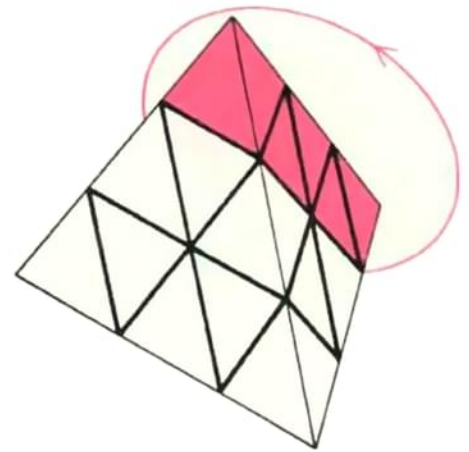


Рис. 11. Другой способ вращения Суперпираминкса.

описания поворотов Популярного пираминкса в применении к октаэдру становятся неэквивалентными. Вспомним: в одном из вариантов считается, что поворачиваются грани, а в другом — малые пирамиды. Эти варианты по существу эквивалентны, потому что вращение грани и вращение малой пирамиды взаимно дополнительные.

Но в октаэдре вращение грани на 120° , очевидно, не является дополнительным к вращению малой пирамиды (вокруг вершины) на 90° (см. рис. 16). Учитывая эту лишнюю степень свободы, Мефферт придумал конкретный механизм для каждого из двух способов вращения.

В октаэдре, который скоро поступит

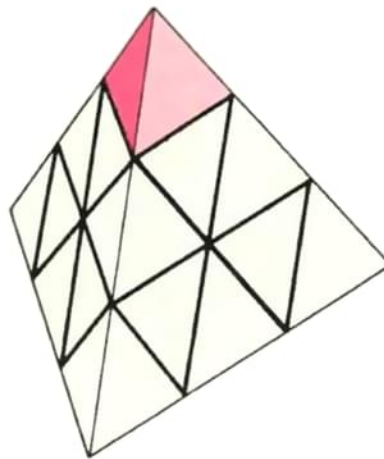


Рис. 12. Верхушка Пираминкса.

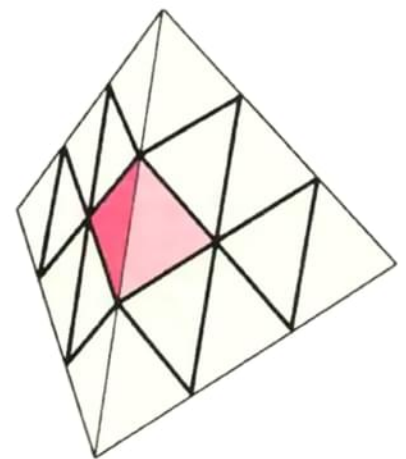


Рис. 13. Реберный блок Пираминкса.

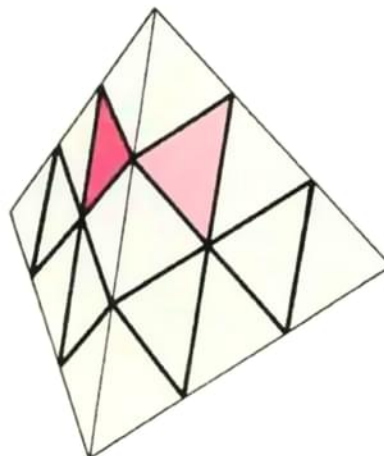


Рис. 14. Средний блок Пираминкса.

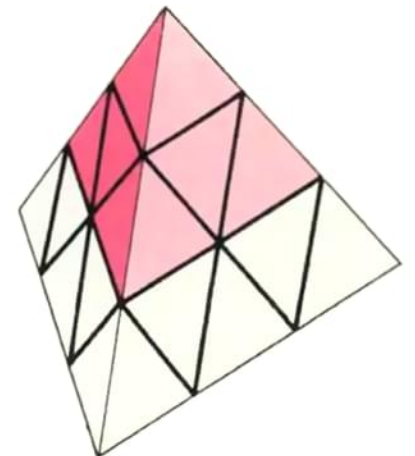


Рис. 15. Малая пирамида Пираминкса.



Рис. 16. Слева — октаэдр Мефферта, справа — еще один способ его вращения.



в продажу (его название едва ли вас удивит — Волшебный октаэдр-пираминкс), поворачиваются шесть малых пирамид. Значит, там три перпендикулярные оси вращения, совсем как в Кубике. Это сходство с Кубиком, на первый взгляд поверхностное, на самом деле довольно глубокое: октаэдр Мефферта и Кубик — не что иное, как два разных способа материализации одной и той же абстрактной идеи. Чтобы понять, почему это так, заметим, что куб и октаэдр двойственны друг другу: центры граней одного многогранника служат вершинами другого. Таким образом, центры шести граней куба определяют октаэдр, а центры восьми граней октаэдра определяют куб.

ВООБРАЗИТЕ Кубик и сидящий внутри него октаэдр, определяемый центрами его граней (см. рис. 17). Каждый поворот грани Кубика вызывает поворот соответствующей пирамиды в октаэдре. Поэтому кажется, что каждому состоянию Кубика отвечает одно

определенное состояние октаэдра. Однако это не совсем так. Чтобы понять, что же происходит на самом деле, надо найти, что на что отображается в соответствии Кубик — октаэдр. Как в Популярном пираминксе, в октаэдре есть верхушки, средние блоки и реберные блоки. Верхушки по-прежнему не более чем декоративная деталь, а любой средний блок поворачивается как одно целое. Поэтому средний блок октаэдра (вместе с его верхушкой) отображается на центр Кубика. Теперь остаются только реберные блоки октаэдра; ясно, что они, имея по две наружные грани, должны отображаться на реберные блоки Кубика. Что же соответствует углам Кубика? Ничего. Для них нет аналогов на октаэдре, и поэтому октаэдр по сравнению с Кубиком проще.

Чтобы представить себе, как соотносятся Кубик и октаэдр, нужно изменить расцветку одной из головоломок. Так как Кубик привычнее, давайте посмотрим, как его превратить в Волшебный октаэдр. Теперь цвета привязаны к углам, а не к граням (см. рис.

18). Стэн Айзекс, специалист по компьютерам и превосходный знаток головоломок, переделал один из своих многочисленных Кубиков в модель октаэдра Мефферта.

Тот, кто легко решает обычный кубик $3 \times 3 \times 3$, обнаружит, что его умения недостаточно, чтобы справиться с непривычно раскрашенным кубиком Айзекса, потому что в таком кубике существенна ориентация центров граней. Правда, есть и соответствующее упрощение: на кубике Айзекса не бывает так называемых "кварков", то есть, другими словами, здесь не бывает подкрученных (или даже переставленных) угловых кубиков, — просто потому, что все они со всех сторон белые. На обычном Кубике кварки (углы, подкрученные на $+\frac{1}{2}$, или 120° по часовой стрелке) и антикварки (углы, подкрученные на $-\frac{1}{2}$, или 120° против часовой стрелки) всегда сочетаются так, что сумма их кручений (выраженных числами 0, $+\frac{1}{2}$ или $-\frac{1}{2}$) является целым числом.

Все, что нужно для решения перекрашенного кубика (или октаэдра), — это уметь восстанавливать ребра и центры граней (у которых теперь появилась ориентация). Конечно, не все волшебные октаэдры эквивалентны просто перекрашенным кубикам $3 \times 3 \times 3$, потому что они не обязательно имеют те же самые три оси вращения. В частности, октаэдр Мефферта другого типа (где грани вращаются на 120°) к Кубику никакого отношения не имеет.

В своем каталоге 1982 г. Мефферт приводит рисунок икосаэдра (угадайте, как он называется), двадцать треугольных граней которого никак не подразделяются; они передвигаются по пять штук сразу, как бы водоворотом, вокруг любой из двенадцати вершин (см. рис. 19). Ось этого вращения проходит через вершину, а не через центр грани, и это наводит на мысль о двойственном ему теле — додекаэдре. В двойственной икосаэдру головоломке оси должны проходить через центры граней, как в Кубике — Кубик двойствен октаэдру, в котором вращения происходят вокруг вершин. (Кстати, какая головоломка была бы двойственной Пираминксу?)

В каталоге Мефферта есть две другие головоломки-додекаэдра. Более простая называется Шарик-пираминкс, а та, что так затейливо разрезана, — Волшебный кристалл-пираминкс (см. рис. 20 и 21). В Шарике, как в Пираминксе, четыре оси вращения, в Кристалле — шесть.

ВПОЛНЕ возможно, что у вас уже возник вопрос, может ли быть кубик (я имею в виду самый настоящий куб с шестью квадратными гранями) устроен так, чтобы оси вращения проходили

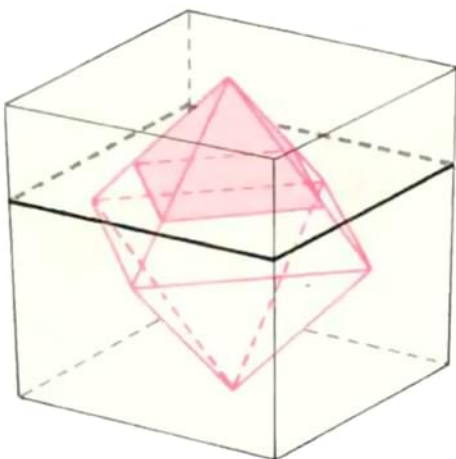


Рис. 17. Вращения Кубика и октаэдра соответствуют друг другу.



Рис. 18. Кубик Айзекса — модель октаэдра Мефферта.

через его вершины. Сказано — сделано. Собственно, это и есть тот косо вращающийся кубической предмет, который показан на рис. 2 и 22. В состоянии вращения он изображен на рис. 23. Первым его придумал английский журналист Тони Дарэм. Он показал свой проект Мефферту, и тот довел его до готового изделия. В новой головоломке Мефферт применил механические свойства, которые оказались полезными в Пираминксе. Назвал он ее весьма прозаически — Кубик-пираминкс, а мне больше нравится другое название — Скьюб*.

Каждый из четырех разрезов Скьюба рассекает его пополам. Каждый разрез перпендикулярен одной из четырех пространственных диагоналей куба и проходит через центр куба. Если подумать, становится очевидным, что след от разреза на поверхности куба — это правильный шестиугольник. Поскольку каждый разрез пересекает все шесть граней, любой поворот сразу сказывается на всех гранях. В этом отношении нрав у Скьюба покруче, чем у Кубика, в котором при любом повороте две грани остаются неизменными. Несмотря на простоту Скьюба, привыкнуть к его косым поворотам довольно трудно. Несомненно, в этом отчасти и заключается его очарование.

В заметках, озаглавленных «Четырехосные головоломки», Дарэм предлагает некоторые комментарии к своему изобретению. Мне хочется процитировать несколько абзацев из этой замечательной работы.

«Группа симметрии, порожденная четырьмя осями третьего порядка, есть группа вращений тетраэдра и состоит из 12 элементов. Почти все хоро-

*От *skew* — косо и *cube* — куб. — Прим. перев.

шо известные многогранники, и правильные, и полуправильные, обладают этой тетраэдрической симметрией, хотя их собственная симметрия может быть гораздо богаче. Поэтому четырехосный механизм можно вставить в "волшебный" многогранник любой правильной или полуправильной формы, и во время игры головоломка будет сохранять эту форму. Пример того, как тетраэдрическая симметрия может быть замаскирована более богатой симметрией, — Шарик-пираминкс, в разрезе которого с первого взгляда увидеть закономерность довольно трудно.

Механизм кубика Рубика не обладает такой общностью. В нем использованы оси вращения четвертого порядка, которые, как правило, имеются только у тел семейства куб — октаэдр. Можно достроить кубик Рубика до додекаэдра, но, чтобы сохранять эту форму, придется ограничиться только вращениями в пол-оборота. Для поворотов на 90° требуется симметрия, которой додекаэдр не обладает.

Во всех четырехосных головоломках есть внутри центральный шар или шарнир. Четыре блока (обычно углы) крепятся прямо к шару. В обычном Пираминксе имеется шесть свободно блуждающих реберных блоков с "крыльями", которые зацеплены за угловые блоки. В Кубике-пираминксе свободно блуждающими блоками являются квадраты посреди граней (центральные блоки). В додекаэдрическом Шарике-пираминксе такую же роль играют четырехгранные блоки.

В Кубике-пираминксе и в Шарике-пираминксе есть еще по четыре блуждающих блока, также угловых. Эти блоки имеют собственные "крылья", зацепленные за блуждающие блоки первого типа. Таким образом, возника-

ет трехступенчатая иерархия сцепленных деталей, в принципе она близка к рубиковской, но сильно отличается от нее геометрически.

Все восемь углов Кубика-пираминкса выглядят одинаково. Поначалу кажется, что можно поменять местами любые два угла. На самом деле только четыре из восьми углов свободно блуждают, четыре же других жестко закреплены на центральном шаре, и угловые блоки этих двух сортов не могут меняться местами. Квадратная форма центральных блоков тоже обманчива. Внутри их механические части не столь симметричны. Такой блок не может вернуться в исходное (по отношению к жесткой системе четырех углов) место повернутым на 90°. Возможны только полюбороты*.

В обычном Пираминксе есть явные фиксированные точки — его четыре угла. Когда перед вами Кубик-пираминкс и вы знаете, что четыре его угла закреплены, а четыре свободны, вы, естественно, захотите узнать, какие из них те, а какие — другие. Но по сути дела это не важно. Четыре свободных угла передвигаются независимо от закрепленных, но всегда друг с другом вместе, как будто они действительно соединены.»

ПРОДОЛЖАЯ, Дарэм приводит нотацию Тернера-Смита для Пираминкса (*B, Z, L, P*) и отмечает, что ее можно приспособить к любой четырехосной головоломке (такой, как его Скьюб), просто обозначив буквами четыре центра вращения. (В Пираминксе ими

*Легко понять, что истинная причина этого заключается не в механическом устройстве, а в самой геометрии движущийся блоков. — Прим. перев.



Рис. 19. Волшебный икосаэдр-пираминкс.



Рис. 20. Шарик-пираминкс.



Рис. 21. Волшебный кристалл-пираминкс.

могли бы быть или четыре вершины, или четыре центра граней. В Скъюбе это была бы одна из четверок вершин, при этом четыре другие вершины остаются безымянными.) Это позволяет записать любой поворот. Если его центр в одной из обозначенных буква-

ми точек, просто берите соответствующую букву. Если же он в одной из четырех безымянных точек, пользуйтесь обозначением дополнительного хода, поскольку безразлично, какая из половинок головоломки вертится. (Возможно, это место потребует от вас не-

которых раздумий. В сущности, здесь все довольно очевидно, хотя и кажется каким-то трюком.) Дарэм указывает, что иногда полезно дать названия также четырем остальным точкам и поворотам вокруг них. Для этой цели он предлагает те же буквы, но строчные: *v, z, l, n*. Таким образом, повороты *V* и *v* одинаково преобразуют головоломку «внутри себя», отличие будет только в ее расположении в пространстве. Хотя Дарэм признает, что смешанная нотация вносит некоторую путаницу, он все же рекомендует ею пользоваться, когда это удобно.

«Иногда надо смешивать обозначения, чтобы понять, что происходит. Например, вы бы никогда не догадались, что операция $VzV'z'$ принадлежит к полезному классу так называемых «коммутаторов» (два хода и вслед за ними — обратные к ним, по схеме $xu'x'u'$), если бы она была записана как $VzL'z'$ или $vlv'z'$ ».

Кубик-пираминкс и Шарик-пираминкс можно назвать глубоко разрезанными головоломками в противоположность мелко разрезанным — таким, как кубик Рубика, в котором разрезы проходят неглубоко. В глубоко разрезанных головоломках они доходят до самой сердцевины. В мелко разрезанной головоломке поворачивается лишь малая ее часть, а большая остается неподвижной. В случае глубоко разрезанной головоломки трудно сказать, какая ее часть действительно вертится, а какая неподвижна. Поэтому в отношении таких головоломок следует серьезно относиться к переменным системам координат.

Глубоко разрезанные головоломки диктуют также «глобальный» подход к решению. Очень трудно делать что-нибудь на каком-то участке такой головоломки так, чтобы не затрагивать остального. Однако по ходу дела как раз это обстоятельство и приходит вам на помощь. Как по мановению волшебной палочки, пары углов синхронно раскручиваются. Последний перевод, последний обмен совершаются автоматически. Наконец ваша «дичь» попала, и миллионы путей, по которым головоломка могла бы ускользнуть от вас, перекрываются. Срабатывают ограничения на четность, а когда каждая операция приводит в действие пять — восемь сцепленных циклических перестановок, как это бывает в глубоко разрезанной головоломке, эти ограничения поистине могущественны.»

В том разделе своих заметок, который касается ограничений на четность, Дарэм говорит: «Прошу простить мне свободное употребление термина «четность», который подразумевает и проверку делимости на 3 (а не только на 2), и даже более далекие понятия. Ограничением на четность мы будем называть

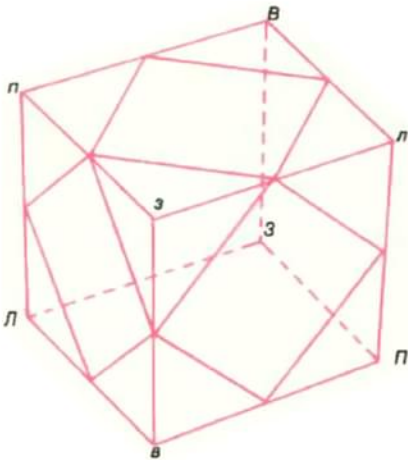


Рис. 22. Названия восьми углов Скъюба.



Рис. 23. Скъюб в процессе вращения.



Рис. 24. Инкредибол в начальном состоянии.



Рис. 25. Инкредибол, на котором виден один кварк.



Рис. 26. Инкредибол в процессе вращения «по ухабам».



Рис. 27. Инкредибол с удаленным икосаэдром.

любое ограничение на все вообще преобразования головоломки, какие можно себе вообразить, если оно запрещает те преобразования, которые нельзя осуществить при правильном, разрешенном инструкцией обращении с головоломкой. Сюда не входит, например, правило "не обменивай угловой блок с центральным". Это было бы уж чересчур. С тем же успехом можно попытаться вообразить операцию, превращающую головоломку в расщепленный уран или горгонцольский сыр*.

ДАЛЕЕ Дарэм перечисляет все ограничения на "четность" (в обобщенном смысле) для Сьюба.

«1. Четыре (закрепленных) угла ВЗЛП могут меняться местами между собой, то же самое может происходить и с остальными четырьмя углами *взлп*, но перемешивать эти два набора нельзя**».

2. Сами по себе углы ВЗЛП перемещаются как вершины жесткого тетраэдра. Это ограничение касается только их положений в пространстве (но не ориентаций).

2а. По тем же самым причинам остальные четыре (свободных) угла *взлп* перемещаются как жесткий тетраэдр. Их перемещения независимы от углов ВЗЛП. Фактически любого из 12 возможных положений углов *взлп* и ВЗЛП относительно друг друга можно достичь не более чем за два хода.

Хотя углы ВЗЛП закреплены, а углы *взлп* блуждают, с математической точки зрения условия 2 и 2а совершенно равноправны. Те, кто писал о кубике Рубика, обычно рассматривали перестановку двух центров граней как "невообразимое" преобразование, а обмен двух реберных кубичков — как "запрещенное, но вообразимое". По аналогии с этим условие 2а можно считать ограничением на четность, а условие 2 — нельзя! Такая ситуация нас явно не устраивает, поэтому совершенно необходимо улучшить и уточнить определение четности. Из какой области эта проблема? Из геометрии? Из механики? Из топологии? Отметим, что весь вопрос — в перечислении невозможных позиций. Возможные позиции пересчитать легко.

3. Сумма кручений углов ВЗЛП по модулю 3 всегда равна закрученности головоломки, взятой как целое***.

*Сорт итальянского сыра. — Прим. перев.

**В обозначениях рис. 22 "жесткие" тетраэдры образованы вершинами ВЗЛП и *взлп*, поэтому, чтобы перечисленные ограничения (и дальнейший текст) были правильными, следует переименовать вершины *з* и *З*. — Прим. ред.

***"Равенство по модулю 3" означает "равенство остатков от деления на 3". — Прим. перев.

+ 0 0 0 - 0 0 0	π^+ -мезон ($u\bar{d}$)	+ + 0 0 + 0 0 0	протон (uud)	+ 0 0 0 + + 0 0	нейтрон (udd)
+ + + 0 0 0 0 0	Δ^{++} (uuu)	0 0 0 0 + + + 0	Δ^- (ddd)	- - 0 0 - 0 0 0	антипротон ($\bar{u}\bar{u}\bar{d}$)
- 0 0 0 + 0 0 0	π^- -мезон ($\bar{u}d$)	+ - 0 0 0 0 0 0	η^0 -мезон ($u\bar{u}$)	0 0 0 0 + - 0 0	π^0 -мезон ($d\bar{d}$)

Рис. 28. «Адроны» собираются из кварков Кубика.

(Здесь кручение — характеристика углов; оно равно 0, +1 или -1. Кручение угла измеряется относительно жесткого тетраэдра, в который он входит. Скажем, кручение угла В измеряется относительно ВЗЛП. Поворот угла по часовой стрелке (на 120°) считается за +1, против часовой стрелки — за -1. Напротив, "закрученность" головоломки как целого определяется только *положениями* углов, а не их ориентациями. Если относительное положение углов ВЗЛП и *взлп* такое же, как в начальной позиции, закрученность равна нулю. Если начальное положение углов восстанавливается одним ходом по часовой стрелке, закру-

ченность равна -1, если одним ходом против часовой стрелки, то +1. Если же требуется по одному ходу каждого типа, закрученность снова равна 0.)

3а. То же, что и 3, только для углов *взлп*.

Из условий 3 и 3а следует, что суммарное кручение углов ВЗЛП всегда равно суммарному кручению углов *взлп*. Из этих условий также следует, что невозможно повернуть ровно один угол на 120° (то есть создать изолированный кварк). Можно перефразировать 3 и 3а: головоломке "известно", причем из трех разных источников, на сколько поворотов (по модулю 3) она отстоит от начальной позиции.

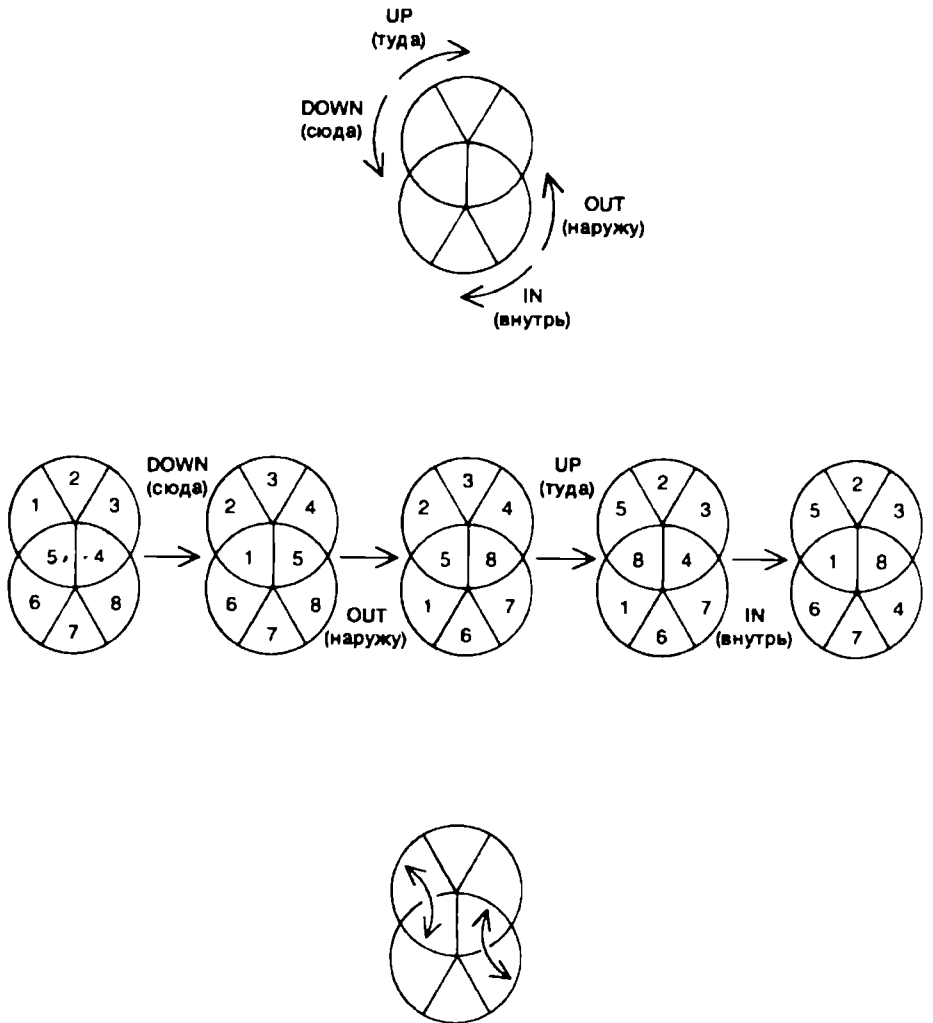


Рис. 29. Этапы коммутатора "down-out-up-in" (doui). Результат показан внизу.

4. Нельзя переставить ровно два центральных блока.

5. Нельзя повернуть на месте какой бы то ни было центральный блок на 90° .

6. Нельзя перевернуть ровно один центральный блок на 180° .

Дарэм предлагает доказательства этих правил, но я их опущу, поскольку большей частью они аналогичны рассуждениям для Кубика. Объединяя все ограничения, Дарэм получает, что всего запутанных состояний Скьюба 100 776 960. При этом подразумевается, однако, что мы можем следить за ориентацией центральных блоков, а это на самом деле невозможно (если только их не пометить). Значит, число зрительно различных состояний получается пятикратным делением пополам и равно 3 149 280. Это гораздо меньше, чем у Кубика ($4 \cdot 10^{13}$), но, разумеется, сложность вовсе не убывает пропорционально числу состояний. (Можете ли вы вообразить головоломку в 10 триллионов раз проще Кубика?)

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ замечания Дарэма развивают красивую аналогию

между явлениями из области кубиковедения, с одной стороны, и физики элементарных частиц — с другой. Эту аналогию обнаружил Соломон У. Голомб. Он обратил внимание на то, что многим элементарным частицам можно найти аналогии на кубике $3 \times 3 \times 3$. Это кварки (q), антикварки (\bar{q}), мезоны (пары $q\bar{q}$), барионы и антибарионы (тройки qqq и $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$). Дарэм продолжает сравнение:

«Говоря об элементарных частицах, следует модифицировать определение кручения. Повороту одного из углов $VЗЛП$ по часовой стрелке или одного из углов $взлп$ против часовой стрелки дадим значение $+1/3$. Эти повороты — кварки. Обратные к ним повороты — это антикварки с кручением $-1/3$. Мы увидим, что кручение соответствует *барионному заряду*. Полное кручение всех углов всегда целое число. Один поворот головоломки — это всегда мезон.

Кварки в углах $VЗЛП$ будем считать "up" или u -кварками, в углах $взлп$ — "down" или d -кварками. Кварки обоих типов имеют изотопический спин $1/2$. Они отличаются ориентацией вектора изоспина в абстрактном пространстве.

Проекция изоспина I_z принимает значение $+1/2$ для u -кварка и $-1/2$ для d -кварка. При отсутствии странности, очарования и т.д. электрический заряд Q частицы определяется формулой $Q = I_z + B/2$, где B — барионный заряд. Таким образом, u -кварки имеют заряд $2/3$, а d -кварки — заряд $-1/3$. (В случае антикварков все квантовые числа умножаются на -1 .) Вновь мы видим в головоломке модель важного свойства наблюдаемой действительности: все частицы имеют целый электрический заряд.

Квантовые числа, соответствующие нашим двум кваркам, таковы:

	u	d
B	$1/3$	$1/3$
I	$1/2$	$1/2$
I_z	$1/2$	$-1/2$
Q	$2/3$	$-1/3$

Теперь можно собирать различные адроны, или сильно взаимодействующие частицы (см. рис. 28). Каждая частица представлена двумя строчками по четыре символа в каждой. Четырьмя символами в верхней строке обозначены кручения углов $VЗЛП$; в нижней строке то же самое сделано для углов $взлп$. Кварк обозначается знаком "+", антикварк — знаком "-".

Изотопическая симметрия является глобальной, и внутриядерные силы не меняются при преобразованиях, поворачивающих вектор изотопического спина одинаково для всех частиц. Все u -кварки такое преобразование непрерывным образом превратило бы в d -кварки, и наоборот. Протоны и нейтроны поменялись бы ролями. В случае головоломки этому аналогично *непрерывное вращение ее как целого в пространстве*. В результате такого вращения все углы $VЗЛП$ действительно могут оказаться на местах, прежде занятых углами $взлп$, так что u -кварк становится d -кварком.

Это не сказывается на сильном взаимодействии (т.е. обычном действии головоломки), ведь углы $VЗЛП$ и $взлп$ функционально одинаковы, но становится существенным, если вы попытаетесь разобрать головоломку: тогда обнаружится, что один набор углов закреплён внутри, а другой нет. Разборку можно рассматривать как слабые, или электромагнитные, взаимодействия, способные нарушить законы сохранения, которым подчиняются сильные взаимодействия. Слабые взаимодействия действительно успешно нарушают эти законы, потому что допускают возникновение единичных свободных кварков».

Дарэм указывает, что в таком подходе все же есть слабые места, например не сохраняются электрический и барионный заряды, нет аналогии для спина, представлены только два аромата кварков (up и down), никак не отражен цвет кварка. Кстати, Голомб пытался

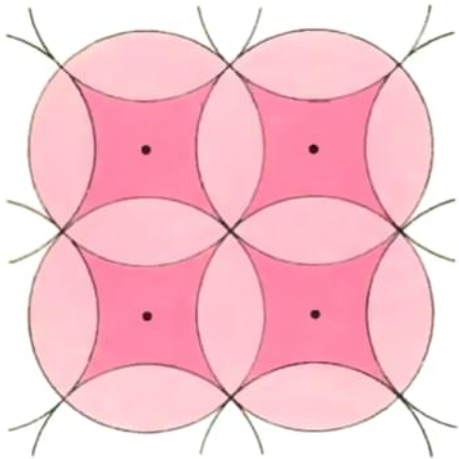


Рис. 30. Головоломка Гриль.

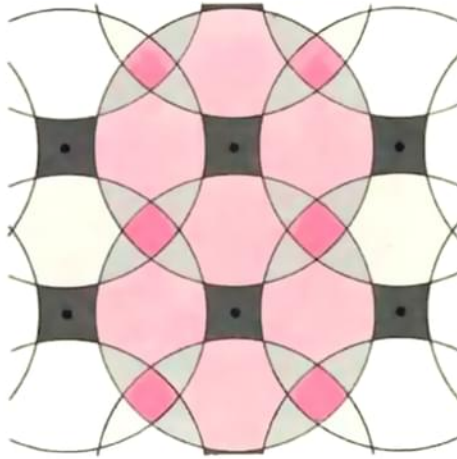


Рис. 31. Еще один Гриль Лоренте.

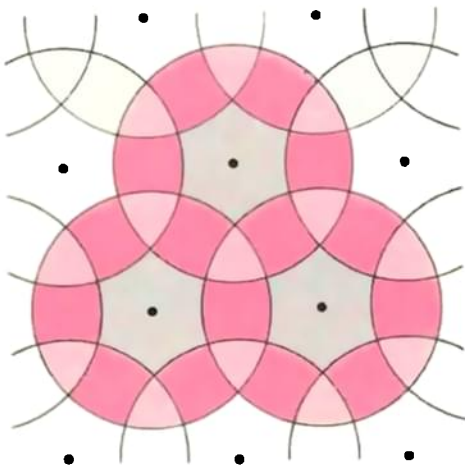


Рис. 32. Головоломка Требол.

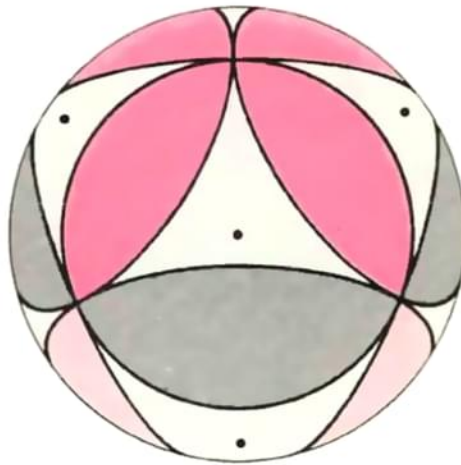


Рис. 33. Цветастая сфера Лоренте.

найти, как можно отобразить цвет кварков в рамках аналогии с кубиком $3 \times 3 \times 3$.

Каковы бы ни были недостатки сопоставления Кубика и элементарных частиц, мне оно кажется одним из наиболее плодотворных, и меня удивит, если соответствие окажется просто совпадением. Я как-то не могу не верить, что изящные закономерности, относящиеся в равной степени и к макроскопическим головоломкам, и к микроскопическим частицам, указывают на некий общий для них сущностный порядок, на общую систему принципов. Помоему, если посмотреть с соответствующей точки зрения на принципы теории групп, управляющие ограничениями на четность для кубиков, их можно перенести и в область физики элементарных частиц, где они, пожалуй, могли бы дать начало свежему взгляду на причины симметрии среди частиц. (Ну если уж и такая приманка не затасчит в кубиковедение какого-нибудь специалиста по элементарным частицам, я, право, не знаю, чем еще его соблазнить.)

ПОЖАЛУЙ, мой любимый кубик — это тот, который я окрестил Инкредибол* (см. рис. 24). Его изобрел педагог из Дортмунда Вольфганг Кюперс. Этот кубик есть в каталоге Мефферта. Я мог бы стать чемпионом мира по скоростному решению Инкредибола (или по крайней мере чемпионом своего квартала) — мое среднее время решения около пяти минут. Правда, моя слава была бы недолговечной, потому что «Милтон Брэдли Компани» скоро выпустит эту головоломку в продажу (под названием Импосибол**).

Основой этого И-бола является закругленный додекаэдр, каждая из 12 граней которого (я буду называть их додекаликами) разделена на пять элементарных треугольников эв, так что всего таких треугольников 60. Если группировать их не по пять штук, а по три, окажется, что они определяют закругленный икосаэдр (двойственный додекаэдру). Такую группу из трех треугольников я называю икосаликом, их всего 20, и каждого — своя трехцветная раскраска. Икосалики — это элементарные, неделимые блоки, из которых построен Инкредибол; они соответствуют кубикам в Кубике или элементарным блокам Пираминкса. В Кубике кубички трех сортов (ребра, центры граней и углы), а здесь все икосалики однотипны. Поэтому И-бол не так страшен, как кажется на первый взгляд. В исходном состоянии И-бола

каждый додекалик раскрашен одним цветом. Мефферт использовал только 6, а не 12 цветов, так что додекалики-антиподы раскрашены одинаково, впрочем, от этого головоломка несколько не проще.

Манера вращения И-бола несколько неожиданна. Назовем группу из пяти икосаликов, сходящихся в одной точке (центре додекалика), кружком. Он будет двигаться как одно целое, поворачиваясь влево или вправо на 72° . Значит, пять таких поворотов возвращают всю группу в исходное положение. Кружок аналогичен слою Кубика (т.е. грани вместе с ее окаймлением). Однако "окружность", проходящая по границе пяти икосаликов, не идеально круглая, и, если бы икосалики жестко удерживались на фиксированном расстоянии от центра, такую группу просто было бы невозможно повернуть. В механизме Мефферта эта проблема остроумно обходится благодаря тому, что икосалики слегка приподнимаются, когда проходят над "ухабами". При этом поверхность головоломки заметно изгибается, так что, когда вертись И-бол, он совсем как живой.

Ограничения для И-бола все те же: перестановки четные, то есть нельзя поменять местами ровно два икосалика, а лучше, что можно сделать, — это переставить циклически три из них или сделать два обмена одновременно. Кроме того, кварки и антикварки должны, конечно, давать в сумме целочисленное общее кручение. Учитывая эти ограничения, я подсчитал, что полное число состояний Инкредибола равно $23\,563\,902\,142\,421\,896\,679\,424\,000$, или $24 \cdot 10^{24}$, т.е. около 24 триллионов триллионов — почти в 10^6 раз больше, чем число состояний кубика Рубика.

НАСКОЛЬКО труден Инкредибол? Труднее ли, чем Кубик? Мне показалось — легче, но вряд ли это на самом деле так, ведь к тому времени я уже разобрался в Кубике. Однако, по терминологии Дарэма, Инкредибол — определенно мелко разрезанная головоломка, а значит, ее можно решать более или менее локальным подходом. Я обнаружил, что, если не цепляться за те конкретные приемы, которые я с трудом добыл, решая Кубик, а воспринимать их более метафорически, можно перенести кое-что на И-бол. Не стоит и говорить, что годилось не все. Больше всего я радовался, когда оказалось, что мои операции "кварк" и "антикварк" полностью подходят. Конечно, вовсе не сразу ясно, что именно можно "переносить". Что существенно в операции? Какие ее аспекты имеют "местное" значение и могут быть отброшены? Как научиться легко определять их? Это сложные вопросы, и у меня нет на них ответов.

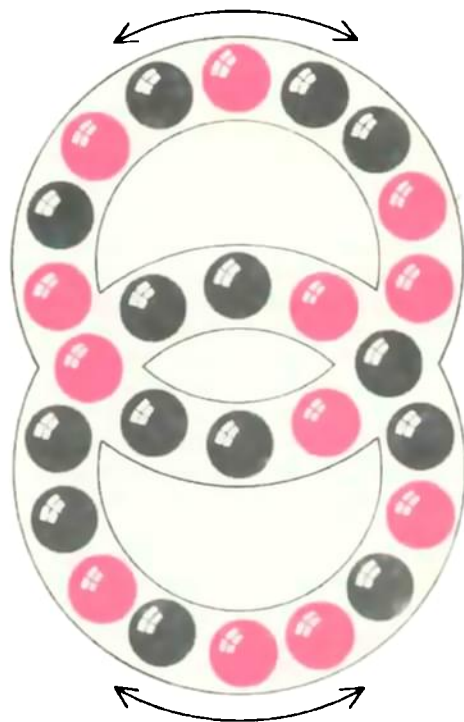


Рис. 34. Головоломка с пересекающимися цепочками шариков.

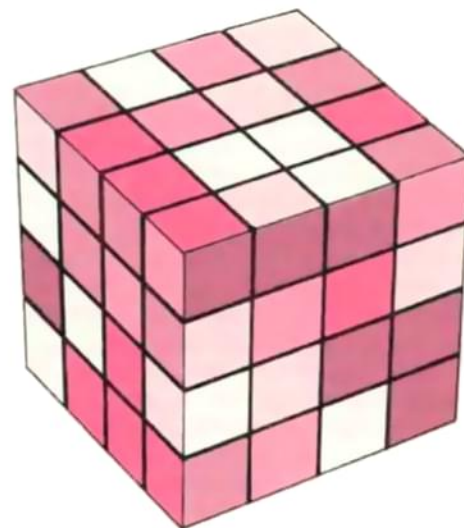


Рис. 35. Кубик $4 \times 4 \times 4$ в запутанном состоянии.



Рис. 36. Предельный пираминкс.

*От *incredible* — невероятный и *ball* — шар. — Прим. перев.

**От *impossible* — невозможный и *ball* — шар. — Прим. перев.

Осознав широчайшие возможности преобразований, состоящих из поворотов только двух перекрывающихся кружков по схеме коммутатора ($x'x'y'$), я стал шаг за шагом прокладывать свой путь решения Инкредибола. Я исследовал такие двухкружковые коммутаторы на бумаге, пока не нашел те, что отвечали всем поставленным мною целям (см. рис. 29). В их число вошли кварки, двойные обмены и 3-циклы; они — основа полного решения. Я довольствовался только самыми необходимыми обозначениями и не разрабатывал полной нотации для Инкредибола. Мне кажется, очень полезной была бы стандартная, универсальная для всех головоломок типа Кубика нотация, приемлемая и психологически, и математически. Впрочем, это чересчур грандиозный проект, ведь пришлось бы предвосхитить все мыслимые вариации на такую богатую тему, что было бы далеко не тривиальным делом.

Интересно, что мои диаграммы из перекрывающихся кружков, оказывается, тесно связаны с другим симпатичным семейством обобщений Кубика, которое нашел испанский физик Габриэль Лоренте. Его головоломки большей частью плоские и состоят именно из сетей перекрывающихся кругов. Он называет свои плоские головоломки Гриль и Требол (см. рис. 30—32). В каждой из них круги можно вращать в некоторых пределах, в результате чего их кусочки перемешиваются и перераспределяются. Распространив эту идею на сферическую поверхность, Лоренте пришел к изящной головоломке типа Инкредибола, которую он называет Цветастая сфера (рис. 33).

Если присмотреться к головоломкам Лоренте, Инкредиболу и даже к Кубику, приходит в голову, что их сущность, похоже, заключается как раз в таких вот пересекающихся орбитах. Более того, можно даже утверждать, что трехмерность головоломок несущественна; главное — хитросплетения



Рис. 38. Земной шар. Печальная картина, не правда ли?

замкнутых орбит в двумерном пространстве, которое может быть и искривленным, например, поверхностью сферы.

Оказывается, плоскую головоломку, эту квинтэссенцию идеи пересекающихся кругов, изобрели еще в конце прошлого века; в последнее время под впечатлением Кубика ее неоднократно открывали заново. Все такие головоломки в своей основе имеют два пересекающихся кольцевых желобка с шариками (рис. 34). Можно перегибать шарики по кругу в любом из колец, при этом шарики из пересечений будут затягиваться в то кольца, с которым вы манипулируете.

Раз мы заговорили о двумерности, стоит обратить внимание на то, что внутреннее устройство Инкредибола позволяет довольно неожиданно переделывать его в головоломку, которую я называю "игра в 19", потому что она представляет собой вариант знаменитой "игры в 15" Сэма Лойда на искривленной двумерной поверхности (напомню, что "игра в 15" — это квадрат 4×4 , в котором нет одного квадратика, благодаря чему можно менять расположение остальных 15 квадратиков, смещая дырку). Впервые это заметили Хэлперн и Мефферт. Они обнаружили, что если удалить один икосалик (это возможно, так как одна из прелестей Инкредибола в том и состоит, что его механизм легко допускает разборку и сборку), остающаяся дырка получает возможность бродить по всей сфере, точно так же, как квадратная дырка в "игре в 15" (см. рис. 27). Это лишнее раз указывает на двумерную природу таких головоломок.

ЭТИ ГОЛОВОЛОМКИ стали рассматривать как двумерные, потому что перемешаются только кусочки их поверхности, а обмена между поверхностью и внутренними частями нет. Вообразим земной шар в виде огромной голово-

ломки, вся поверхность которой покрыта триллионами пересекающихся колец с шариками. За сто миллионов поворотов вы можете переправить шарик из Нью-Йорка в Сан-Франциско. Ясно, что по существу такая головоломка двумерна. Малость кружков по сравнению в Земле делает это совсем очевидным. (Наверняка, никто бы и думать не захотел о *решении* такой головоломки.)

Теперь рассмотрим две игрушки, которые скоро поступят в продажу: кубик $4 \times 4 \times 4$ фирмы «Айдиэл», бесхитростно названный Реванш Рубика, и Предельный пираминкс Мефферта — кубик $5 \times 5 \times 5$ со спиленными углами и ребрами (см. рис. 35 и 36). На обеих головоломках имеются "кольца" гораздо большего, так сказать глобального масштаба. На кубике $4 \times 4 \times 4$ — Северный полярный круг, тропик Рака, тропик Козерога и Южный полярный круг, а на кубике $5 \times 5 \times 5$ есть еще и экватор.

В случае кубика $3 \times 3 \times 3$ можно обойтись без экватора, описывая экваториальные повороты через дополнительные к ним, как если бы мы вращали два ломтя хлеба в закрытом бутерброде, не вращая колбасу. В обозначениях, выбранных Сингмастером для кубика $3 \times 3 \times 3$, сказались его склонности считать центры граней неподвижными. С его точки зрения, движутся ломти хлеба, а не колбаса. В принципе это прекрасно, но на практике-то никто не держит бутерброд — простите, кубик — в одном фиксированном положении. Более того, если перейти к более высокому порядку, этой точки зрения уже недостаточно. Представьте себе многослойный бутерброд с тремя ломтями хлеба и двумя сортами мяса. Тут уж вы просто будете вынуждены раздвинуть рамки своих обозначений.

Элегантную систему названий для шести "колбасных", или экваториальных, ходов на кубике $3 \times 3 \times 3$ предложили Джон Х. Конвей, Элвин Р. Берлекамп и Ричард К. Гай в книге «Пути к победе» (J. H. Conway, E. R. Berlekamp, R. K. Guy. *Winning Ways*. Academic Press, 1981). Они использовали греческие буквы с разумным мнемоническим обоснованием (см. рис. 37). С некоторыми изменениями эти обозначения можно приспособить и к слоям кубиков более высоких порядков.

Движения слоев более глобального типа подобны перемещению шариков в гигантских кольцах, охватывающих экватор или тропик Козерога; их радиусы имеют величину того же порядка, что и радиус самого трехмерного объекта. Топология сцепления этих колец гораздо сложнее, чем в случае, когда кольца малы и все связи между ними совершенно локальны. Чтобы экономно описать сцепление гигантских колец, придется говорить о том, как они

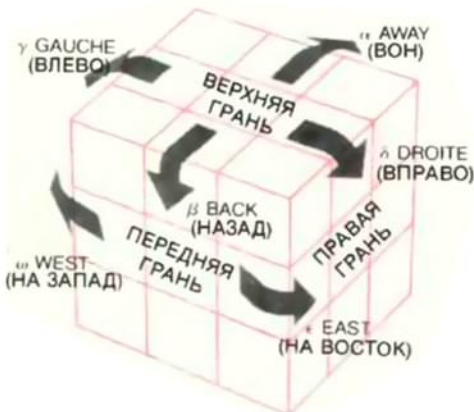


Рис. 37. Обозначения для движений средних слоев кубика $3 \times 3 \times 3$.

вложены в трехмерное пространство. В этом смысле действительно можно сказать, что кубики высоких порядков по своей сути трехмерные головоломки.

Похоже, что потоку вариаций на тему Кубика не будет конца — уж очень это плодотворная идея. Мне прислали превосходную статью Х. Дж. Камака и Т. Р. Кина, которые смоделировали четырехмерный кубик $3 \times 3 \times 3$ на ЭВМ. Они назвали его Тессеракт * Рубика; число его состояний достигает почти 10^{100} . Камак и Кин открыли массу интересного, но рассказать обо всем здесь не хватит места.

Я получил также захватывающую статью Дёрдя Маркса и Эвы Гайзаго, физиков из Университета им. Лоранда Этвёша в Будапеште. В ней авторы определяют "энтропию" на Кубике и описывают некоторые статистические результаты, которые получил учащийся средней школы Виктор Замбо. Обо всем этом я когда-нибудь расскажу подробнее.

НАПОСЛЕДОК я бы хотел поговорить о поразительной популярности Кубика. В списке бестселлеров в мягкой обложке, который опубликован в газете «Нью-Йорк таймс» от 15 ноября 1981 г., фигурировали три брошюры о Кубике — они занимали первое, второе и пятое места. Часто спрашивают: «Почему Кубик так популярен? Выдержит ли он испытание временем, или это просто модное увлечение?» Я полагаю, что увлечение Кубиком продержится долго. По-моему, в Кубике есть глубокая, какая-то первобытная притягательность. Мне кажется, он каким-то образом удовлетворяет постоянную тягу человеческого разума ко всему, что связано с общими представлениями о мире. Попытаюсь пояснить, что, на мой взгляд, привлекает нас в Кубике.

Прежде всего, Кубик маленький и яркий. Он уютно устраивается в руке и приятен на ощупь. Вращение — это одно из основных движений, естественных для руки, и притом увлекательное. Кубик сам по себе обладает общей симметрией, так что его можно вертеть как целое, при этом он со всех сторон выглядит одинаково (в противоположность многим головоломкам, имеющим самое большее одну ось симметрии). Как ни странно, существует не так уж много головоломок или игрушек, которые бы по-настоящему тренировали пространственное воображение и ловкость рук.

Хотя Кубик запутывается, он все равно остается целым (опять-таки в противоположность многим головоломкам — они, как Шалтай-Болтай, чуть что разваливаются на составные части, которые непременно рассыпаются по всему полу). То, что Кубик умудряется не разваливаться, допуская так много независимых способов вращения, поражает с самого начала и остается тайной, даже когда вы узнали, как он устроен внутри.

Кубик — это в миниатюре та сложная смесь порядка и хаоса, которую представляет собой наш мир. Чаще всего нельзя предсказать, как на нем отзовутся даже самые простые действия: слишком много разнообразных побочных эффектов. Два-три незначительных поступка могут иметь грандиозные, переплетающиеся последствия, которые оказываются практически необратимыми. И вот вы уже перепуганы, не знаете, что и делать, чувствуя, как в два счета можете безвозвратно и безнадежно заблудиться.

Узоров множество, одни достижения, другие — нет. Порой они возникают легко, но вы не понимаете, как это произошло. Порой сложно, однако же вы ясно видите, откуда они взялись.

К любому состоянию есть масса путей, причем кратчайшие почти всегда совершенно невозможно найти. В трудной ситуации едва ли кто-нибудь станет пятиться обратно по той же дорожке, которая привела его туда; лучше искать другой, новый путь решения. В какой-то степени вы чувствуете себя как человек, которого заманили в пещеру без света, — вы тоже не можете представить себе все окружающее пространство (да и под силу ли такое человеческому воображению?) и нащупываете только то, что находится рядом.

Кубик — богатейший источник сравнений. В нем можно найти аналогии с физикой элементарных частиц (скажем, кварки), с биологией (последовательность ходов как "генотип" и закодированный ею узор как "фенотип"), с решением задач в повседневной жизни (разбиение задачи на части и поэтапное ее решение), с энтропией и поиском оптимальных путей. Он касается даже теологии (говорят же об "алгоритме бога"!).

К ПОНИМАНИЮ Кубика ведут различные подходы. В частности, "алгебраический" подход противоположен "геометрическому". При алгебраическом, или математическом, подходе из коротких серий ходов составляются более длинные последовательности, так что наступает момент, когда у вас уже нет ни малейшего понятия, почему вы делаете те или иные отдельные повороты; вы просто полагаетесь на то,

что последовательности в целом будут работать. Эффективно, но рискованно. При геометрическом подходе вы руководствуетесь в основном здравым смыслом; глаз и ум объединяются, чтобы выбирать один ход за другим, и каждый из ходов имеет ясную мотивировку как часть тщательно спланированного пути. Не эффективно, но надежно. Эти два подхода вполне соответствуют двум стилям решения задач.

Мир Кубика населен странными существами. Кроме разнообразных кубичков и способов вращения здесь есть еще такие эфемерные сущности, как "перевернутость" и "закрученность", которые можно в буквальном смысле перемещать по Кубику так же, как мы перемещаем осязаемые кубички. Слово "здесь" может обозначать "место", которое движется взад и вперед в последовательности ходов. Сцепленные между собой и вложенные друг в друга системы отсчета, между которыми вы мечетесь, стараясь восстановить на Кубике порядок, служат ярким примером послыного способа, каким мы постигаем пространство, и даже послыного способа работы самой мысли.

Очарование Кубика создают и магия движения, слишком быстрого для глаза, и трепет скорости, состязания, вдохновения, и новые уровни знания, которых можно достичь, и удовольствие от обмена информацией и идеями. Даже если вы давно играете с Кубиком, вы все равно не устаете поражаться, как в такой маленькой, невинной вещице может скрываться целый космос возможностей.

Кубик не был обойден и в карикатурах на темы текущей политики. Его рассматривали как модель состояния мира (см. рис. 38).

Я уверен, что Кубик и кубики вообще будут процветать. Мне кажется, будут появляться все новые его разновидности и они, несомненно, обогатят и украсят нашу жизнь. Радует, что игрушка, бросающая такой серьезный вызов уму, обрела такое признание во всем мире.

* Это слово можно перевести примерно как "действующая мозаика" (*tessera* — кубик в мозаике). — *Прим. перев.*

Праязык клетки

ЕЩЕ ОТНОСИТЕЛЬНО недавно в биологии существовало четкое представление о гормонах и медиаторах. Гормонами назывались свойственные только позвоночным животным вещества, которые образуются в эндокринных железах в клетках особого типа, выделяются в кровоток и воздействуют на специальные воспринимающие клетки в других местах тела. К медиаторам относили химические вещества-посредники, передающие сигналы от одной нервной клетки к другой или от нервной клетки к клетке мышцы. Считалось, что, в то время как медиаторы есть уже у довольно простых многоклеточных животных, гормоны возникли только у позвоночных.

К сегодняшнему дню эти некогда четкие границы окончательно размылись. Так, выяснилось, что гормоны синтезируются не только в эндокринных железах, но и в клетках других тканей, в том числе в раковых клетках многих типов. Некоторые гормоны вырабатываются нервными клетками и играют роль медиаторов, а некоторые медиаторы образуются в эндокринных железах и служат гормонами. Кроме того, оказалось, что и те и другие выступают как «тканевые факторы», участвуя в местных взаимодействиях между клетками. И это не все. Ряд веществ, которые традиционно рассматривались как гормоны позвоночных, обнаружены у насекомых и даже у губок, а недавно соединения, которые относятся к гормонам и медиаторам, найдены у простейших одноклеточных организмов, а некоторые из гормонов — даже у бактерий.

Обобщая накопившиеся факты, новая теория объединяет в одну группу гормоны, медиаторы и другие вещества, участвующие в межклеточных взаимодействиях, и предлагает рассматривать всех их как результат эволюции примитивных регуляторных молекул, которые имелись у древних одноклеточных организмов. Эту теорию разработали и подкрепили экспериментальными данными в лаборатории Дж. Рота в Национальном институте артрита, диабета и заболеваний пищеварительного тракта и почек. Эксперименты, теоретические выводы и объяснение с их помощью того, что известно о межклеточных взаимодействиях, опубликованы в журнале *The New England Journal of Medicine*; авторы статьи — Дж. Рот и его коллеги: Д. Лерой, Дж. Шилоуч, Дж. Л. Розенцвейг, М. А. Лесняк и Я. Хавранкова.

Рот и его сотрудники сосредоточили свои усилия на поисках у одноклеточ-

ных организмов гормонов пептидной природы. Пептид — это относительно короткая цепочка из аминокислот (из аминокислот состоят белки), которая синтезируется непосредственно на генетической матрице. Присутствие в каком-либо организме пептидного гормона означает, таким образом, что данный организм унаследовал и активно использует кодирующую этот гормон ДНК. (Гормоны других типов образуются из молекул, имеющих в многих живых клетках, так что их присутствие в организме может быть случайным.) Исследователи выращивали одноклеточные организмы на простой питательной среде, затем обрабатывали их так, чтобы извлечь определенный пептид, и его присутствие определяли с помощью соответствующих антител, несущих радиоактивные метки. Затем пептид очищали и проверяли его биологическую активность, т.е. способность вызывать у позвоночных животных ту же реакцию, что и искомым гормоном.

Вещество, неотличимое от гормона пептидной природы — инсулина, Рот и его группа нашли у одного вида простейших, у двух видов грибов и у трех линий бактерий *Escherichia coli*. У простейших они обнаружили также соматостатин (этот пептид вырабатывается в мозгу и поджелудочной железе у позвоночных, он подавляет синтез инсулина) и ряд других пептидов-регуляторов, среди них гормон АКТГ, или кортикотропин. Ранее другие исследователи показали, что у простейших имеются некоторые медиаторы млекопитающих, а у бактерий — хорионический гонадотропин (пептидный гормон) человека. Функции этих разнообразных молекул-посредников у одноклеточных организмов неизвестны, однако есть указания на то, что некоторые из них могут присоединяться к молекулам-рецепторам такого же типа, какие имеются у позвоночных.

По мнению Рота и его коллег, эти факты свидетельствуют о том, что биохимические агенты эндокринной и нервной систем позвоночных, равно как и другие межклеточные вещества-посредники, появились еще у одноклеточных организмов. В ходе эволюции различные анатомические элементы: клетки, производящие эти вещества, протоки и сосуды, разносящие их по телу, и клетки-рецепторы — дифференцировались, специализировались и усложнились. Однако биохимическая природа веществ-посредников в основном сохранилась без изменений.

Исследователи утверждают, что такой подход к истории регуляторных систем помогает многое объяснить в регуляции у позвоночных. Так, становит-

ся понятным перекрытие функций эндокринной и нервной систем, если считать, что они развились из одной и той же прасистемы. Объясняется сходство как клеток, так и механизмов секреции эндокринных и экзокринных желез (эндокринные железы вырабатывают гормоны; экзокринные железы выделяют свои продукты не в кровоток, а на поверхность органа, например железы слизистой оболочки желудка или кишечника). Теория объясняет присутствие у позвоночных таких веществ, как факторы роста, простагландины и интерферон, которые сходны с пептидами эндокринных желез и мозга, но не являются ни гормонами, ни медиаторами. Предполагая, что все молекулы-посредники выполняли раньше роль местных тканевых факторов, которые действовали на вырабатывавшие их клетки или на клетки, соседние с ними, можно представить себе последующее разделение функций между этими молекулами, одни из которых стали гормонами, а другие — медиаторами. Предложенная теория позволяет по-новому рассматривать и феромоны (феромоны — это особые химические вещества, выделяемые животными; они влияют на поведение других особей того же вида). В сущности, феромоны и гормоны служат одной и той же цели. В самом деле, когда единственными живыми существами на Земле были одноклеточные, все вещества, опосредующие межклеточные взаимодействия, были, можно считать, феромонами.

Сверхзвезда

СУЩЕСТВУЕТ ли предел звездной массы? Над этим вопросом заставляет задуматься яркая область ионизованного водорода в Большом Магеллановом Облаке (спутнике нашей Галактики), которая, возможно, служит пристанищем звезды массой, в несколько тысяч раз превосходящей массу Солнца. Данные многих наблюдений позволяют предположить, что в туманности находится звезда. Однако специалисты считают, что любая звезда массой, в 100 раз превышающей солнечную, даже если бы она сформировалась, немедленно распалась бы или вообще не могла бы возникнуть.

Яркое облако, именуемое туманностью Тарантул, уже давно известно как область очень высокой светимости. Эта туманность — ярчайшая из всех областей III (областей ионизованного водорода) в Местной группе галактик. В 1977 г. Дж. Фейцзингер с сотрудниками начали публиковать результаты анализа снимков туманности Тарантул, полученных на Европейской южной обсерватории в Чили. Установлено, что центральный яркий узел (R 136) четко подразделяется по крайней мере

на три части. Самая яркая из них (R 136a) в свою очередь состоит из двух компонентов, один из которых значительно ярче. Диаметр объекта R 136a составляет примерно один световой год, т.е. он весьма компактен по сравнению с самой туманностью. Поэтому Фейцзингер с сотрудниками предположили, что этот компонент повышенной яркости в R 136a свидетельствует о существовании сверхмассивной звезды. Мощный поток ее ультрафиолетового излучения, вероятно, и вызывает ионизацию вещества туманности, которая проявляется в повышенной светимости туманности Тарантул.

Фейцзингер предположил также, что масса такой звезды может в несколько сот раз превышать массу Солнца; подобный объект представляет большой интерес. В нашей Галактике не было найдено ни одной звезды массой, превосходящей в несколько десятков раз массу Солнца. Кроме того, из теоретических расчетов следует, что в звезде массой примерно в 100 раз больше массы Солнца собственная сила тяготения (стремящаяся сжать звезду) не будет уравновешиваться давлением газа в ее недрах, а также давлением ее электромагнитного излучения. В результате звезда должна стать неустойчивой и, следовательно, будет подвержена пульсациям, возможно очень мощным.

Из других соображений следует, что такая звезда не могла бы образоваться вообще. Согласно имеющимся представлениям о том, как в процессе аккреции из газа и пыли рождается звезда, давление ультрафиолетового излучения «новорожденной» протозвезды «выметает» всю пыль из ее ближайших окрестностей. В результате образуется лишенный пыли «кокон». Оставшийся в коконе газ является источником инфракрасного излучения, которое также выметает пыль из большого объема пространства вокруг звезды. Пыль в свою очередь увлекает за собой газ. Полагают, что именно этот процесс ограничивает количество вещества, которое может собраться в протозвезде.

Только недавно тщательно измерен спектр объекта R 136a. В прошлом году с помощью приборов, установленных на борту международного ультрафиолетового спутника «Эксплорер», получен его ультрафиолетовый спектр. Измерения проводили Дж. Кассинелли, Дж. Мэтис и Б. Сэвджей (Висконсинский университет, Мадисон), которые сделали несколько выводов. Прежде всего, спектр R 136a имеет несколько линий, значительное уширение которых свидетельствует об истечении ионизованного газа — звездного ветра. Это своеобразный «ураган» с предельной скоростью 3500 км/с. Скорость солнечного ветра составляет лишь 0,1 этого значения, и даже скорость звездного ветра от массивных звезд высокой

светимости спектрального класса O меньше на 1000 км/с. Кроме того, истечение вещества из объекта R 136a происходит такими темпами, что за тысячу лет он теряет массу, равную массе Солнца. (За сутки теряется масса, равная массе Земли.) Темп потери массы самыми «ветреными» звездами класса O в 100 раз меньше, а для Солнца — в миллиард раз еще меньше.

По расположению линий в ультрафиолетовом спектре Кассинелли с сотрудниками заключили, что температура объекта R 136a составляет 60 000 К. Из такого значения температуры можно сделать вывод, что светимость R 136a в 100 млн. раз выше светимости Солнца, и оценить массу этого объекта. Одиночная звезда со светимостью в 100 млн. солнечных должна иметь массу, равную 3000 солнечных масс, иначе давление ее излучения привело бы к взрыву.

Альтернативное объяснение состоит в том, что R 136a представляет собой скопление ярких звезд, но Кассинелли с сотрудниками ставят эту гипотезу под сомнение. Температура поверхности 60 000 К достигается только у самых горячих звезд класса O, а именно у звезд спектрального класса O3. Они чрезвычайно редки; в нашей Галактике известно лишь несколько таких объектов. Чтобы достичь светимости, в 100 млн. раз превышающей солнечную, потребовалось бы 30 таких звезд, причем в объекте R 136a все они должны находиться в области диаметром всего один световой год. И даже в этом случае трудно понять природу звездного ветра, «дующего» со скоростью 3500 км/с.

Наконец в январе 1982 г. два исследователя опубликовали измерения спектра R 136a в видимой области. П. Конти (Колорадский университет, Боулдер) получил спектр на 4-метровом телескопе Межамериканской обсерватории Серро-Тололо. Затем Д. Эббетс (Висконсинский университет, Мадисон) исследовал этот спектр методом усиления изображения. Благодаря этому удалось обнаружить широкие, но слабые эмиссионные линии. Эти линии принадлежат гелию и азоту, причем атомы азота двух-, трех- и четырехкратно ионизованы. Оптический спектр со слабыми эмиссионными линиями от горячего объекта, богатого гелием и азотом, характерен для звезд типа Вольфа — Райе, обозначаемых WN. Считают, что в начале своего «жизненного пути» такая звезда имеет массу от 30 до 50 масс Солнца, но затем значительная часть ее массы уносится звездным ветром и поэтому обнажается ядро, богатое гелием и азотом, которые образовались в результате термоядерных реакций. В нашей Галактике известно около 160 звезд Вольфа — Райе, и несколько десятков таких звезд

найдено в Большом Магеллановом Облаке.

Не скрывается ли в R 136a сверхмассивная неустойчивая звезда очень высокой светимости со спектром типа Вольфа — Райе? А что, если в результате мощной конвекции гелий и азот просачиваются на поверхность этого объекта и затем покидают его, уносимые потоком звездного ветра? Конти в сотрудничестве с Ф. Масси (Астрофизическая обсерватория Виктория, Канада) предпринял поиски звезд типа Вольфа — Райе в ближайшей спиральной галактике M 33, плоскость которой почти перпендикулярна лучу зрения. В 5 ярких областях HII они выбрали 14 звезд высокой светимости. Оказалось, что 8 из них имеют спектр типа Вольфа — Райе.

Устарела ли память на дисках

В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ системах всю трудоемкую работу по запоминанию огромных объемов информации выполняют обычно магнитные запоминающие устройства, главным образом вращающиеся диски, поверхность которых покрыта тонкой магнитной пленкой. В последнее время у дисков появился сильный конкурент — полупроводниковая память. Основное ее преимущество — отсутствие движущихся частей и большее быстродействие. По мере того как цена полупроводниковых устройств памяти падала, а их емкость увеличивалась, все чаще стали говорить о том, что магнитные диски устарели и в скором времени выйдут из употребления. Однако разрабатываемый сейчас новый метод магнитной записи, возможно, опровергнет эти преждевременные выводы.

На традиционных магнитных дисках запись информации осуществляется в продольном направлении. Это означает, что магнитные домены — элементы памяти — ориентированы параллельно поверхности пленки и направлению движения диска. Новый метод заключается в вертикальной ориентации магнитных доменов перпендикулярно поверхности пленки. Если этот метод будет успешно реализован, то он обеспечит значительное увеличение плотности записи информации.

При всех видах магнитной записи поверхность носителя, содержащая магнитные частицы, движется относительно записывающей головки, которая является электромагнитом. Первоначально все частицы могут быть ориентированы одинаково. При прохождении мимо записывающей головки состояние намагниченности отдельно взятой частицы меняется на обратное, если напряженность магнитного поля, генерируемого записывающей голов-

кой, превышает некоторое пороговое значение. Напряженность магнитного поля в свою очередь меняется в соответствии с величиной сигнала, поступающего на записывающую головку, и, таким образом, совокупность перемещенных частиц образует запись информации, содержащейся в исходном сигнале.

При продольной записи информации записывающая головка имеет два полюса, расположенных близко к поверхности носителя, причем генерируемое поле параллельно направлению движения носителя. Предельные возможности этого метода позволяют записать до 4000 бит (или двоичных разрядов) информации на одном сантиметре дорожки диска. При такой плотности записи поля рассеяния вызывают размагничивание отдельных областей носителя, причем по мере возрастания плотности записи эти области увеличиваются. Если же магнитные домены ориентированы перпендикулярно поверхности носителя, то при увеличении плотности записи области размагничивания сокращаются. Плотность, которой в конечном счете можно добиться, ограничена только шириной «стенки», отделяющей два противоположно намагниченных домена. В принципе можно добиться плотности записи информации, превышающей 180 000 бит на один сантиметр дорожки диска; при этом на каждом сантиметре ширины носителя можно расположить до 800 дорожек.

В настоящее время ряд американских, японских и западноевропейских фирм заняты разработкой систем памяти с высокой плотностью, основанных на принципе вертикальной записи. В большинстве случаев носителем служит кобальто-хромовая пленка на тонкой подложке. Основное отличие этого метода от метода продольной записи заключается в конструкции записывающей головки, имеющей по одному полюсу с каждой стороны носителя. При экспериментальных исследованиях удалось добиться плотности записи в 40 000 бит на один сантиметр дорожки. Если диски с вертикальным способом записи удастся внедрить для широкого использования, то первоначальная плотность записи информации, вероятно, будет составлять от 8000 до 16 000 бит на один сантиметр.

Мезозойская трагедия

ГИПОТЕЗА, согласно которой катастрофа, случившаяся в конце мелового периода, около 63 млн. лет назад, послужила причиной исчезновения многих растений и животных, получила подтверждение в 1979 г. в связи с открытием необычных концентраций минералов в осадках на границе мелового и третичного периодов, т.е. на рубеже

мезозойской и кайнозойской эр. Наиболее яркой отличительной особенностью этого слоя осадков является необычайно высокая концентрация иридия вследствие привноса внеземного вещества космическим телом — кометой или крупным метеоритом, — столкнувшимся с Землей. Аномально высокая концентрация иридия обнаружена в Италии, Испании, Дании и Новой Зеландии, а также в керне буровых скважин, поднятом со дна Тихого и Атлантического океанов. Недавно тонкие анализы нескольких образцов керна со дна Южной Атлантики также подтвердили гипотезу катастрофы и позволили предположить, каким образом из-за вторжения кометы или метеорита могли исчезнуть какие-то виды живых организмов. Эти образцы были получены в мае 1980 г. в ходе работ в рамках «Проекта глубоководного бурения». Их добыли из скважины 524, пробуренной вблизи подводной горной цепи, которую называют Китовый хребет, у нулевого меридиана и 30° ю.ш. Образцы изучают двадцать ученых из тринадцати университетов и других научно-исследовательских организаций. Они подготовили предварительный отчет, который опубликован в журнале «Сайенс».

В отличие от других образцов керна с морского океана, по которым граница меловых и третичных отложений устанавливается менее отчетливо, керн скважины 524 включает интервал чередования прослоев осадка мощностью более 30 см, и в этот интервал входит 3-см прослой глины, представляющий собой саму границу. В глине обнаружено необычно высокое содержание иридия.

Настораживает также то, что содержание карбоната кальция, которое в подстилающих и перекрывающих этот слой осадках составляет около 40 %, в самом слое снижается до 2 %. Это можно связать с массовым исчезновением планктонных организмов, наружные скелеты которых, богатые кальцием, обычно непрерывно оседают на морское дно.

Судя по результатам анализа изотопов кислорода, в конце мелового периода температура поверхностных вод Южной Атлантики повысилась на 10°. Скачок температуры объясняется парниковым эффектом, вызванным избытком двуокиси углерода в атмосфере. В нормальных условиях двуокись углерода поглощается фотосинтезирующей морской флорой; следовательно, вследствие исчезновения растительных организмов концентрация двуокиси углерода в атмосфере могла повыситься.

Обращаясь к гипотезе катастрофы, исследователи делают вывод, что исчезновение морских организмов вполне можно объяснить столкновением с большим космическим телом. После-

довавшее за такой катастрофой повышение температуры, длившееся, вероятно, около 50 000 лет, могло послужить причиной исчезновения некоторых наземных животных, например динозавров.

Международный информационный центр

ПРАВИТЕЛЬСТВО Франции создало Всемирный центр с целью содействия использованию микро-ЭВМ и информатики в общественной жизни. Предполагается, что новый центр будет стимулировать развитие французской микроэлектронной промышленности и обеспечит Франции ведущую роль в такой многообещающей и в то же время тающей опасности революционной перемене в человеческой деятельности, как компьютеризация (или, используя более емкое французское слово, — l'informatisation) общества. Всемирный центр информатики и людских ресурсов ставит своей задачей сконцентрировать в Париже усилия специалистов разных стран в области информатики, распространять новые знания и методы по всему миру, уделяя особое внимание развивающимся странам.

По распоряжению президента Миттерана Центр был организован писателем, журналистом и политическим деятелем Жан-Жаком Серван-Шрайбером, который и станет его президентом. Ведущая роль в Центре будет отведена американским специалистам в области информатики: пост директора-исполнителя получит Николас Негропonte из Массачусетского технологического института (МТИ), а директором по научной работе будет Сеймур А. Паперт (МТИ). По совместительству в Центре будут работать Алан С. Кэй из «Атари, инк.» и Радж Редди из Университета Карнеги — Меллона. Французские исследователи составят большинство в ученом совете, председателем которого назначен Жак-Луи Лионс, президент Национального института автоматiki и вычислительной техники. В совет директоров войдут девять министров. Ожидается, что годовой бюджет Центра составит около 100 млн. фр. (около 17 млн. долл.). Часть этой суммы Серван-Шрайбер надеется получить от других государств и международных организаций.

Создание центра можно объяснить возникшей во Франции озабоченностью по поводу социальных и экономических проблем, возникающих в связи с «информатизацией» и особенно в связи с растущей безработицей, которая считается неизбежным следствием широкого внедрения вычислительной техники в промышленность. Страх перед

ДЖИРЛ УОЛКЕР

безработицей, как отмечал в докладе Миттерану Серван-Шрайбер, явился преградой на пути к модернизации. И все же, утверждал он, та же самая наука, что создала мощные средства обработки информации и роботы, может при помощи микро-ЭВМ «развить и расширить индивидуальные возможности каждого человека, его способность к новым видам деятельности, новым формам творчества и к освоению новых профессий».

Короче говоря, ответом на угрозу ЭВМ является микро-ЭВМ, или, более точно, совершенствование и широкое распространение ЭВМ. Малые ЭВМ для бытовых и служебных целей уже существуют, как подтверждает Серван-Шрайбер, но они еще очень далеки от массового распространения.

Согласно заявлению Серван-Шрайбера, на первое время намечены три главных направления деятельности Центра. Первое — разработка устройств и средств программного обеспечения для подлинно персональных ЭВМ размером с книгу и стоимостью от 500 до 1000 фр. Второе — испытания экспериментальных вычислительных устройств в развивающихся странах. Некоторые страны уже выразили свою заинтересованность этими проектами, которые, возможно, будут частично финансироваться Организацией стран — экспортеров нефти. Третье направление предусматривает проведение во Франции экспериментов по использованию ЭВМ индивидуального назначения в общественной жизни и в образовании, учитывая в первую очередь потребности детей, инвалидов и престарелых.

БАЛЕТ — это единство красоты движений и их физической логики. Именно это сочетание привлекает Кеннета Лоса, профессора физики Колледжа Дикинсона и в то же время танцовщика молодежной балетной труппы Центральной Пенсильвании. Предлагаемый вниманию читателя анализ балетных поз и движений основан главным образом на том, что он мне рассказал.

В начале своего обучения танцовщица (или, если угодно, танцовщик) много сил тратит на то, чтобы научиться сохранять равновесие при выполнении любых балетных па. Равновесие достигается в том случае, когда тело занимает определенное положение над площадью опоры. Если же поза изменяется, то танцовщица должна изменить и положение площади опоры, в противном случае под действием силы тяжести она может упасть.

Несомненно, сила тяжести действует постоянно на каждую точку тела, однако можно упростить картину, воспользовавшись понятием центра масс тела. Центр масс — это математическая точка, положение которой определяется распределением массы по телу. Можно сказать, что суммарно сила тяжести действует на тело через центр масс.

В том случае, когда проекция центра масс на пол выходит за пределы площади опоры, сила тяжести создает воздействующий на тело момент вращения. Момент вращения представляет собой произведение силы (в данном случае силы тяжести) на расстояние, называемое плечом рычага. На рис. 1 изображена наклоненная человеческая фигура и показано направление силы тяжести и плечо. Момент вращения, появляющийся из-за того, что тело отклонено от вертикали, стремится отклонить его еще сильнее. Чем сильнее наклон, тем длиннее плечо и тем больше момент вращения. Если же танцовщица стоит вертикально, плечо рычага равно нулю и сила тяжести не создает момента вращения, поэтому вертикальное положение устойчиво.

У начинающего артиста балета стараются постепенно развивать чувство равновесия. Например, сначала разучивают самый простой вариант позы, которая называется первый *arabesque* (рис. 2), затем переходят к более сложной фигуре — *arabesque penchee*. Выполняя простейший вариант, *arabesque à terre*, балерина ставит правую ногу

вперед, а левую отводит назад, носком касаясь пола. В таком положении вес танцовщицы перенесен на правую ногу. Правая рука вытянута вперед, левая отведена немного назад.

Если отодвинуть левую ногу назад, центр масс сместится в том же направлении. Чтобы не упасть, танцовщица должна сделать уравнивающее движение. Центр масс можно вернуть в пределы площади опоры ступни правой ноги, наклонившись вперед и вытянув правую руку. Это движение и грациозно, и позволяет танцовщице сохранить равновесие.

Делая первый *arabesque allongée*, танцовщица продолжает наклоняться вперед до тех пор, пока ее торс и правая рука не примут почти горизонтального положения, а левая нога не поднимется наклонно вверх. В первом *arabesque penché* торс танцовщицы и правая рука наклонены вниз, а прямая левая нога поднята на высоту 45° или больше. В обеих позах та масса, которая сместилась вместе с поднятой левой ногой назад, должна быть уравновешена массой наклоненного торса и вытянутой вперед руки. Только в этом случае

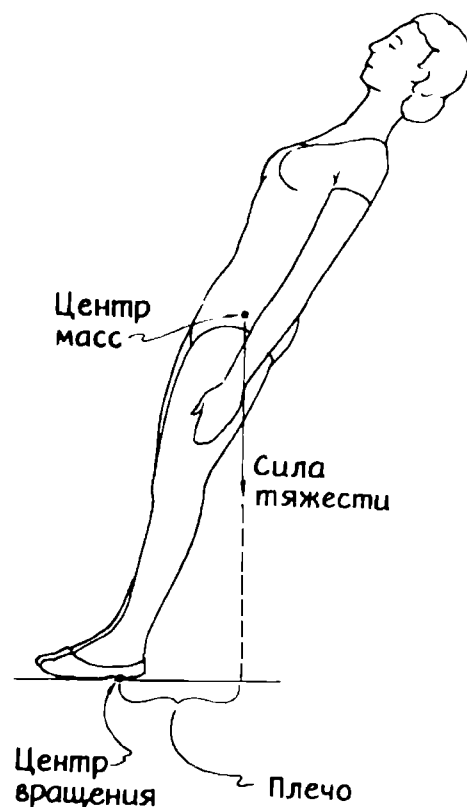


Рис. 1. Действие силы тяжести.

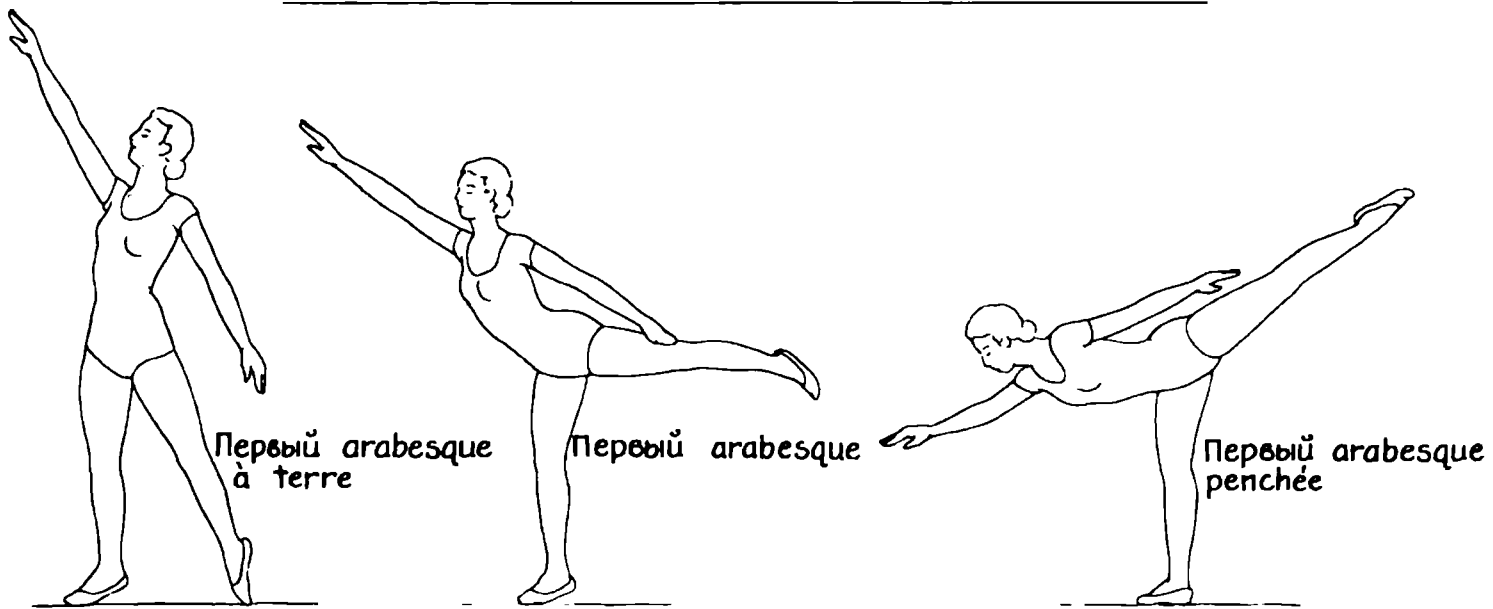


Рис. 2. Три разновидности первого arabesque.

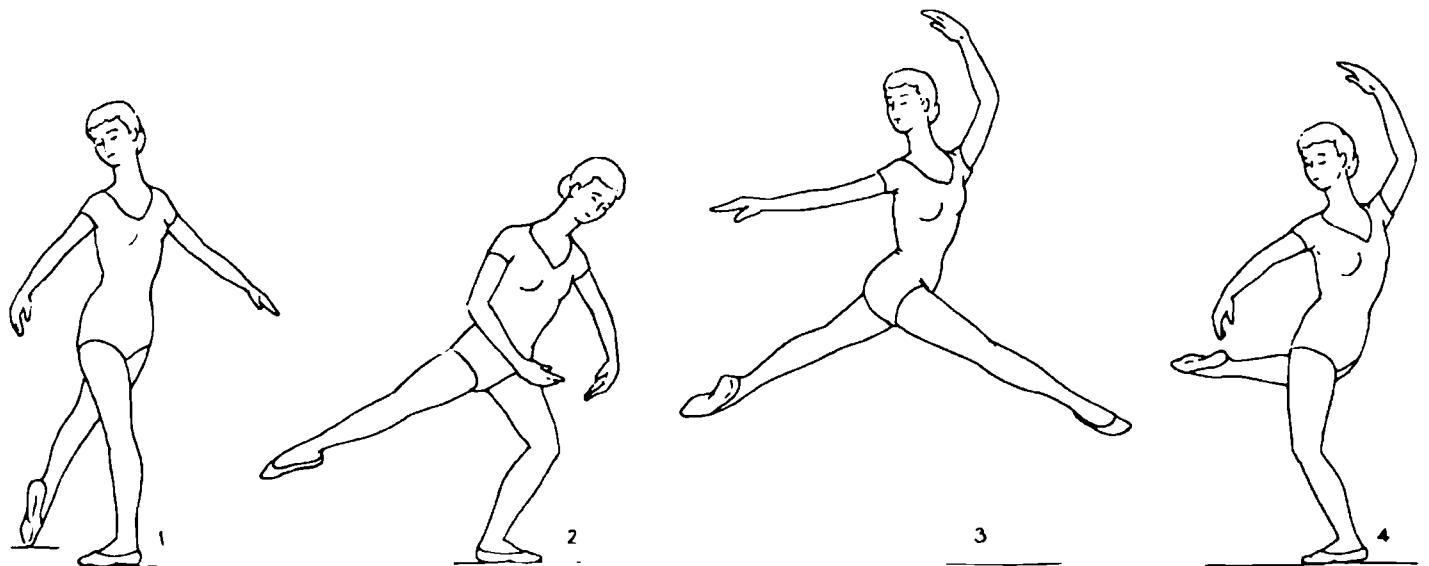
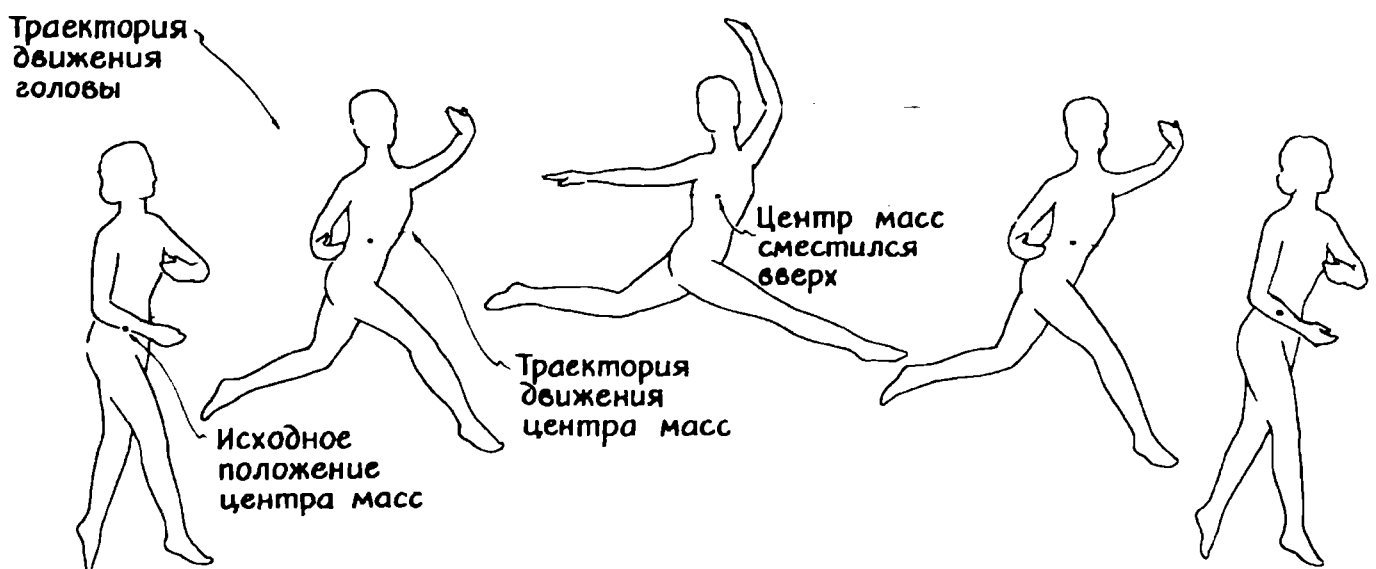


Рис. 3. Grand jeté.



Момент инерции мал,
скорость вращения велика



Рис. 5. *Jeté en tournant.*

центр масс останется в пределах площади опоры и танцовщица сохранит равновесие.

Очарование балета отчасти в том, что порой возникает иллюзия, будто физические законы перестали действовать. Например, как отмечает Лос,

правильно исполненное *grand jeté* (*grand jeté* — это большой эффектный прыжок вперед и вверх) создает впечатление, что, когда балерина находится в высшей точке прыжка, действующая на нее сила тяжести ослабевает.

Причин такой иллюзии две. Во-

первых, в соответствии с законами механики движение в высшей точке даже обычного прыжка несколько замедляется. Хотя горизонтальная составляющая скорости движения танцовщицы остается неизменной во время прыжка, вертикальная составляющая в высшей

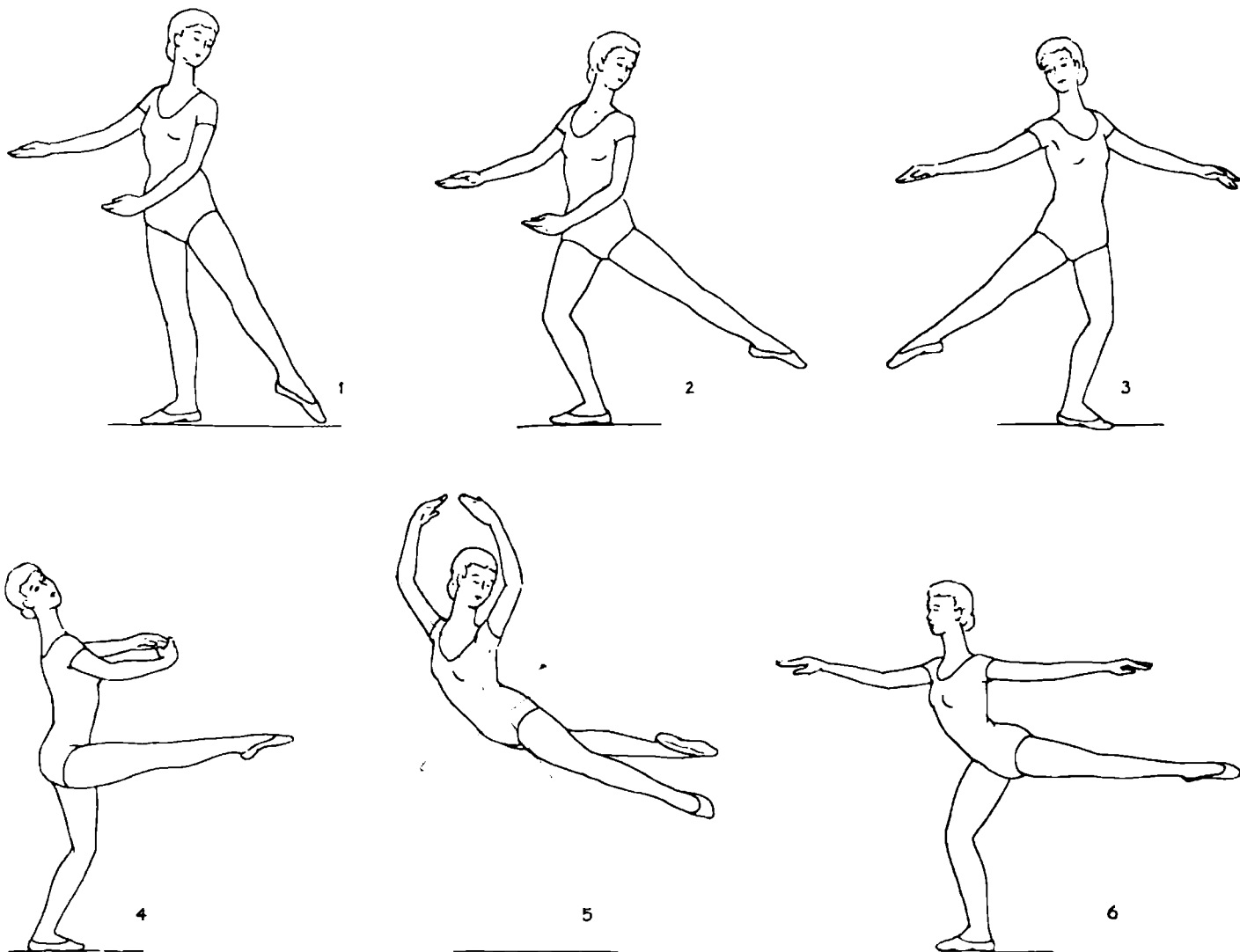


Рис. 6. *Grand jeté en tournant entrelacé.*

Рис. 7. *Soutenu en tournant.*

точке равна нулю. Непосредственно до и сразу после этого вертикальное движение происходит медленно. В результате примерно половину времени, которое занимает весь прыжок, балерина находится на высоте не ниже трех четвертей от максимальной высоты прыжка (рис. 4).

Во-вторых, благодаря определенным изменениям положения рук и ног танцовщицы в то время, когда она находится в воздухе, ее траектория вблизи высшей точки прыжка кажется более полой. Дело в том, что центр масс благодаря движению рук и ног смещается. Начиная прыжок, балерина опускает руки, как бы устремляя себя вверх. Приближаясь к максимальной высоте, она поднимает ноги и руки и распрямляет их, вследствие чего центр масс перемещается вверх. Поскольку центр масс описывает определенную траекторию, его перемещение означает, что голова и торс не поднимаются над полом на такую высоту, на какую они могли бы подняться. Приземляясь, танцовщица опускает руки и но-

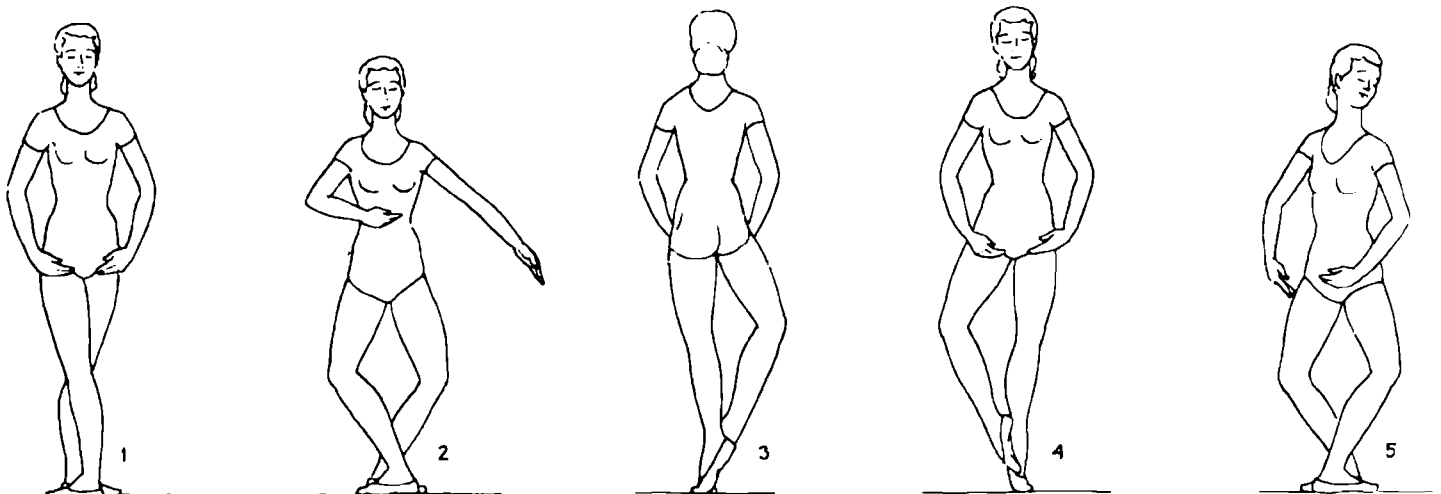
ги, и центр масс возвращается в исходное положение.

В движении *jeté en tournant* (прыжок с вращением; рис. 5) танцовщица в прыжке взлетает в воздух, не вращаясь относительно вертикальной оси, однако вблизи высшей точки прыжка она начинает вращаться. Казалось бы, это невозможно. Один из неизменных законов механики состоит в том, что угловой момент тела остается неизменным до тех пор, пока на тело не подействует момент вращения. Значит, если балерина не вращалась в момент отрыва от пола, она не сможет начать вращение, находясь в воздухе.

Этот парадокс объясняется следующим образом. На самом деле в начале прыжка танцовщица немного вращается благодаря моменту вращения, который она получает, отрываясь от пола. Однако ее вращение очень невелико, так что зритель его не замечает. Набирая высоту в прыжке, балерина подтягивает руки к груди и сдвигает ноги. В результате уменьшается момент инерции тела. Поскольку угловой мо-

мент движения тела не меняется, пока оно находится в воздухе, скорость вращения тела увеличивается. Совершенно то же самое происходит, когда, делая вращение, фигуристка прижимает руки к груди и начинает вращаться быстрее.

Танцовщица начинает движение *jeté en tournant* из так называемой пятой позиции. В этой позиции ступни ног параллельны, носки смотрят в противоположные стороны, левая нога развернута перед правой так, что пятка одной ноги вплотную приставлена к пальцам другой. Танцовщица скользящим движением перемещает левую ногу влево и быстро переходит в *arabesque*. Она сгибает колено левой ноги и делает так называемое *demi-plié*, затем быстро переносит правую ногу вниз и вперед, одновременно подпрыгивая на левой ноге. В прыжке балерина не только взлетает над полом, но и перемещается в горизонтальном направлении. В начальной фазе прыжка руки и одна нога вытянуты, это положение становится исходным для последующей груп-

Рис. 8. *Pirouette en dehors.*

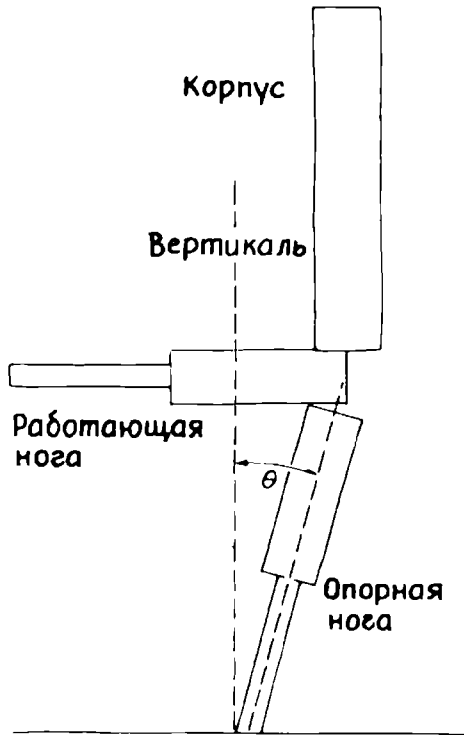


Рис. 9. Модель grand pirouette.

пировки рук и ног, ускоряющей вращение.

Танцовщица опускается на правую ногу в demi-plié, при этом она должна оказаться лицом к зрителю. Опытная балерина умеет правильно учитывать момент инерции тела и управляет своим телом в прыжке так, что всегда приземляется в нужное положение.

Не менее красив, хотя и труднее в исполнении, прыжок grand jeté en tournant entrelacé (рис. 6); его называют также grand jeté en tournant или просто tout jeté. Танцовщица начинает это движение, присев в demi-plié на правую ногу. Она поднимает левую ногу в сторону на высоту 45°, затем делает шаг назад на левую ногу и отталкивается ею от пола, резко поднимая при этом правую ногу по кругу вперед, так что правая нога касается левой как раз в тот момент, когда тело балерины поворачивается влево. Оказавшись в воздухе, танцовщица вращается вокруг оси, которая отклоняется от вертикали. Руки она держит над головой как можно ближе к оси вращения тела, а левую ногу плотно прижимает к правой, так что обе ноги как бы переплетаются и совершают оборот вокруг одной и той же оси. Балерина приземляется на правую ногу в первый arabesque.

Танцовщица вращается в воздухе довольно быстро благодаря тому, что ее момент инерции мал. Подпрыгнув, балерина вытягивает руки и ноги вдоль оси вращения. Выполнив поворот, она резко прекращает вращение, разводя руки, и вытягивает правую ногу, чтобы приземлиться.

В классическом танце есть много разных приемов вращения. Один из них используется в soutenu en tournant (рис. 7). Из исходного положения (пятая позиция ног, левая нога впереди) танцовщица переходит в demi-plié, перенося вес тела на левую ногу, а правую ногу отводит в сторону. Затем она ставит правую ногу опять в пятую позицию, но теперь перед левой ногой и поднимается на носки (или пуанты), сплетая ноги для того, чтобы создать момент вращения, который начинает поворачивать ее влево.

Pirouette — это более стремительный поворот; момент вращения в нем также создается движением ног. Рассмотрим сначала pirouette в четверть оборота. Из пятой позиции (правая нога впереди) правую ногу отводят в сторону, одновременно руки сначала ставят перед собой, а затем разводят в стороны. Затем правую руку переносят вперед, правую ногу возвращают в пятую позицию. Наконец, танцовщица отталкивается от пола правой ногой и совершает поворот вправо. Одновременно она поднимается на левой ноге на носок, который служит точкой опоры.

Вращению, начавшемуся от толчка правой ногой, способствует то, что танцовщица подтягивает к груди левую руку. Благодаря этому движению поворот выглядит грациознее и, кроме того, уменьшается момент инерции, что позволяет балерине быстро повернуться на четверть оборота. Вернувшись в пятую позицию, танцовщица может сразу же начать новый pirouette.

Pirouette в целый оборот отличается в основном движением головы и величиной углового ускорения. Чтобы совершить полный оборот, необходим больший момент вращения. В начале вращения танцовщица держит голову, как и в исходном положении, прямо и остается лицом к зрителю до тех пор, пока корпус не повернется примерно на 90°, тогда балерина резко поворачивает голову в направлении вращения, а потом быстро возвращает ее в прежнее положение в тот момент, когда корпус совершит поворот на 270°. Вслед за тем она вновь оказывается лицом вперед.

Grand pirouette — это такое вращение, когда одна нога и обе руки отведены горизонтально в стороны. Математический анализ этого вращения довольно затруднителен, но можно рассматривать вместо реального человеческого тела простую по форме модель. Лос именно так и поступил (см. рис. 9). В его модели «тело» состоит из верхней части массой M и длиной L и «ног»; каждая нога состоит из двух частей. Общая масса «голеней» и «ступней» равна $m/3$, а длина — $L'/2$. «Бедро» имеет такую же длину, но его масса равна $2m/3$. Для мужчины отноше-

ние $M:m$ равно примерно 3,8, а L приблизительно равно L' .

Верхняя часть тела при выполнении grand pirouette находится в вертикальном положении. В нашей модели одна нога отведена в сторону и вытянута горизонтально. Опорная нога выпрямлена и стоит под углом θ относительно вертикальной оси, проходящей через ее ступню.

Лос заинтересовался, каким должен быть угол θ , чтобы вращение вокруг вертикальной оси было устойчивым. Вначале он рассчитал этот угол для случая неподвижной танцовщицы. Как я уже говорил, условие равновесия состоит в том, чтобы центр масс танцовщицы находился над точкой опоры. Поскольку одна нога отведена в сторону и расположена горизонтально, танцовщица должна поставить опорную ногу наклонно для того, чтобы переместить вес и за счет этого восстановить положение центра масс. Равновесие достигается, когда угол между опорной ногой и вертикалью составляет около 4,4°.

Что происходит, когда балерина вращается? Я думал, что картина будет та же, однако расчеты Лоса показали, что угол θ в этом случае должен быть равен 3,5°. При вращении возникают дополнительные условия равновесия. Верхняя часть тела должна располагаться ближе к вертикальной оси, а вытянутую ногу следует отволить больше. Таким образом, при вращении центр масс танцовщицы несколько смещается от вертикальной оси и, несмотря на это, она продолжает сохранять равновесие.

Еще более сложное вращение требуется для выполнения fouetté. (В 3-м действии балета «Лебединое озеро» балерина, танцующая Одиллию, делает 32 оборота). Это вращение представляет собой, по существу, pirouette в целый оборот, только источник действующего на танцовщицу момента вращения остается скрытым. Балерина вращается точно по волшебству.

От начала и до конца fouetté правая нога не касается пола, а находится почти все время вблизи колена опорной левой ноги. (Танцовщица вращается на носке левой ноги.) В тот момент, когда ее корпус разворачивается к зрителям, балерина выбрасывает правую ногу вперед и раскрывает руки. Пятка левой ноги опускается на пол, и левая нога сгибается. Затем вытянутая правая нога отводится по кругу влево, как бы продолжая вращение, в то время как остальная часть тела остается обращенной к зрителю. Когда правая нога совершит поворот на 90°, ее носок подводится к левому колену и левая нога вновь встает на пуант. Затем балерина повторяет все сначала.

Каким образом танцовщица создает момент вращения, достаточный для

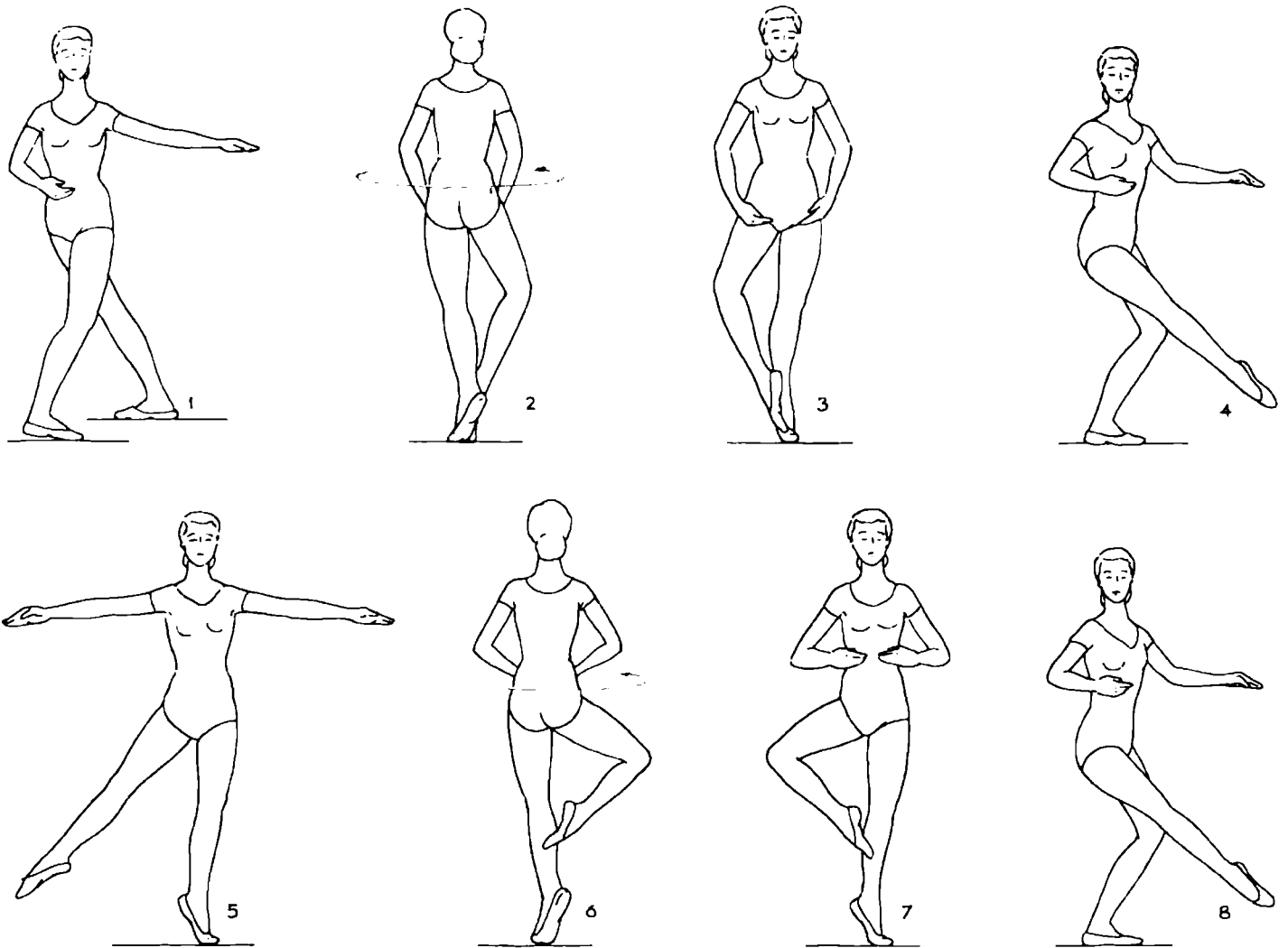


Рис. 10. *Fouetté en tournant в два оборота.*

продолжения вращения? Ведь с каждым оборотом трение между ступней опорной ноги и полом уменьшает угловой момент и замедляет вращение. Секрет заключается в движениях правой ноги. Когда балерина выносит выворотную правую ногу вперед, на это уходит тот угловой момент, которым обладала танцовщица.

Вращение тела прекращается (но при этом правая нога продолжает двигаться

в направлении вращения), в этот короткий промежуток времени балерина успевает поставить левую пятку на пол. Теперь она может вновь оттолкнуться от пола, создавая момент вращения для следующего оборота. Чтобы усилить вращение, танцовщица подтягивает правую ногу, касаясь ее носком левого колена, в результате чего уменьшается момент инерции.

Fouetté очень трудное па. Лос отме-

чает, что начинающие обычно ошибочно выбрасывают правую ногу сразу в сторону, тогда как ее движение должно быть таким, чтобы уничтожить угловой момент. Важно также открывать ногу полностью, то есть вытягивать ее до конца. Только тогда уничтожается весь угловой момент.

Момент инерции вытянутой ноги примерно в 1,7 раза больше момента инерции тела. Следовательно, чтобы

Вращение рук и ног происходит в противоположных направлениях



Рис. 11. *Pas de chat.*

движение ноги поглотило угловой момент тела, нога должна поворачиваться медленнее, чем тело. Обычно *fouetté* выполняется со скоростью 2 оборота в секунду, вытянутая нога при этом поворачивается соответственно только на 1,2 оборота. Если движение этой ноги поглотило весь угловой момент, у танцовщицы остается около 0,3 секунд, чтобы оттолкнуться для выполнения следующего оборота.

Выполняя *grand pas de chat* (рис. 11), балерина должна сделать прыжок в определенной позе; для этого также необходимо использовать законы вращения. Из пятой позиции танцовщица делает *demi-plié* на правой ноге и одновременно полусогнутую левую ногу поднимает назад примерно на 45° относительно вертикали, а затем прыгает вперед, отталкиваясь опорной ногой. Как только танцовщица оказывается в воздухе, она соединяет ноги, при этом левая нога, поднятая перед прыжком на 45° , не изменяет своего положения, а полусогнутая правая подтягивается к ней. Чтобы соединить ноги, требуется вращение левой ноги относительно центра масс танцовщицы. Однако ее угловой момент в воздухе равен нулю. Каким образом балерине удается вращаться так, что угловой момент и поза не меняются? Танцовщица отводит руки в сторону в направлении,

противоположном движению левой ноги. Этого достаточно, чтобы суммарный угловой момент рук и правой ноги стал равен нулю. Благодаря такому приему танцовщица осуществляет в воздухе поворот части тела.

Лос проанализировал особенности сохранения равновесия в движении *promenade en attitude derrière*. Балерина начинает из позы *derrière en pointe*: она стоит на носке одной ноги, а другую ногу держит на весу. Одну ее руку поддерживает партнер, к которому она обращена лицом. Другая рука грациозно поднята. Долго находиться в этой позе трудно, потому что необходимо следить за равновесием. Если танцовщица переходит в нее в движении, она может легко потерять равновесие.

7 Удержать равновесие в этой позе можно усилием всего тела, вернув центр масс на опорную ногу, однако от этого движение станет некрасивым. Балерина могла бы также согнуть руку и тем самым как бы подтянуться к партнеру или, наоборот, оттолкнуться от его руки, но тогда возникнет момент вращения, который вынудит танцовщицу повернуться на опорной ноге. В результате она окажется спиной к партнеру как раз тогда, когда ей следует быть к нему лицом.

Наилучший способ сохранить равновесие — правильно распределить усилия в точке, где соединяются руки партнеров. Согласно Лосу, соприкасающиеся руки партнеров должны держать горизонтально, развернув локоть вверх. В этом случае балерина может держаться за руку партнера так, что момент вращения не возникает. Схема сил, приложенных к руке танцовщицы, показана на рис. 12. Усилие партнера можно изобразить как две направленные в противоположные стороны силы; точка приложения каждой из них смещена от центра ладони на расстоянии d . Центр ладони находится на расстоянии D от вертикальной оси, проходящей через опорную ногу партнерши. Эти две силы создают моменты вращения, стремящиеся повернуть тело танцовщицы в противоположных направлениях. Можно добиться, чтобы возникшие моменты вращения взаимно уничтожились. Это достигается тем, что ближе к запястью ладонь балерины должна опираться на руку партнера сильнее, чем вблизи пальцев. Тогда произведение ближней силы на ее плечо, то есть ее момент, сравняется с моментом дальней силы, поскольку плечо ближней силы короче. В результате приложенные к руке силы не вызовут вращения тела относительно стоящей на носке опорной ноги. Найдя нужное положение руки, балерина может немного приближаться к руке партнера или удаляться от нее, то есть изменять положение центра масс так, что зритель этого не заметит.

Среди мужских прыжков есть такие, в которых танцовщик должен в воздухе ударить одной ногой о другую. Один из них, *entrechat quatre*, начинается из пятой позиции ног. Танцор приседает в *demi-plié*, а затем подпрыгивает вертикально вверх. В воздухе он разводит ноги в стороны, быстро сводит их, опять разводит и, наконец, соединяет, опускаясь на пол в пятую позицию на *demi-plié*. Опытный танцовщик, обладающий мощным прыжком, может делать в одном прыжке два удара и более.

Лос попробовал выяснить, почему для танцовщика с крупной фигурой это движение часто представляет трудность. Высокий, мощного сложения танцовщик, как правило, не может добиться такой частоты и амплитуды соударений ног в прыжке, какие удаются невысокому и изящному исполнителю. Хотя более крупный танцовщик может быть и сильнее, его ноги массивнее, и поэтому двигать ими труднее. Кроме того, ему приходится поднимать большую массу и, стало быть, труднее подпрыгнуть на такую же высоту своего роста, как танцовщику с менее крупной фигурой.

Я коснулся лишь некоторых движений классического танца. Вы можете продолжить сами. Попробуйте проанализировать какое-нибудь балетное па. При этом хорошо иметь серию фотографий, сделанных при стробоскопическом освещении, а еще лучше — киноплёнку, которую можно просматривать в замедленном темпе и по желанию останавливать. Не следует думать, однако, что фотографии или кинолента очень упростят анализ. Форма человеческого тела и его движения весьма сложны, поэтому придется пользоваться упрощенными моделями, как это делал Лос, анализируя *grand pirouette* и другие движения.

Анализ балетной техники сложен еще и потому, что, желая выяснить физические принципы какого-либо па, следует отделять те компоненты движения, которые обусловлены требованиями грации и стиля, от тех, что составляют сущность данного движения. И Лосу и мне было бы интересно узнать о ваших находках в этой занимательной области.

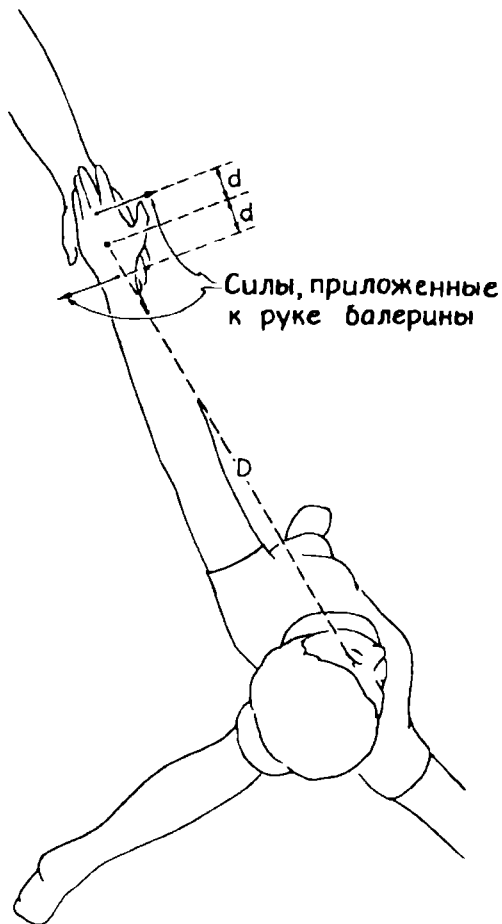


Рис. 12. Равновесие сил в позе *derrière en pointe*.

КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ПО ФИЗИКЕ. Под редакций Г. Л. Андерсона. PHYSICS VADE MECUM. Herbert L. Anderson, editor-in-chief, American Institute of Physics, New York (\$ 25)

АМЕРИКАНСКИЙ институт физики (АИФ) вот уже в течение 50 лет объединяет около 60 000 американских физиков и различные организации, представляющие эту могущественную науку; он включает девять национальных обществ с десятками журналов, архивы научных публикаций. Среди физиков есть специалисты в самых разных областях — акустике, оптике, физике низких температур, медицине и многих других. Фундаментальные направления исследований разрабатываются в крупных лабораториях ядерной физики, физике элементарных частиц, физике твердого тела и атомной физике.

АИФ включает также астрономов; в большинстве университетов США на физических факультетах преподают и астрономию — древнюю предшественницу физики. Физика всегда была сильно дифференцированной наукой. Например, с гидродинамикой связаны имена таких ученых, как Гельмгольц, Кельвин, Рэлей и Ландау, хотя своим развитием она обязана специалистам по прикладной математике, авиационерам, инженерам-гидрологам, метеорологам, океанографам и физиологам. В настоящее время круг ученых, занимающихся вопросами гидродинамики, гораздо шире. В качестве приложения к журналу "The Physical Review" выпускается "The Physics of Fluids".

Издание этого прекрасно оформленного справочника «для широкого круга физиков», объединенных АИФ, приурочено к юбилею его существования. Книга довольно компактна; страниц десять отведено под определения, численные значения различных величин, формулы и литературные источники для физиков любой из 20 специальностей. В главном разделе, объем которого в четыре раза больше, приведены единицы измерений, фундаментальные математические и физические формулы, а также описаны важнейшие свойства материалов и соединений, широко применяемых в лабораториях.

У справочника есть предшественники, обычно более специальные или более полные; по объему и форме представления материала ему наиболее близок известный справочник С. W. Allen "Astrophysical Quantities"* — настольная книга астрофи-

зиков. В книге имеются сведения по всем разделам физики. Она рассчитана на широкий круг читателей, знакомых с основами этой науки.

Десять страниц не так уж много для современной физики. Рассмотрим, например, главу, посвященную кристаллографии. Она начинается с краткого исторического введения и библиографии, показывающей, что публикации в этой области часто появляются в химических журналах. Далее следуют таблицы точечных групп симметрии, некоторые обозначения и две страницы с данными о постоянных решетках различных веществ — от алмаза до соли Рошеля, кварца, пенициллина и миоглобина. Пять следующих страниц посвящены геометрии и физике дифракции, дифрактометрам, описанным с множеством деталей, а также таблицам массовых коэффициентов ослабления. Затем приведены коэффициенты рассеяния рентгеновских лучей и нейтронов на атомах кристаллической решетки и таблица поправок на дисперсию. Рассмотрено влияние теплового движения атомов решетки на интенсивность брэгговских максимумов. Глава завершается кратким описанием методов определения фаз по интенсивностям Брэгга, измеряемым экспериментально.

В этой области расчеты с помощью ЭВМ имеют ведущее значение. Благодаря цифровым ЭВМ (наиболее широко используемая программа — MULTAN) кристаллография повседневно применяется для изучения молекул, состоящих из нескольких десятков атомов, а также для выявления тонкой структуры биологических макромолекул. Один из примеров единого подхода, который можно найти в справочнике, касается метода изотопозамещения атомов, ранее использовавшегося для устранения неоднозначности при изучении дифракции рентгеновских лучей, а в настоящее время применяющегося и в инфракрасной спектроскопии для определения положения осциллирующих атомов в молекуле.

Здесь мы не можем изложить содержание всех разделов. Некоторые из них очень интересны. Например, физика низких температур в наши дни имеет дело с самыми разнообразными полупроводниками, каждый с особыми свойствами, благодаря которым они находят применение в технике. Никого не удивит температурой в несколько милликельвинов. Шкала температур протянулась до столь низких значений благодаря использованию фермижидкости — гелия-3. В настоящее время физики заняты крупномасштабными энергетическими проблемами; поэтому в справочнике помещены таб-

лицы потребления энергии в США, теплового сопротивления винилового покрытия и мирового потребления различных видов энергии с течением времени. Рассмотрены также звезды и кварки, калибровка источников гамма-излучения (по энергиям фотонов с точностью до седьмого знака), температуры феррозлектрических и ферромагнитных переходов, свойства плазмы от межзвездного газа до крошечного облачка, созданного лучом лазера, глобулярная третичная структура миоглобина.

Не все читатели сведущи в рассмотренных вопросах, не все будут применять эти данные. Многие предпочтут книги с библиотечной полки или книги, находящиеся непосредственно под рукой. Материал справочника довольно подробно и удачно разбит на разделы. Редакторы и сотрудники редакции, художники — все, кто принимал участие в создании книги, достойны похвалы. Справочником очень удобно пользоваться. Возможно, аналитическому уму будет интересно попытаться объяснить, почему полностью опущено описание ударных волн, взрывчатых веществ, продуктов деления атомных ядер, термоядерных реакций; в таблице параметров различных горючих веществ не нашел себе места тринитротолуол (ТНТ), хотя на его энергоемкости основаны хорошо известные единицы, не применяемые в повседневной жизни. Не все разделы физики и ее приложения в технике представлены одинаково полно. Недостающая информация ищется в других специальных справочных пособиях. Данное издание, включающее широкий спектр вопросов, является хорошим дополнением к ним.

Джеймс П. Кеннет. МОРСКАЯ ГЕОЛОГИЯ.

MARINE GEOLOGY, by James P. Kennett. Prentice-Hall, Inc. (\$34.95).

МОРЕ, несомненно, представляет собой совершенно особый элемент в общей картине земной поверхности. В водной стихии геолог не может отправиться в пеший маршрут и молоток ему больше не помощник. До тех пор пока не появились способы исправить это положение, геология была однобока. Большая часть наших знаний о геологии моря получена за последние тридцать лет; книга «Морская геология» — первый исчерпывающий обзор общего характера, составленный без привлечения математического аппарата. Помимо него лишь немногие иностранные научные труды построены на данных оригинальных публикаций менее чем десятилетней давности; эта

*К. У. Аллен. Астрофизические величины. — М.: ИЛ, 1960; М.: Мир, 1977. — Прим. ред.

книга — свидетельство происшедшей в науке революции. Геология шагнула в море.

На фотографии времен второй мировой войны — Гарри Хесс, служивший тогда штурманом транспортного судна. В начале шестидесятых годов он одним из первых предложил концепцию расширения и поглощения морского дна, вдохнувшую новую жизнь в отвергавшуюся долгое время идею дрейфа континентов, которую высказал Альфред Вегенер. Это не просто памятная фотография — она символизирует инженерные достижения военных лет, ставшие технической базой современной морской геологии. Какую информацию могли получить геологи, если они не могли видеть морское дно, а лишь с трудом нащупывали его с помощью длинного троса, как это делалось столетие назад с борта «Челленджера»? В наши дни дно прослушивают. О зарождении совершенной ныне техники возвестил писк противолодочного гидролокатора.

Началось с того, что стали производить непрерывную запись глубины моря под килем судна по мере его продвижения. В настоящее время при помощи многоканальной аппаратуры методом отраженных волн исследуют строение слоистых осадков на дне океана до пород фундамента. Первое время для этого «каждые три минуты за борт судна бросали полуфунтовую шашку тола». Теперь же отраженные акустические волны от непрерывных выстрелов воздушной пушки высокого давления улавливаются гидрофонами, заключенными в пластиковую трубу длиной в несколько километров, которую тянут на буксире в кильватере судна.

Предлагаемая вниманию читателя книга довольно велика по объему — примерно восемьсот страниц; в ней также множество карт и диаграмм. Книга состоит из четырех частей. В первой части описываются строение океанической коры и морские течения; во второй — наиболее важные активные континентальные окраины и шельфы; далее — осадки дна Мирового океана (данные об их строении, по-видимому, самые новые); в заключение излагается общая история развития океанов, его циклы и переломные моменты (главным образом в течение последней десятой части геологической временной шкалы).

Геометрическая форма и физическая природа огромных естественных линий и дуг, являющихся элементами рельефа морского дна, отражают движения жестких плит, каждая из которых в определенные периоды вращается относительно некоторых перемещающихся точек. В книге полно и ясно описаны крутые горячие подводные хребты, плиты, погружающиеся и приводимые в столкновение тектонически-

ми процессами, плавные дуги зон разломов, по которым части хребтов смещены относительно друг друга. На этом материале воссоздается история развития и строение океанов, разумеется, с учетом тех представлений, которые геофизики составили по данным магнитных и сейсмических исследований. Прослежена эволюция каждого из трех великих океанов. Атлантический океан ныне, после двухсот миллионов лет роста, вступил в стадию зрелости. Тихий океан, который некогда был всемирным океаном, омывавшим единственный континент-остров, в настоящее время сокращается, и, хотя он все еще Великий, через двести-триста миллионов лет он закроется полностью.

Драматически описано, как на полном ходу столкнулись Индия и Южная Азия. Вначале произошло мягкое столкновение с островной дугой; затем последовали грандиозные толчки, они привели к сжатию коры, в результате которого возникли высочайшие горы планеты. Как видите, заоблачные выси неожиданно находят свое место в истории самых низких равнин и морских глубин. Лежащие вдали от берегов плоские глубоководные равнины, которые уже не достигают несущие ил речные воды и внезапные подводные оползни, заполняются осадками очень медленно. «Челленджер» обнаружил красную глину в глубинах Тихого океана; она покрывает половину площади его дна. Мельчайшие частицы, из которых состоит глина, переносятся в виде пыли воздушными течениями с материков; они представляют собой по большей части чешуйки слюдястых минералов, покрытые окислами железа, и поэтому имеют цвет ржавчины. Однако около половины поверхности дна океана покрывают карбонатные остатки органического происхождения — белесый ил скелетов планктонных организмов, главным образом фораминифер и им подобных. Основная масса этих частиц, растворяясь, не успевает достигнуть больших глубин. Этот ил, подобно снегу, покрывает вершины подводных возвышенностей.

Новое смелое начинание — глубоководное бурение — успешно заменяет геологический молоток. Глубоководное бурение производится в рамках специальной Международной программы, начатой в 1968 г.; в настоящее время оно ведется во всех океанах, кроме Северного Ледовитого. Такую работу выполняет новый «Гломар Челленджер», с которого можно бурить скважины под водой на глубинах до 6 км и извлекать колонки пород (керна) длиной более 600 м. Гидролокаторы этого исследовательского судна способны нащупать в глубине маленькую воронку устья скважины и снова войти в нее для добуривания. Совсем недавно геологи спустились в глубоководных аппара-

тах, чтобы непосредственно наблюдать расширяющиеся хребты. Результаты этих исследований трудно переоценить. Морское дно вовсе не застыло безмолвно, его стратиграфическая летопись, которую читают по илу и глинам, так же полна несогласий и перемен, как и геологические разрезы на суше. Ее можно изучать при помощи различных тонких методов определения возраста, по характеру распределения изотопов, по чередованию глин и карбонатного «снега».

В стратиграфических летописях часто обнаруживаются свидетельства того, что морские бассейны высыхали и на их месте в течение какого-то времени были соляные пустыни. Именно такое явление было обнаружено в Средиземноморье. Судя по залежам соли мощностью в несколько километров, залегающим здесь на большой глубине, вода морского бассейна многократно полностью испарялась. Вытянутая впадина этого моря пересыхала десятки раз. В последний раз она наполнилась водой через Гибралтарский пролив около пяти миллионов лет назад; последовательные уровни морского дна отмечены илстыми и глинистыми прослоями осадков.

В целом книга — просто кладезь такого рода фактов. Любой читатель, даже тот, кто знаком с геологией лишь по школьной программе, сможет увидеть новый мир; неизменно глубокий и вдумчивый подход придает созданной автором захватывающей картине морского дна достоверность и убедительность. Конечно, картина эта далеко не полна, ведь керны буровых скважин отобрано пока не так много, а ситуацию здесь можно сравнить с попыткой описать строение территории США на основании полудюжины образцов из скважин, разбросанных по всей стране.

Роберт Фейген. ИГРОВОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЖИВОТНЫХ
ANIMAL PLAY BEHAVIOR, by Robert Feigen. Oxford University Press (\$29.95)

ДЕТЕНЬШ бегемота кувыркается в теплых водах родного озера; потешные бои затевают между собой резвящиеся лвята; мамаша шимпанзе и ее отпрыск развлекаются тем, что строят друг другу забавные гримасы; котенок оцелота делает вид, что кусает играющего с ним человека, — все они предстанут перед вами на великолепных иллюстрациях, которые украшают эту монографию об играх в мире животных. Ее автор, специалист по поведению животных, работает в Пенсильванском университете; прежде он занимался биофизикой в Гарварде. Игры Фейген изучал у воронов, пони, у диких и домашних кошек. Впрочем, свои

симпатии он не скрывая отдает именно представителям семейства кошачьих. В самом деле, эти хищники держат по отношению к человеку, так сказать, «среднюю дистанцию»: с одной стороны, природа их очень близка нам и вполне доступна для изучения, с другой — для того, чтобы проникнуть в ее секреты, одной интуиции исследователя явно недостаточно. А кроме того, какие это чудесные звери, особенно когда играют!

Не подумайте, однако, что этот объемистый том предназначен для любителей занимательных рассказов о поведении животных. Примерно четвертая часть книги отведена естественной истории игры; здесь все тщательным образом классифицируется. Этот раздел завершается внушительным аннотированным списком всех известных публикаций об играх в мире животных (тут и орлы, и носороги, нет разве что трубказубов), не говоря уже об огромной библиографии по макак-резусу, шимпанзе и человеку. Список занимает 25 страниц. Безусловно, такая сводка очень полезна; однако книга не ограничивается обсуждением чужих данных. Автор видит свою задачу прежде всего в критическом, методологическом, теоретическом осмыслении вопроса, старается подвести под него математическую базу. В первой главе в играх животных условно выделяются три составляющие: игровая борьба (и подобные ей действия), «локомоторно-ротационные» (проще сказать — двигательные-вращательные) упражнения и различного рода манипуляции с незнакомыми объектами. Углубленный анализ определений, основанных, правда, на наших далеко не полных представлениях о предмете, переходит в близкое к философскому обсуждение причин возникновения игрового поведения и его функций.

Профессор Фейген считает, что при рассмотрении игры необходимо ее теоретическое обоснование. Он ищет его в общих установках экспериментальной биологии сообществ, особое внимание уделяя адаптивному взаимодействию генов и поведения; при этом изучается баланс между расходами организма на игру и пользой, приносимой таким типом поведения. В самом деле, игра требует затрат времени и энергии, однако она же развивает силу и ловкость играющего. Игра — один из элементов приспособительной стратегии социального поведения; способность к ней явно каким-то образом зафиксирована в программе индивидуального развития организма. Эти идеи подробно рассматриваются каждая в отдельной главе. Дополняющие изложение математические модели основаны на теории игр и рекурсивных отношениях частоты гена, рассматриваемой в качестве величины, которая вовлечена в разно-

образные простые взаимодействия типа «затраты — выгода»; обсуждаются также возможности применения ЭВМ для исследования этих моделей. (Большая часть математических выкладок предусмотрительно вынесена из основного текста в приложения.)

Обычного читателя вряд ли особенно заинтересуют генетические модели, которые, пожалуй, чересчур упрощены. Впрочем, с нашими знаниями трудно прийти к лучшим результатам. Фактически показано только то, что частота гена игры может вести себя весьма странным образом, на ней отражаются малейшие изменения в модели. При желании можно ввести в модель даже такие явления, как социальные новшества и культурный обмен. Результаты, впрочем, довольно сложно интерпретировать. Создается впечатление, что конкретные научные вопросы решить с помощью предлагаемых общих формулировок непросто: независимых фактов, необходимых для построения четких гипотез, явно недостаточно.

Одно из сильных утверждений автора, а именно: «Игра — малораспространенный природный феномен», вполне подтверждается наблюдениями. Игруют только млекопитающие и птицы. О рептилиях сказать что-то определенное в этом смысле трудно, о других группах животных данные либо не вполне надежны, либо явно негативны. Муравьям и рыбам свойственно сложное социальное поведение, однако игра им неизвестна. Это могло бы навести на мысль, что для проявления способности к игре необходимо определенное развитие головного мозга — этой мощной, индивидуально изменчивой системы, управляющей поведением. Модели, в которых предполагается, что существуют особые, независимые от общего эволюционного уровня гены, ответственные за различные виды игры, не более убедительны, чем, скажем, попытки генетически объяснить, почему более крупные животные весят больше — ведь нет аллелей невесомости. Не исключено, что для успешного функционирования всякой саморазвивающейся программы требуется игровой фактор. Может быть, именно в этом направлении, а не в области чистой генетики поведения найдется путь к пониманию проблемы. Профессор Фейген уделяет внимание и такой возможности, но большая часть собственных его исследований так или иначе относится к сфере воображаемых всеобъясняющих генов. Естественно, пока трудно решить, что правильнее, и автор старается не делать окончательных выводов.

В книге затронуты и проблемы, связанные с человеком; правда, Фейген не стал делать большой заключительной главы «о людях». Тем не менее вы сможете прочесть и о творческих спо-

собностях, и об искусстве, найдете интересные истории об Августе Кекуле и Сальвадоре Лурья, которые в своем творчестве с успехом применяли известную игру «в сравнения». Эрудиция автора впечатляет. Книга открывается эпиграфом из вергилиевских «Георгиек». В заключительных строках автор пользуется словами Гераклита и Патрика Генри Пирса. В книге девять приложений, список литературы состоит из почти 1800 названий. Хотя сам профессор Фейген, пожалуй, мало расположен к играм, в тексте попадаются и шуточные нотки; так, среди видов, демонстрирующих игровое поведение, указываются драконы (правда, рядом со ссылкой есть, увы, недвусмысленное примечание: «мифология»).

А. Х. Г. Митчелл, М. С. Гарсон. ГЛОБАЛЬНАЯ ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. MINERAL DEPOSITS AND GLOBAL TECTONIC SETTINGS, by A. H. G. Mitchell and M. S. Garson. Academic Press (\$49.50)*.

КНИГА по лаконичности и строгости изложения сравнима с трудами по ботанике. Ее авторы, одаренные и опытные специалисты в области геологии минерального сырья, давние коллеги А. Х. Г. Митчелл и М. С. Гарсон, в настоящее время ведут полевые исследования по заданию Организации Объединенных Наций — Митчелл близ Манилы, Гарсон — в Танзании. Всем работающим в данной области присущ глобальный взгляд на предмет исследований, ведь месторождения таких элементов, как золото, фосфор или церий, разбросаны по всему миру. Излагаемые авторами концепции столь же просты в целом, сколь тонки в деталях; тектоника плит приобретает значение прикладной теории с реальной силой прогноза. Тектонические позиции месторождений минерального сырья в настоящее время можно интерпретировать основываясь на тектонике плит. Расположена ли рудная провинция на месте бывшей горячей точки, на пассивной континентальной окраине, в пределах древнего океанического хребта или зоны разлома, в области погружения плиты или столкновения двух плит? Митчелл и Гарсон классифицируют и описывают как главные, так и малоизвестные месторождения различных руд — от сурьмы до жадеита и циркония — на всем земном шаре — от Охотского моря до Замбии.

Этот немногословный, но богатый подробностями обзор сведений о руд-

* Книга принята к переводу издательством «Мир».

ных месторождениях мира читается с большим интересом (правда, для неспециалиста он может оказаться трудным) и поистине бесценен как справочное пособие. При всем обилии деталей нельзя не увидеть, как из хаоса возникает новая система. Новая трактовка зародилась лет десять назад, при изучении богатых медно-порфировых руд, залегающих вдоль тихоокеанских склонов Кордильер, от Чили до Британской Колумбии. Половина мировой добычи меди приходится на эти месторождения, по расположению и составу которых можно с уверенностью заключить, что они образовались в результате деятельности восходящих термальных газовых и соленасыщенных водных токов; эти токи выносили из земных недр колчеданную медь, что в геологически краткий отрезок времени привело к концентрации полезного компонента. Такие газиво-жидкие горячие токи появляются при погребении и разрушении океанического дна под континентальной окраиной.

В свою очередь, углеродсодержащие продукты вулканизма Восточно-Африканского рифта — как алмазы, так и простая сода — возникли, по-видимому, в результате деятельности конвективных горячих точек, местоположение которых долгое время сохраняется неизменным. Над ними медленно растут вулканы и внезапно взрываются алмазные трубки. В книге приводится изображение пепловых потоков с покрытого белой шапкой танзанийского карбонатитового вулкана, в них сохранились следы наших человекообразных предков. Заметим, однако, что геология многочисленных и разнообразных месторождений минерального сырья в Южной Африке так же сложна, как запутанные международные отношения в этом регионе.

Складывается впечатление, что постепенно, во взаимодействии с учениями о локальных геологических структурах и геохимии минерального сырья формируется новая теория прогнозирования глобального значения. Вероятно, не случайно блестящее предисловие к книге написано специалистом в области геологии месторождений полезных ископаемых, который работает в одной из наиболее известных своими смелыми начинаниями и наиболее преуспевающих горнодобывающих компаний в мире. Вопросы геологии нефти в книгу не вошли, это уже другой круг проблем; не рассматриваются также наиболее древние рудные провинции, возраст которых превышает 2700 млн. лет, поскольку для более отдаленных эпох взаимоотношения между океаном и континентами не достаточно ясны. Есть много периодических изданий по геологии месторождений минерального сырья, некоторые выходят в течение уже ста лет; возможно,

читателей заинтересует, что начато новое издание (первый том его вышел в свет в 1980 г.) под названием «Металлогения на основе глобальной тектоники».

Э. Р. Харрисон. КОСМОЛОГИЯ: НАУКА О ВСЕЛЕННОЙ

COSMOLOGY: THE SCIENCE OF THE UNIVERSE, by Edward R. Harrison. Cambridge University Press (\$ 24,95)

НЕОБЫЧНАЯ, несколько непоследовательная, лишенная математических выводов, полная размышлений и волнующих вопросов, содержащая множество неожиданных цитат, эта книга может показаться легкой для понимания, но в то же время ее нельзя считать общедоступным введением в современную космологию. Сегодняшняя наука о крупномасштабных моделях Вселенной неотделима от древних сокровищ эпоса и мудрости, которые накоплены всеми цивилизациями и вместе составляют полную картину. Профессор Харрисон, один из крупнейших специалистов по метрике Робертсона — Уокера и другим подобным вопросам, предлагает исчерпывающее изложение современных воззрений, несколько напоминающих легенды, написанные вне времени и места. Разумеется, на его графиках и других иллюстрациях изображены волнистые кривые и расходящиеся мировые линии, а не боги и демоны, пытающиеся вырвать друг у друга змею. Цель автора тем не менее в том, чтобы книга служила продолжением интеллектуального наследия прошлого и при этом соответствовала его собственному взгляду: «Космология — это «естественная» наука для студентов, которые не специализируются в естественных науках». Именно для таких студентов (Массачусетского университета, Амхерст) автор и писал свою книгу, не стремясь любой ценой избежать математики, а стараясь рассказать о первых и последних вещах, о пределах и началах мира.

Книга состоит из 20 глав, каждая из которых завершается списком вопросов и пояснениями. Первая глава посвящена довольно кратко изложению космологических представлений в прошлом, три следующие главы суммируют данные о Вселенной, полученные из наблюдений: звезды, галактики и некоторые данные о происхождении жизни. В четырех наиболее интересных главах рассмотрены представления о пространстве и времени. «Расширение Вселенной из сингулярного состояния произошло не в каком-то определенном месте пространства..., а охватывало все пространство... Если пространство бесконечно, то и расширение беспредельно... У космоса нет гра-

ниц». Эти современные истины изложены без формул, но обоснованно, не как голословное утверждение.

Именно такая явная демонстрация знаменитых парадоксов характерна для стиля книги. Ряд глав посвящен основным идеям общей теории относительности, расширению Вселенной, черным дырам и различным возможным космологическим моделям, подразделяемым в зависимости от масштабного фактора на сжимающуюся Вселенную, расширяющуюся Вселенную и стационарную Вселенную. Приведенное профессором Харрисоном изложение вопроса о красном смещении и его прямая интерпретация через масштабный фактор — это, пожалуй, лучшее популярное изложение теоретических представлений, однако не все читатели согласятся с точкой зрения автора, что классический предел — доплеровское смещение, обусловленное движением — не является полезным толкованием красного смещения. Еще две удачно изложенные темы — парадокс Ольберса и пространственные ячейки. Благодаря однородности Вселенной в целом данные, полученные в небольшом объеме, можно экстраполировать на всю Вселенную, исключая необходимость в далеких путешествиях, ибо, как сказал Гамлет, принц Датский: «... я бы мог замкнуться в ореховой скорлупе и считать себя царем бесконечного пространства...»^{*}.

Изложен также ряд гипотез, например образование частиц в первое мгновение после начала расширения Вселенной, белые дыры (весьма кратко) и возможная роль изменений больших чисел, выделенных в физике. Автор останавливается и на интересной проблеме предела познания: как он связан с явлениями за пределами познанного на сегодняшний день и с устойчивыми структурами, недоступными для наблюдений. Хотя в книге не приведены новейшие гипотезы, такие, как множественность состояний вакуума в раннем кварковом мире, она полна идей о превращениях материи, в ней рассмотрена модель бесконечного уменьшения плотности и невероятно медленного распада: «В конце концов, когда космическое фоновое излучение охладится... Вселенная будет состоять только из фотонов, нейтрино и гравитационных волн, все остальное исчезнет. Не будет ни вещества, ни антивещества, и во Вселенной навечно установится наконец барионная симметрия и состояние максимальной энтропии. *Sic Transit...**» (Не следует полагаться на эти фотоны и нейтрино, поскольку не бу-

* У Шекспира. Гамлет. — Полн. собр. соч. в 8-ми т.-М.: Искусство, 1958 — 1960, т. 6, с. 56. — Прим. ред.

** *Sic transit gloria mundi* (лат.) — так проходит земная слава. — Прим. ред.

лет существовать их источников, тогда как сталкивающиеся гравитоны останутся источниками самих себя.)

Педантичный и проникательный профессор Харрисон тем не менее склонен к метафизике: «Расширяющаяся Вселенная — это, безусловно, самое ужасающее состояние осуждения на вечные муки, когда-либо придуманное человеческим разумом», — пишет он, как будто бесконечность во времени — это новейшая релятивистская идея. Вряд ли найдется много читателей, которые разделят его метафизическую меланхолию относительно «самозамыкания» разума. Как может космология заключать в себе разум космолога с идеей космоса, несущего разум в себе самом? Этот регресс не так уж страшен: научное знание, которое отображает объективные свойства мира, — также продукт общественной деятельности, и оно по необходимости является неполным. Читатель, без сомнения, будет согласен с тем, что касается космологии, если даже его собственные взгляды на мир отличаются от взглядов автора. Ведь даже на сетчатке глаза есть слепое пятно.

В книге можно найти цитаты из Бернарда Шоу, Остина Добсона и Брахмагупты наряду с представлениями о Вселенной Фомы Аквинского, Виллема де Ситтера, Тихо Браге и Томаса Райта. Читателю, проявляющему серьезный интерес к космологии, этот полезный, мастерски написанный обзор доставит большое удовольствие. В тесной связи с аксиомами Хаусдорфа в теории множеств упоминается учение еретика Пелагия, направленное против представлений о первородном грехе. «Если это необходимо, то оно не является грехом, а то, что лишнее, без чего легко обойтись, того следует избежать». Что же, пусть теологи и логики поспорят! Однако космологии, способной делать прогнозы, пока не существует.

Дэвид Дж. Эллиот. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ INTEGRATED CIRCUIT FABRICATION TECHNOLOGY, by David J. Elliott. McGraw-Hill Book Company (\$ 27,50)

В НАШ БУРНЫЙ век принцесса вряд ли сохранила бы способность почувствовать горошину под матрацем. Этот сказочный сюжет трансформирован в современную проблему создания «сверхчистой» технологии производства электронных микросхем, о которой идет речь в этой подробной инженерной монографии.

На пластинке из кремния, закрепленной в вакуумном держателе, не должно быть пылинок не только со стороны полированной и протравленной зеркальной поверхности, предназначен-

ной для нанесения последующих слоев, но также и с обратной стороны. Частица размером 2 мкм на лицевой поверхности может привести к расфокусировке изображения, формирующего от 100 до 200 небольших чипов со сложной структурой на кристаллическом диске диаметром 7,5 — 10 см, который затем вырезается из пластинки по тонкому контуру, нанесенному алмазом или лучом лазера.

В книге последовательно излагается процесс изготовления микроэлектронных устройств от обработки пластин кремния до получения микропроцессоров на одном чипе. Отдельные главы посвящены подробному описанию наиболее сложных технологических операций. Специалисту в области прикладной физики, не имеющему специального математического образования, книга поможет усвоить особенности сложного производства микросхем и отдельных рабочих операций. Большое место в книге уделено описанию различной аппаратуры и ее применения; приведены незначительные сведения о структуре и конструкции вычислительных машин, и совсем мало говорится о физических явлениях в полупроводниках. Тон книги уверенный и полон оптимизма: «Сформулируйте ваши требования на бумаге или магнитной ленте, и мы выполним всю остальную работу, пристально следя за увеличением выпуска интегральных схем требуемого качества с помощью оперативных средств контроля выявления ошибок. Именно этим обеспечивается экономичность производства. Словно крохотная карта города с его маленькими улочками, на которых строго регулируется движение электронов, тщательно наносится рисунок микросхемы на участки поверхности легированного полупроводникового кремния, на тонкие слои с решетчатой структурой, на несколько слоев диэлектрической двуокиси кремния, а также на алюминиевые проводники, которые соединяют эту сложную многослойную структуру».

Микроскопические размеры являются определяющим фактором в рассматриваемой технологии. На одном квадратном миллиметре в современной интегральной схеме может насчитываться от 1000 до 2000 элементов. Допустимая погрешность линейных размеров рисунка интегральной микросхемы составляет около 15%; для обеспечения такой точности разрешающая способность используемых в производстве фоторезистов должна быть не хуже 1,8 мкм. Предельные значения этих показателей в основном определяются возможностями современной фотолитографии и, в частности, длиной волны применяемого излучения. Маски из хрома на стекле, экспонируемые ближним ультрафиолетом, являются в настоящее время лучшим достижением

в технологии микросхем. При этом используются мощные ртутные лампы в сочетании со сложными волоконно-оптическими системами концентрации потока рассеянных фотонов, которые позволяют экспонировать уменьшенные изображения фотошаблона со скоростью несколько сотен сложных изображений в минуту на одну пластину. Эта технология в дальнейшем наверняка будет усовершенствована. Можно ожидать, что за счет использования коротковолновой части ультрафиолетового спектра, кварцевых масок вместо стеклянных, а также с заменой ртутных газоразрядных ламп на ксеноновые (или дейтериевые), размер микросхем будет уменьшен вдвое.

Следующим шагом на пути совершенствования технологии, очевидно, будет применение электронных пучков и рентгеновского излучения. Следует отметить, что сканирующие электронные пучки уже широко применяются при изготовлении масок, однако пока этот метод имеет невысокую производительность. Методы, связанные с применением рентгеновского излучения и ионных пучков, пока находятся в стадии разработки. Их внедрение обещает повышение разрешающей способности, хотя и выдвинет ряд практических сложностей. Оценивая перспективу, автор сдержанно заявляет, что «производство микросхем с... линиями шириной 0,5 — 0,8 мкм вряд ли будет экономически целесообразно». Это соответствует 10-кратному увеличению плотности элементов в микросхемах по сравнению с современной.

Наиболее подробно в книге рассматриваются основные этапы фотолитографического процесса. Отмечается, что наилучшими на сегодняшний день считаются позитивные фоторезисты, облученные участки которого удаляются проявителем, и защитный рельеф повторяет позитивное изображение фотошаблона. Точность нанесения защитного рельефа ограничивается изотропией процесса травления, выражающейся в боковом подтравливании материала подложки под слоем фоторезиста на границах микрорельефа. Этот недостаток устраняется при использовании электронно-лучевого экспонирования. В книге приводятся немало примеров микрорисунков тестовых интегральных схем высокого качества, полученных таким способом.

Совершенно новые возможности открываются в результате использования плазмы и ионных пучков в качестве средств травления. Чаще всего травлению подвергается слой двуокиси кремния микронной толщины, полученный либо термовакuumным испарением, либо более медленным термическим выщиванием в атмосфере нагретого кислорода под давлением. Структура, образующаяся при травлении этого

аморфного слоя, обычно используется в качестве маски для последующего легирования в процессе изготовления транзисторов, диодов и резисторов на участках блока кристаллического кремния. Легирование осуществляется либо путем диффузии, либо путем прямой имплантации ионов бора или фосфора с помощью сканирующих ионных пучков. Травление алюминия осуществляется по сухой технологии с помощью плазмы из тетраглорида углерода и гелия — продукта, представляющего собой порошкообразный хлорид.

Стандартные требования, относящиеся к рассматриваемой технологии, очень высоки. Каждая пластинка, на которой создаются все элементы интегральных схем, представляет собой сре́з монокристаллического слитка, ультрачистого в результате зонной очистки кремния. Довольно кропотливым технологическим приемом является трассировка схемы на поверхности каждой пластинки с микронной точностью. Наиболее ответственным этапом является нанесение фоторезиста на тщательно очищенную поверхность подложки. Эта операция выполняется в особо чистых помещениях.

В технологии электронных микросхем широко используются лазеры и сканирующие электронные микроскопы, чистый сухой азот и гелий, надежные автоматизированные вакуумные системы, камеры с ионными и электронными пучками. Станки и оборудование для этой отрасли выпускаются новейшими специализированными промышленными предприятиями развитых стран как на востоке, так и на западе. Пока еще не все операции технологического процесса выполняются в непрерывном режиме, и все же имеются уже автоматизированные производства с пакетной обработкой подложек по двадцать четыре штуки в специальных кассетах. Продолжаются работы по созданию систем управления всеми технологическими процессами на базе ЭВМ с помощью формальных моделей, описывающих взаимосвязь бесчисленного множества параметров, определяющих режим всех операций процесса. Изготовление сложных микроэлектронных устройств в малых количествах с большими материальными затратами — дело нехитрое. Задача заключается в том, чтобы наладить их массовое производство, и она, по видимому, может быть решена на основе постепенного расширения рационального управления и контроля.

Содержание книги позволяет взглянуть «за кулисы» одной из главных отраслей с самой передовой технологией. Рассчитанная на инженеров-технологов, книга может быть полезной и для широкого круга читателей, проявляющих интерес к технике.

Ф. Моррисон

МАГИЯ МАТЕМАТИКИ

HANDBOOK OF CUBIC MATH. Alexander H. Frey, Jr., and David Singmaster. Enslow Publishers, 1982.

INSIDE RUBIK'S CUBE AND BEYOND. Christoph Bandelow. Birkhauser Boston, Inc., 1982.

PUZZLE IT OUT: CUBES, GROUPS AND PUZZLES. John Ewing and Czes Koźniowski. Cambridge University Press, 1982.

Залгаллер В., Залгаллер С. ВЕНГЕРСКИЙ ШАРНИРНЫЙ КУБИК. — Квант, 1980, № 12.

Константинов И., ВЕНГЕРСКИЙ КУБИК. — Наука и жизнь, 1981, № 3.

Константинов И. А ВСЕ-ТАКИ КАК ЕГО СОБРАТЬ? — Наука и жизнь, 1982, № 2.

Евграфов М. МЕХАНИКА ВОЛШЕБНОГО КУБИКА. — Квант, 1982, № 3.

Дубровский В. АЛГОРИТМ ВОЛШЕБНОГО КУБИКА. — Квант, 1982, № 7.

Дубровский В. МАТЕМАТИКА ВОЛШЕБНОГО КУБИКА. — Квант, 1982, № 8.

СОВРЕМЕННЫЕ МОРСКИЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН И ДОБЫЧИ НЕФТИ

OUTER CONTINENTAL SHELF FRONTIER TECHNOLOGY: PROCEEDINGS OF A SYMPOSIUM. Marine Board, Assembly of Engineers. National Research Council, National Academy of Sciences, 1980.

Tethered Buoyant Platform Production System. Graham Perrett and Robert M. Webb in *Proceedings of the Offshore Technology Conference*, Vol. 4, pages 261 — 274; 1980.

RECENT ADVANCES IN DESIGN AND CONSTRUCTION OF DEEPWATER CAPABILITY, Griff C. Lee in *Ocean Industry*, pages 71 — 80; November, 1980.

INTRODUCTION TO OFFSHORE STRUCTURES, W. J. Graff, Gulf Publishing Company, 1981.

Бадковский Н. А. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА ПРИ СОЗДАНИИ МОРСКИХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК. — Газовая промышленность, 1981, № 9, с. 34 — 36.

Волков Ю. С. ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ МОРСКОЙ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА. — М.: ВНИИЭгазпром, 1981, с. 40.

Гаджиев Ф.М., Гаджиев И. М. ГЛУБОКОВОДНАЯ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВАЯ СТАЦИОНАРНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ УСЛОВИЙ КАСПИЙСКОГО МОРЯ. — М.: ВНИИЭгазпром, 1980, с. 44.

Гаджиев Ф. М., Гаджиев И.М. МОРСКИЕ СТАЦИОНАРНЫЕ ДЕМОНТИРУЕМЫЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ УСЛОВИЙ АЗОВСКОГО

МОРЯ. — М.: ВНИИЭгазпром, 1981, с. 32.

Галахов И. Н., Миронов О. Е., Алисейчик А. А. ПЛАВУЧИЕ БУРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ. — Л.: Судостроение, 1981, с. 224.

Каймашников Г. Л., Нейдинг М.М., Короткий Р. М. ЭТОТ ЗАГАДОЧНЫЙ ШЕЛЬФ. — Одесса: Маяк, 1981, с. 136.

ЯМР-ИНТРОСКОПИЯ В МЕДИЦИНЕ

IMAGE FORMATION BY INDUCED LOCAL INTERACTIONS: EXAMPLES EMPLOYING NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE. P. C. Lauterbur in *Nature*, Vol. 242, No. 5394, pages 190 — 191; March 16, 1973.

NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN MEDICINE. Edited by L. Kaufman, L. E. Crooks and A. R. Margulis, Igaku-Shoin, Ltd., Tokyo, 1981.

PROCEEDINGS OF AN INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NMR IMAGING, BOWMAN GRAY SCHOOL OF MEDICINE, WINSTON-SALEM, N. C. OCTOBER 1 — 3, 1981. Edited by N. Karstaedt, R. L. Witcofski and C. L. Partain Bowman Gray School of Medicine Press, 1982.

PRINCIPLES OF NMR IMAGING. I. L. Pykett, J. H. Newhouse, T. J. Brady, F. S. Buonanno, M. R. Goldman, J. P. Kistler and G. M. Pohost in *Radiology*, Vol. 143, pages 157 — 168; April, 1982.

Федин Э. И. ЯМР-ИНТРОСКОПИЯ — НОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ. — Природа, 1980, № 4, с. 77 — 81.

Ацаркин В. А., Скроцкий Г. В., Сороко Л. М., Федин Э. И. ЯМР-ИНТРОСКОПИЯ. — Успехи физических наук, 1981, т. 135, вып. 2, с. 285 — 315.

Лундин А. Г., Федин Э. И. ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС. ОСНОВЫ И ПРИМЕНЕНИЯ. — Новосибирск: Наука, 1980.

КОСМИЧЕСКИЕ ВЫБРОСЫ

THE STRUCTURE OF EXTENDED EXTRAGALACTIC RADIO SOURCES. George Miley in *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics*, Vol. 18, pages 165 — 218; 1980.

THE BIZARRE SPECTRUM OF SS 433. Bruce Margon in *Scientific American*, Vol. 243, No. 4, pages 44 — 55; October, 1980.

RELATIVISTIC JET PRODUCTION AND PROPAGATION IN ACTIVE GALAXIES. M. J. Rees, M. C. Begelman and R. D. Blandford in *Annals of the New York Academy of Sciences*, in press.

**РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРЫ
СО СВЕРХДЛИННЫМИ
БАЗАМИ В АСТРОНОМИИ**

INTERCONTINENTAL RADIO ASTRONOMY. K. I. Kellermann in *Scientific American*, Vol. 226, No. 2, pages 72 — 83; February, 1972.

INTRODUCTION TO VERY-LONG-BASELINE INTERFEROMETRY. Marshal H. Cohen in *Proceedings of the IEEE*, Vol. 61, No. 3, pages 1192 — 1197; September, 1973.

QUASARS AND ACTIVE NUCLEI OF GALAXIES: PROCEEDINGS OF THE COPENHAGEN SYMPOSIUM ON "ACTIVE NUCLEI", JUNE 27 — JULY 2, 1977. Edited by O. Ulfbeck in *Physica Scripta*, Vol. 17, No. 3, pages 135 — 385; March, 1978.

Вилебинский Р. РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЛАКТИК. — *Природа*, 1978, № 4, с. 101 — 111.

Дравских А. Ф. и др. ГЛОБАЛЬНЫЕ ФАЗОСТАБИЛЬНЫЕ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. — *УФН*, 1981, т. 135, вып. 4, с. 587 — 636.

РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТР КРЫМ — ПУШИНО. — *Природа*, 1981, № 4, с. 104 — 105.

СТРУКТУРА ЯДРА СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 1275. — *Природа*, 1980, № 10, с. 108 — 109.

Хэй Дж. РАДИОВСЕЛЕННАЯ. — М.: Мир, 1978.

Матвеевко Л. И. СВЕРХДАЛЬНЯЯ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ. — *Природа*, 1982, № 7, с. 56 — 67.

**ПИТАТЕЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА,
ВЛИЯЮЩИЕ НА ФУНКЦИИ
МОЗГА**

NUTRITION AND THE BRAIN. Edited by Richard J. Wurtman and Judith J. Wurtman. Raven Press, 1977-1982.

RELEASE OF ACETYLCHOLINE FROM THE VASCULAR PERFUSED RAT PHERIC NERVE-HEMIDIAPHRAGM. George C. Bierkamper and Alan M. Goldberg in *Brain Research*; Vol. 202, No. 1, pages 234 — 237; November 24, 1980.

PRECURSOR CONTROL OF NEUROTRANSMITTER SYNTHESIS. R. J. Wurtman, F. Hefti and E. Melamed in *Pharmacological Reviews*, Vol. 32, No. 4, pages 315 — 335; December, 1980.

ALZHEIMER'S DISEASE: A REPORT OF PROGRESS IN RESEARCH. Edited by S. Corcin, K. J. Davis, J. H. Growdon, E. Usdin and R. J. Wurtman. Raven Press, 1981.

CARBOHYDRATE CRAVING IN OBESE PEOPLE: SUPPRESSION BY TREATMENTS AFFECTING SEROTONINERGIC TRANSMISSION. Judith J. Wurtman, Richard J. Wurtman, John H. Growdon, Peter Henry, Anne Lipscomb and Steven H. Zeisel in *International Journal of Eating Disorders*, Vol. 1, No. 1, pages 2 — 15; Autumn, 1981.

**АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕЩЕРЫ
ЛАСКО**

LASCAUX. H. Breuil in *Bulletin de la Société préhistorique française*, Vol. 47, pages 355 — 363; 1950.

LASCAUX: PAINTINGS AND ENGRAVINGS. Annette Laming. Penguin Books, 1959.

DÉBRIS DE CORDE PALÉOLITHIQUE À LA GROTTE DE LASCAUX (DORDOGNE). A. Glory in *Mémoires de la Société préhistorique française*, Vol. 5, pages 135 — 169; 1959.

LASCAUX INCONNU: XII^e SUPPLÉMENT À "GALLIA PRÉHISTOIRE". Arl. Leroi-Gourhan, J. Allain, L. Balout, C. Basiere, R. Bouchez, J. Bouchud, C. Couraud, B. and D. Delluc, J. Evin, M. Girard, A. Laming-Empereire, A. Leroi-Gourhan, M. Sarradet, F. Schweingruber, Y. Taborin, D. Vialou and J. Vouvé. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, 1979.

ГИГАНТСКИЙ КАЛЬМАР

PIRATES OF THE DEEP — STORIES OF THE SQUID AND OCTOPUS. Paul Bartsch in *Smithsonian Institution Annual Report*, pages 347 — 375; 1917.

A REVIEW OF THE SISTEMATICS AND ECOLOGY OF OCEANIC SQUIDS.

M. R. Clarke in *Advances in Marine Biology*, Vol. 4, pages 93 — 300; 1966.

A SPECIMEN OF THE GIANT SQUID ARCHITEUTHIS FROM NEW ZEALAND. R. K. Dell in *Records of the Dominion Museum in Zoology*, Vol. 7, No. 4, pages 25 — 36; 1970.

FIRST RECORD OF JUVENILE GIANT SQUID, ARCHITEUTHIS (CEPHALOPODA, OEGOPSIDA). C. F. E. Roper and R. E. Young in *Proceedings of the Biological Society of Washington*, Vol. 85, No. 16, pages 205 — 222; 1972.

Несис К. Н. ГИГАНТСКИЕ КАЛЬМАРЫ. — *Природа*, 1974, № 6, с. 55 — 60.

**ГРИГОРИАНСКИЙ
КАЛЕНДАРЬ**

THE CALENDAR: ITS HISTORY, STRUCTURE AND IMPROVEMENT. Alexander Philip. Cambridge University Press, 1921.

PAPI ASTRONOMI EPATTE: LUIGI GIGLIO, ASTRONOMO "PRIMES AUCTOR" DELLA RIFORMA GREGORIANA DEL CALENDRIO. GIULIO AROMOLO. Istituto della Stampa, Naples, 1963.

FURTHER ADJUSTMENT OF THE GREGORIAN CALENDAR YEAR. E. R. Hope in *The Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*. Part I, Vol. 58, No. 1, pages 3 — 9, February, 1964; Part II, Vol. 58, No. 2, pages 79 — 87, April, 1964.

DIE GREGORIANISCHE KALENDERREFORM IM URTEIL ZEITGENÖSSISCHER

ASTRONOMEN. Peter Aufgebauer in *Die Sterne*, Vol. 45, Nos. 4/5, pages 118 — 121, 1969.

Володомонов Н. В. КАЛЕНДАРЬ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ. — М.: Наука, 1974.

Климушкин И. А. КАЛЕНДАРЬ И ХРОНОЛОГИЯ. — М.: Наука, 1981.

Селешников С. И. ИСТОРИЯ КАЛЕНДАРЯ И ХРОНОЛОГИЯ. — 3-е изд. — М.: Наука, 1977.

НАУКА ВОКРУГ НАС

AN ANALYSIS OF TURNS IN DANCE. K. L. Laws in *Dance Research Journal*, No. 11 — 12, page 16; 1978 — 1979.

PHISICS AND BALLET: A NEW PAS DE DEUX. Kenneth Laws in *New Directions in Dance*, edited by Diana Theodores Taplin. Pergamon Press, 1979.

PRECAARIOUS AURORA — AN EXAMPLE OF PHYSICS IN PARTNERING. Kenneth Laws in *Kinesiology for Dance*, No. 12; August, 1980.

**В МИРЕ
НАУКИ**

Подписано в печать 31.01.83
По оригинал-макету. Формат 60 × 90/8
Гарнитуры Таймс, Гелиос
Офсетная печать
Объем 7,25 бум. л.
Усл.-печ. л. 14,50,
Печ. л. 7,25, Уч.-изд. л. 19,72
Усл. кр.-отт. 49,36
Изд. № 36/2662. Зака: 75-83
Тираж 20000 экз. Цена 2 р.
Издательство «Мир»
Набрано в редакции по подготовке
оригинал-макетов издательства «Мир»
на фотонаборном комплексе
«Компьюграфик»
Типография В/О Внешторгиздат
Главиздатэкспорта Госкомиздата СССР
127349, Москва, И-349,
Илимская, 7



Издательство МИР предлагает:

Л. Ярас, Л. Хоффман, А. Ярас, Г. Обермайер

ЭНЕРГИЯ ВЕТРА

Перевод с английского



Ветер — один из наиболее распространенных потенциальных источников энергии. Использование его весьма перспективно. В последнее время появились новые технические возможности, и интерес к использованию энергии ветра значительно возрос.

Предлагаемая вниманию читателя монография группы специалистов из ФРГ посвящена вопросам использования энергии ветра для выработки электрической энергии с помощью ветроэлектрических станций (ВЭС) большой мощности, включенных в объединенные системы электроснабжения. В книге на основе системного анализа проблемы дана оценка технического и экономического потенциала энергии ветра в ФРГ, показаны возможности ее использования для производства электрической энергии и экономии традиционных видов жидкого и твердого топлива.

Наибольший интерес представляют разделы книги, в которых рассмотрены экономика вет-

роэнергетики и эффективность использования ВЭС, имитационная модель использования энергии ветра в единой энергосистеме и способы улучшения качества энергии, вырабатываемой ВЭС.

Методические положения, оценки, результаты и рекомендации даются применительно к условиям и особенностям ФРГ, но имеют общий характер. Материалы, которые приводятся в книге, существенно дополняют то, что опубликовано по данной проблеме в отечественной литературе и за рубежом.

Книга предназначена в первую очередь для научных работников и инженеров, работающих в области использования энергии ветра, специалистов-энергетиков, лиц, занимающихся планированием развития топливно-энергетического комплекса страны, экономистов, разрабатывающих проблемы повышения эффективности электроснабжения.

1982, 256 стр.
Цена 2 р. 50 к.



В следующем номере:



**НОВЫЕ МЕТОДЫ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ
КЛЕТОК МЛЕКОПИТАЮЩИХ**

ХОДЯЩИЕ МАШИНЫ

КЛЕТКИ-РЕЦЕПТОРЫ ВНУТРЕННЕГО УХА

СЛЕДЫ ВЫМЕРШИХ ЖИВОТНЫХ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ
МЕТОДОМ ЯМР**

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТРУБАХ ОРГАНА

**О ПРОИСХОЖДЕНИИ КОСМИЧЕСКОГО
РЕНТГЕНОВСКОГО ФОНА**

**ПРОИЗВОДСТВО МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК
В ДРЕВНЕМ КИТАЕ**
