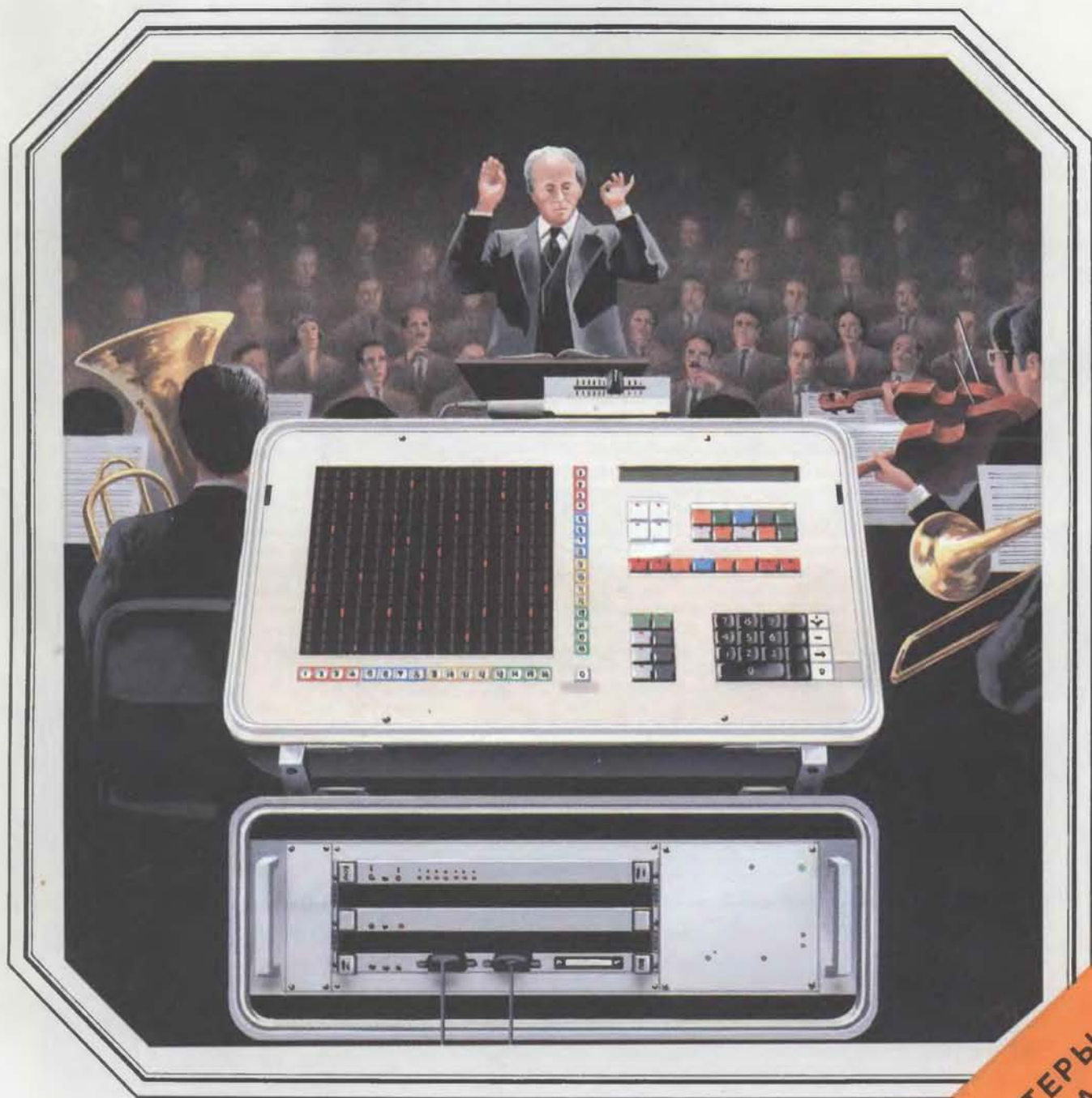


# В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC  
AMERICAN

Издание на русском языке



Июнь **6** 1988

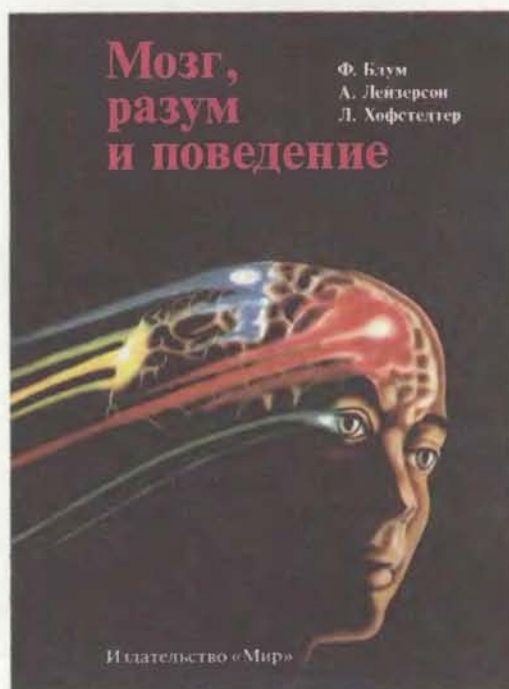
КОМПЬЮТЕРЫ  
И МУЗЫКА

## Книги издательства „Мир“

Ф. Блум, А. Лейзерсон, Л. Хофстедтер

## МОЗГ, РАЗУМ И ПОВЕДЕНИЕ

Перевод с английского



Книга американских авторов — это основанное на междисциплинарном подходе изложение науки о мозге. Рассмотрены вопросы строения и функционирования нервной системы; проблема гомеостаза; эмоции, память, мышление; специализация полушарий и «я» человека; биологические основы психозов; возрастные изменения деятельности мозга. Написанная живым языком и прекрасно иллюстрированная, эта книга послужила основой восьмисерийной научно-популярной передачи «Мозг» по телевидению США.

**Содержание:** Анатомическая организация нервной системы. Структура и физиология нервных клеток. Ритмы мозга. Эмоции. Память. Мышление. Специализация полушарий. Нарушения функции мозга. Биологические основы психозов. Возрастные изменения деятельности мозга. Перспективы диагностики и лечения поврежденных мозга.

Для студентов-биологов, медиков и психологов, школьников старших классов и всех, кто интересуется наукой о мозге и поведении.

1988, 33 л. Цена 2 р. 60 к.



# 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

№ 6 · ИЮНЬ 1988

*В номере:*

СТАТЬИ

(Scientific American, April 1988, Vol. 258, No. 4)



## 6 Компьютеры и музыка

*Пьер Булез, Эндрю Герчо*

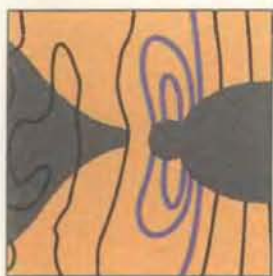
Компьютеры способны генерировать звуки, которые нельзя извлечь ни из одного музыкального инструмента. Оба вида звуков можно с успехом объединить в музыкальном произведении, если композитор и инженеры работают рука об руку



## 14 Свое, чужое и аутоиммунитет

*Айран Р. Козн*

Аутоиммунитет, заключающийся в том, что иммунная система распознает и атакует клетки своего собственного организма, — далеко не такое простое явление, как казалось. Распознавание «своего» лежит в основе как здоровья, так и некоторых заболеваний



## 24 Мембранный подход в теории черных дыр

*Ричард Х. Прайс, Кип С. Торн*

Как можно описать взаимодействие черной дыры в пространстве-времени с окружающими ее веществом и полями? Плодотворным оказалось представление черной дыры в виде электропроводящей, сферической мембраны



## 34 Энергоэкономичные здания

*Артур Р. Розенфельд, Дейвид Хафмейстер*

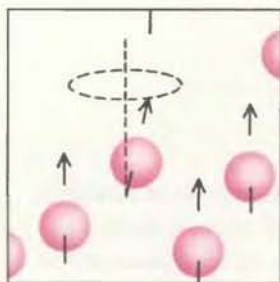
Сбережение энергетических ресурсов и общее экономическое развитие тесно связаны друг с другом. Строительство жилых и административных зданий, эффективных с точки зрения экономии различных видов энергии, позволит высвободить дополнительные средства, снизить капитальные затраты и сократить сооружение дорогостоящих тепло- и электростанций



#### 44 Световые переключатели генов у растений

*Филис Б. Мозес, Нам Хай Чуа*

Каким образом солнечный свет влияет на развивающийся проросток? Обнаружены участки ДНК, которые в ответ на световую энергию приводят в действие гены, необходимые для развития растения



#### 52 Спиновые эффекты в газах

*Фрэнк Лалё, Джек Х. Фрид*

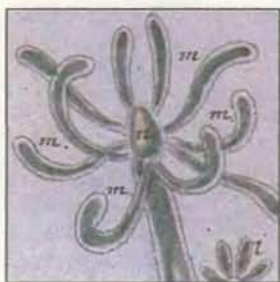
Атомное ядро может иметь спин, подобно крошечному волчку. Как такой спин, изолированный от внешнего мира, может приводить к резкому изменению свойств газа, например способности проводить тепло?



#### 62 Поведение усатых китов

*Бернд Вюрсиг*

Многими чертами общественного поведения и поведения, связанного с питанием, морские млекопитающие напоминают наземных растительноядных млекопитающих, от которых они произошли около 55 млн. лет назад



#### 72 Полипы Трамбле

*Говард М. Ленхофф, Сильвия Г. Ленхофф*

Замечательные опыты, проделанные на гидрах Абраамом Трамбле в 40-х годах XVII в., положили начало экспериментальной зоологии. Но имя Трамбле и подробности его исследований мало известны даже биологам

РУБРИКИ 4 Об авторах

5 50 и 100 лет назад

13, 50, 60, 70,

78, 88 Наука и общество

80 Наука вокруг нас

84 Занимательный компьютер

92 Книги

99 Библиография

# SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel  
EDITOR

Harry Myers  
PRESIDENT AND PUBLISHER

## BOARD OF EDITORS

Armand Schwab, Jr.  
Timothy Appenzeller  
Timothy M. Beardsley  
John M. Benditt, Laurie Burnham  
David L. Cooke, Jr.; Ari W. Epstein  
Gregory R. Greenwell  
John Horgan, June Kinoshita;  
Philip Morrison (BOOK EDITOR)  
Ricki L. Rusting, Karen Wright

Samuel L. Howard  
ART DIRECTOR

Richard Sasso  
DIRECTOR OF PRODUCTION

## SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow  
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Georg-Dieter von Holtzbrinck  
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel  
CHAIRMAN EMERITUS

© 1988 by Scientific American, Inc.

Товарный знак *Scientific American*, его 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 А. М. Смотров  
А. Ю. Краснопевцев

ЛИТЕРАТУРНЫЙ РЕДАКТОР  
М. В. Суrowова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР  
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ  
Т. Д. Франк-Каменецкая

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА  
В. С. Галкин

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР  
С. К. Аносов

КОРРЕКТОР  
Н. А. Вавилова

ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ РУССКОГО ИЗДАНИЯ  
М. Г. Жуков

ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ  
В. В. Ефимов

АДРЕС РЕДАКЦИИ  
129820, Москва, ГСП, 1-й Рижский пер., 2  
ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ  
286.2588

© перевод на русский язык и оформление, «Мир», 1988

## На обложке



## КОМПЬЮТЕРЫ И МУЗЫКА

На обложке изображено программируемое электронное устройство, которое является важным элементом оркестра (см. статью П. Булеза, Э. Герчо «Компьютеры и музыка» на с. 6). Это устройство передает звуковые сигналы от инструментов процессору (который запоминает, обрабатывает и вызывает из памяти цифровую информацию о звуковых волнах), а от процессора — акустическим системам. Благодаря этому звуки трансформируются с той же скоростью, с какой они производятся музыкальными инструментами.

## Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Ted Lodigensky

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
6-7	Ian Worpole	48	James Kilkelly ( <i>вверху</i> ); Gabor Kiss ( <i>внизу</i> )		Geneva
8	Andrew Gerzso ( <i>вверху</i> ), Ian Worpole ( <i>внизу</i> )	80		81	David K. Donald Michael Goodman
9	Ian Worpole	49	Gabor Kiss	82	Michael Goodman ( <i>вверху</i> ); Jearl Walker ( <i>внизу</i> )
10	С разрешения Universal Edition, Vienna	52-58	George Retseck	84-87	Laurie Grace
11-12	Ian Worpole	63	Pacific Whale Foundation		
15	Yaakov Naparstek, Dorit Gurfel	64-69	Patricia J. Wynne		
16-17	Joan Starwood	73-74	С разрешения Howard M. Lenhoff, Sylvia G. Lenhoff		
18	Ritta Stanescu, Hôpital des Enfants Malades, Paris	75	Richard D. Campbell, University of California at Irvine ( <i>вверху</i> ); Tom Prentiss ( <i>внизу</i> )		
19-21	Joan Starwood	76	С разрешения Howard M. Lenhoff, Sylvia G. Lenhoff		
24-32	Javier Romero	77	С разрешения M. Archinard, Musée d'Histoire des Sciences,		
35	Einhorn Yaffee Prescott				
36-41	Gabor Kiss				
45	James Kilkelly				
46-47	Gabor Kiss				

## Об авторах

Pierre Boulez, Andrew Gerzco (ПЬЕР БУЛЕЗ, ЭНДРЮ ГЕРЧО «Компьютеры в музыке») начиная с 1980 г. совместно разрабатывают теоретические и практические аспекты использования компьютеров в музыке. Булез — директор Института по исследованию и координации в области акустики и музыки (ИИКАМ), президент ансамбля InterContemporain и профессор Коллеж де Франс. Закончив Парижскую консерваторию по классу композиции, в 1946 г. стал музыкальным директором театральной компании Renaud-Barrault и занимал эту должность на протяжении 10 лет. С 1954 г. организовывал серии концертов современной музыки. С 1960 по 1963 г. занимал должность профессора анализа и композиции. Булез был главным приглашенным дирижером Кливлендского оркестра, дирижером Оркестра Би-би-си и музыкальным директором Нью-Йоркской филармонии. Герчо — флейтист, в ИИКАМ координирует работы по использованию компьютеров в области композиции и по взаимодействию между учеными и композиторами. Получил степень бакалавра в Консерватории Новой Англии и степень магистра в Калифорнийском институте искусств. С 1974 по 1976 г. учился в Королевской консерватории в Гааге. С 1977 г. работал на различных должностях в ИИКАМ.

Irun R. Cohen (АЙРАН Р. КОЭН «Свое, чужое и аутоиммунитет») родился и вырос в Чикаго. Степень доктора медицины получил в Северо-Западном университете (Эванстон, шт. Иллинойс). Окончил интернатуру в Центре инфекционных болезней в Атланта, после чего проработал там два года. Затем окончил ординатуру по педиатрии в Больнице Джонса Гопкинса. В 1968 г. стал сотрудником Вейцманновского института в Израиле, где с тех пор и работает, за исключением короткого периода в начале 1970-х годов, когда он участвовал в создании Медицинской школы в Университете Бен-Гурион (Беэр-Шева, Израиль). В настоящее время он профессор иммунологии.

Richard H. Price, Kip S. Thorne (РИЧАРД Х. ПРАЙС, КИП С. ТОРН «Мембранный подход в теории черных дыр») сотрудничают с тех пор, как Прайс был аспирантом у Торна. Сейчас Прайс профессор физики в Университете шт. Юта, куда он поступил в 1971 г. на должность доцента. Степень бакалавра в области технической физики получил в Корнелл-

ском университете и степень доктора философии — в Калифорнийском технологическом институте (КТИ). Основной областью его исследований является релятивистская астрофизика, однако недавно он начал сотрудничать в области инженерного дизайна по проблеме микромеханических устройств. Торн — профессор теоретической физики в КТИ, который он окончил в 1962 г. Степень доктора философии получил в Принстонском университете в 1965 г. В этом же университете провел год после защиты диссертации перед переходом в КТИ в качестве физика-исследователя.

Arthur H. Rosenfeld, David Hafemeister (АРТУР Г. РОЗЕНФЕЛЬД, ДЕЙВИД ХАФМЕЙСТЕР «Энергоэкономичные здания») — профессора физики: первый — в Калифорнийском университете в Беркли, второй — в Калифорнийском политехническом университете. Розенфельд, получивший докторскую степень в Чикагском университете за работу, выполненную под руководством Э. Ферми, одновременно возглавляет Научный центр по вопросам строительства при Лоуренсовской лаборатории в Беркли. Хафмейстер с 1975 по 1977 г. был советником по науке в американском сенате и принимал участие в разработке законодательства по энергетике. Затем в течение двух лет работал в государственном департаменте в качестве специального помощника государственного секретаря. В 1985—1986 гг. был внештатным научным сотрудником в Лоуренсовской лаборатории в Беркли. Авторы выражают благодарность своим коллегам С. Берману, С. Зелковицу, С. Цукерману и Э. Миллу за помощь в подготовке статьи.

Phyllis B. Moses, Nam-Hai Chua (ФИЛИС Б. МОЗЕС, НАМ ХАЙ ЧУА «Световые переключатели генов у растений») — специалисты по биологии растений. Мозес получила степень бакалавра в области биологии в 1977 г. в Университете Джонса Гопкинса, степень доктора философии в области молекулярной генетики — в 1983 г. в Рокфеллеровском университете, где после этого вела исследовательскую работу на средства Национального фонда науки. В 1985 г. перешла в Национальный совет по научным исследованиям с намерением работать над проблемами применения научных достижений в сельском хозяйстве. В этом году Мозес стала участвовать в комплектовании фондов Academic Press, Inc. Чуа получил

степень бакалавра в 1965 г. в Сингапурском университете, докторскую степень в области биологии — в 1969 г. в Гарвардском университете. С 1971 г. работает в Рокфеллеровском университете; сейчас он профессор, возглавляет лабораторию молекулярной биологии растений.

Franck Laloë, Jack H. Freed (ФРЭНК ЛАЛЁ, ДЖЕК Х. ФРИД «Спиновые эффекты в газах») занимаются изучением спин-поляризованных квантовых жидкостей. Лалё — исследователь в Высшей нормальной школе в Париже, один из авторов учебника по квантовой механике. Фрид — профессор химии Корнеллского университета, где он работает с 1963 г. В 1958 г. окончил Йельский университет. Степень доктора философии в области химической физики получил в 1962 г. в Колумбийском университете, затем в течение года стажировался в Кембриджском университете. Фрид был также приглашенным профессором в университетах многих стран.

Bernd Würsig (БЕРНД ВЮРСИГ «Поведение усатых китов») — доцент морской биологии в Морских лабораториях Мосс-Лендинг Университета шт. Калифорния. Докторскую степень в области эволюции и экологии получил в Университете шт. Нью-Йорк в Стони-Бруке в 1978 г. Прежде чем поступить на работу в Морские лаборатории Мосс-Лендинг, стажировался в Калифорнийском университете в Санта-Крузе. Последние 8 лет Вюрсиг изучал китов в Арктике.

Howard M. Lenhoff, Sylvia G. Lenhoff (ГОВАРД М. ЛЕНХОФФ, СИЛЬВИЯ Г. ЛЕНХОФФ «Полипы Трамбле») — супруги, вместе перевели на английский язык книгу Абраама Трамбле о гидрах, написанную им в 1744 г. Говард Ленхофф получил степень доктора философии в области энзимологии в 1955 г. в Университете Джонса Гопкинса, после чего работал в ряде учреждений, в том числе в Институте Карнеги в Вашингтоне, в Университете в Майами и в Вейцманновском институте в Израиле. В настоящее время он профессор кафедры клеточной биологии и биологии развития в Калифорнийском университете в Ирвине. Сильвия Ленхофф окончила Гучер-Колледж по специальности «история», в 1954 г. была стипендиатом фонда Вудро Вильсона в Рэдклифф-Колледже, где получила степень магистра. Сейчас она сотрудник Калифорнийского университета в Ирвине, где является директором Управления по связям со школами и колледжами и доцентом кафедры клеточной биологии и биологии развития.

SCIENTIFIC  
AMERICAN

АПРЕЛЬ 1938 г. «Два химика, работающие в целлюлозной промышленности, «заставили» обычные бактерии производить энергию из отработанных сульфитных растворов. Давно известно, что болотный газ (метан) образуется в результате деятельности мельчайших анаэробных бактерий, вызывающих брожение в целлюлозе, которая содержится в гниющих болотных растениях. Если это так, решили исследователи, то нельзя ли эти же бактерии использовать для производства метана из органических составляющих в отработанных растворах? Полученный таким образом метан может служить топливом на тепловых электростанциях».

«В Норвегии несколько наблюдателей, державших между собой связь по телефону, измерили высоту Северного сияния. Находясь в разных местах, расстояние между которыми было известно, они одновременно фотографировали его. Несложные расчеты показали, что обычно высота Северного сияния достигала 100 км, хотя иногда вершины столбов возвышались на 400 км над землей».

«Если иметь в виду их удивительные свойства и белковую природу и сравнить их, с одной стороны, с явно неживыми скоплениями атомов, а с другой — с живыми организмами, то вирусы следует считать переходной формой между неживой материей и полноценными живыми существами, но стоящей все-таки ближе к живой материи».

«Разработанный в Англии новый способ гальваностегии позволяет наносить на пластмассовые отливки декоративные или защитные металлические покрытия. Для этого можно использовать медь, хром, никель, серебро и родий. Новый способ позволяет изготавливать из легкой пластмассы самые разнообразные предметы, которые до сих пор приходилось отливать в металле».

«Открыв любой учебник химии, за исключением, быть может, тех, что только-только вышли в свет, вы увидите, что таблица химических элементов заканчивается ураном, имеющим атомный вес 92. Все эти элементы, служащие строительным материа-

лом для окружающего нас мира, были систематизированы в 1869 г. русским ученым Менделеевым и немецким ученым Мейером\*. Однако за последнее время таблица пополнилась четырьмя следующими за ураном элементами. Нет ничего удивительного, что они не были известны раньше, ведь их пришлось создать, а для этого потребовались нейтроны, открытые только в 1937 г.».



АПРЕЛЬ 1887 г. «Австралийские газеты сообщают об эпидемии чумы среди кроликов в этой части света. К этим горестным стенаниям присоединилась китайская империя, которой также угрожает опасность. Пекинская «Газетт» опубликовала текст прошения, направленного императору наместником провинции Улясутай. Вследствие появления там полчищ крыс предлагается изменить маршруты правительственных курьеров на трех почтовых станциях».

«Фтор — это настоящая фурия в мире элементов. Он мирно соседствует с кальцием в плавленом шпате, а также в других соединениях, однако, будучи выделен в чистом виде (это удалось сделать недавно), этот газ начинает неистовствовать и ничто не может ему помешать. Натрий, калий, кальций, магний и алюминий

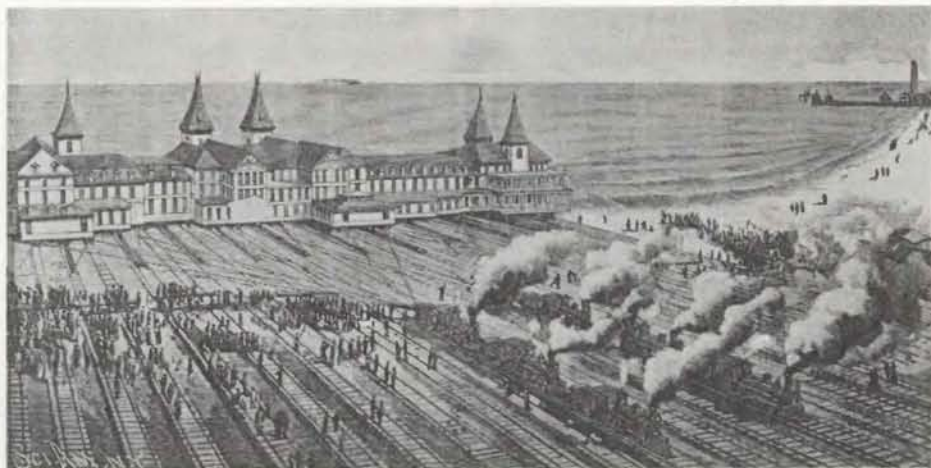
\* В 1870 г. (вслед за Д.И. Менделеевым) Ю. Мейер составил полную таблицу химических элементов, которая, по его словам, «в существенном идентична данной Менделеевым». — *Прим. ред.*

разогреваются докрасна в его страстных объятиях. Даже благородные металлы, которые и в расплавленном состоянии достаточно строптивы и сопротивляются чарам кислорода, не могут устоять перед этой химической «сиреной»».

«Дирекция новой городской железной дороги в Берлине уделила большое внимание уменьшению шума поездов, проходящих через виадуки и мосты, которые составляют большую часть дороги. На тех металлических мостах, где рельсы покоятся на деревянных поперечных шпалах или продольных бревнах, шум меньше, чем там, где рельсы крепятся непосредственно к металлу. Еще лучше, если между шпалами и мостом проложены войлок или резина».

«Хранитель музея в Бергене (Норвегия) г-н Фритъоф Нансен собирает в скором времени исследовать внутренние области Гренландии. В пути, который должен пройти через льды и снега, он намерен целиком полагаться на норвежские снегоступы — длинные узкие полоски из дерева (как правило, ясеня), на которых можно преодолевать большие расстояния за невероятно короткое время».

«Фотография внизу показывает, как передвигают отель «Брайтон-Бич» — одно из самых больших зданий на Кони-Айленде. На протяжении многих месяцев вода размывала песчаный берег, на котором построен отель. Стало ясно, что, если не будут предприняты соответствующие меры, отель рухнет. План состоял в том, чтобы подвести под здание достаточное количество грузовых платформ и с помощью локомотивов перевезти его по рельсам на подходящее место».



Отель «Брайтон-Бич» перевозят дальше от берега моря

# Компьютеры и музыка

*Компьютеры способны генерировать звуки, которые нельзя извлечь ни из одного музыкального инструмента.*

*Оба вида звуков можно с успехом объединить в музыкальном произведении, если композитор и инженеры работают рука об руку*

ПЬЕР БУЛЕЗ, ЭНДРЮ ГЕРЧО

ДО СИХ ПОР композиторы располагали лишь одним «материалом» для выражения музыкальных идей в такой форме, в какой их могут воспринять слушатели. Этот материал — звуки, извлекаемые музыкантами из традиционных инструментов. С приходом в нашу жизнь компьютеров и других устройств для цифровой обработки сигналов стали доступны совершенно новые средства музыкального выражения. Композитор, использующий такие электронные устройства для создания «оркестра» звуков, ограничен только своим воображением.

Задача создания музыки, в которой были бы объединены звуки, генерируемые компьютером, и звуки традиционных инструментов, весьма сложна. Композитор должен не только убедительно выражать свои музыкальные идеи, но и делать это в такой форме, которая позволяла бы достаточно просто воплощать их и в том и в другом звуковом материале. Более того, эти идеи должны быть достаточно «гибкими», чтобы во время исполнения произведения легко менять свое «воплощение». В противном случае слушатель может оказаться в недоумении относительно того, какую, собственно, роль по отношению к другим инструментам играет компьютер, и может быть удивлен (если не раздосадован) отсутствием соответствия между двумя видами «инструментов».

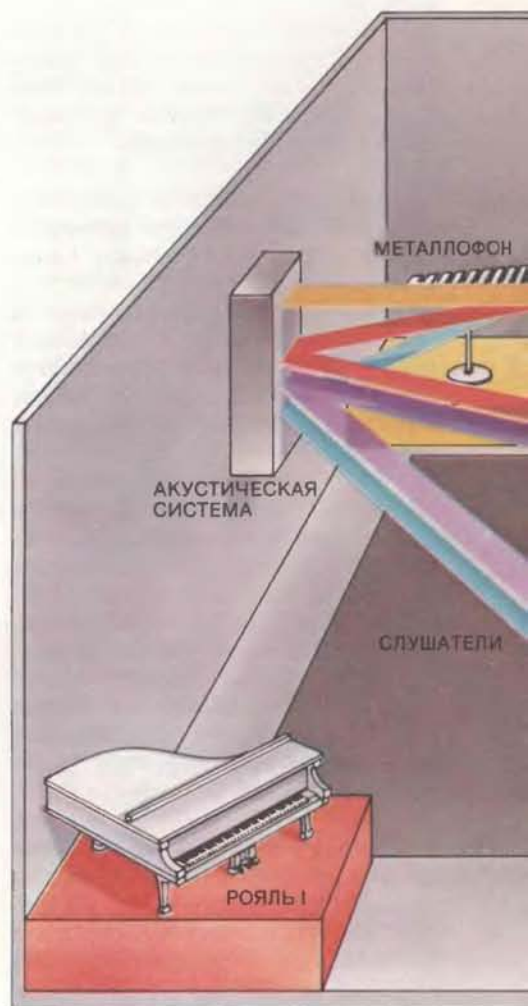
Чтобы использовать все возможные музыкальные связи между компьютером и традиционными инструментами, требуется тесный контакт между композитором и те-

ми, кто конструирует компьютеры и создает для них программное обеспечение. Лишь в результате такого сотрудничества можно создать устройства, которые служили бы сегодняшним целям композиторов и в то же время обладали бы широкими возможностями и гибкостью, необходимыми для будущих музыкальных экспериментов. Эта задача осложняется тем, что музыкальная сложность композиции обычно не сравнима с техническими сложностями, встающими на пути ее реализации. То, что в музыкальном отношении выглядит весьма просто, часто исключает простое техническое решение. Возможно, впервые композиторы оказались перед необходимостью объяснять и формализовывать свой подход при создании и оперировании концепциями, темами и связями в музыкальном контексте, для того чтобы инженеры (часто не имеющие специальной музыкальной подготовки) могли воплощать их в жизнь. Над такими проблемами мы и работаем в Институте по исследованию и координации в области акустики и музыки (ИИКАМ). Институт, входящий в Центр Жоржа Помпиду в Париже, образован для проведения музыкальных и инженерных исследований в целях объединения традиционного инструментального звукового материала с новым материалом, создаваемым компьютером.

Связь между этими двумя материалами может быть прослежена под разными углами зрения. Одно направление анализа опирается на моделирование создания звуков традиционными инструментами. Эти модели

можно применять для синтеза звуковой палитры, тесно или слабо связанной с инструментальными звуками (см. статью: М.В. Мэттьюз, Дж.Р. Пирс. Компьютер в роли музыкального инструмента, «В мире науки», 1987, № 4). Цель исследований в этом направлении — дать композитору метод написания партитуры для компьютера как для традиционного инструмента, т. е. в виде команд оператору, какие звуки произвести, а также когда и в каком виде это сделать. Другое направление исследований касается способов трансформации звуков, создаваемых традиционными инстру-

«ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ» звуков, создаваемых шестью солирующими инструментами при их одновременном вступлении в композиции «Répons» П. Булеза (одного из авторов статьи), возникает вследствие «движения» каждого звука по кругу между четырьмя акустическими системами. Схема движения иллюстрируется стрелками (цвет стрелки соответствует определенному инструменту). Скорость, с которой звук движется по залу, непосредственно зависит от его громкости. Из-за того что звучание инструментов затихает неодинаково быстро, движение звуков замедляется также по-разному. Несколько операторов, сидящих позади оркестра, управляют электронными и акустическими устройствами, которые и делают возможными описанные эффекты.





ментами. Применяя этот подход, можно «одним штрихом» расширить музыкальные возможности целого ансамбля, выведя его звучание за человеческие и инструментальные пределы.

**Ч**ТОБЫ заставить компьютер генерировать звуки, ему следует задать последовательность двоичных чисел, называемую выборкой, которая описывает звук как волну, т. е. как колебания давления воздуха во времени. Чтобы «озвучить» выборку, нужно превратить ее в последовательность пропорциональных импульсов напряжения, «сгладить» и усилить, а затем подать электрический сигнал на акустическую систему. Число выборок, которые компьютер может генерировать в одну секунду, т. е. скорость генерации выборки, зависит от частоты наивысшей гармоники в колебаниях давления воздуха. Точнее говоря, скорость генерации выборки должна быть вдвое больше частоты наивысшей гармоники. Это означает, что в большинстве случаев компьютер, синтезирующий или трансформирующий звуки, должен обладать способностью генерировать

или обрабатывать в одну секунду от 16 до 40 тыс. выборок (следует учесть, что операции над каждой из них требуют ряда вычислений).

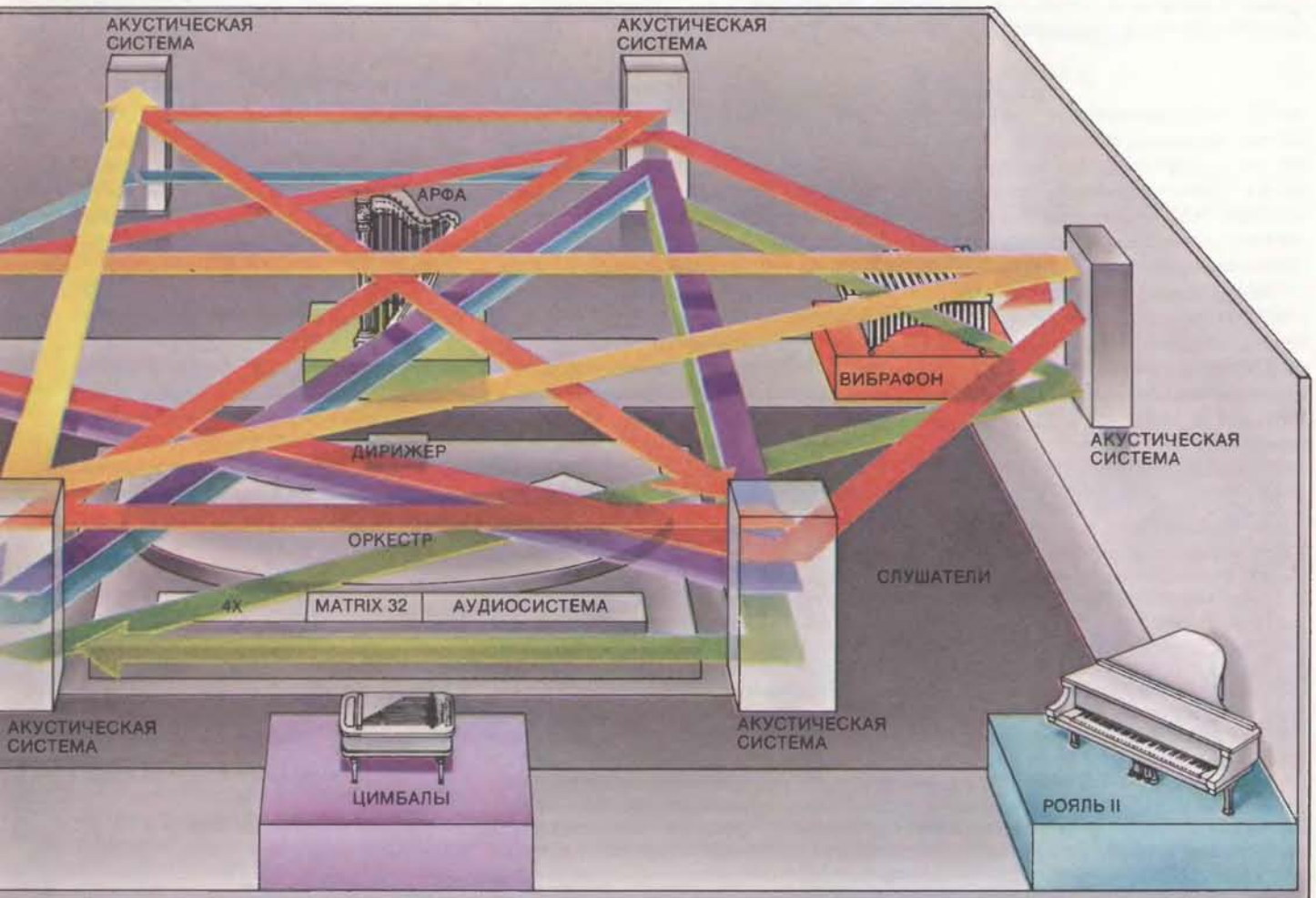
В прошлом такая обработка звуков могла вестись на компьютере лишь весьма медленно и с большими затратами. Поэтому композитор, который хотел объединить звуки, генерируемые компьютером, и звуки, извлекаемые из «живых» инструментов, должен был вначале записать обработанные сигналы на магнитофон и уже подготовленную запись проигрывать во время исполнения музыкального произведения на традиционных инструментах. Однако магнитофон не позволяет «отслеживать» вариации темпа, которые составляют очень важный элемент исполнения музыкального произведения. Более того, заранее подготовленная запись может разочаровать слушателей, которым доставляет удовольствие само действие, происходящее на сцене.

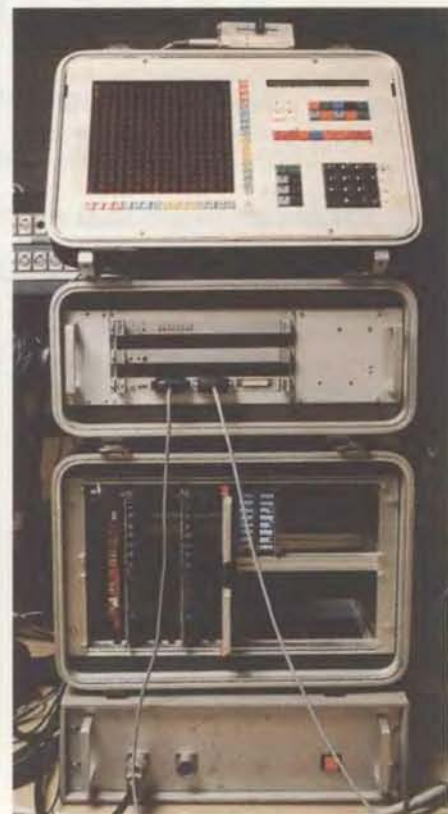
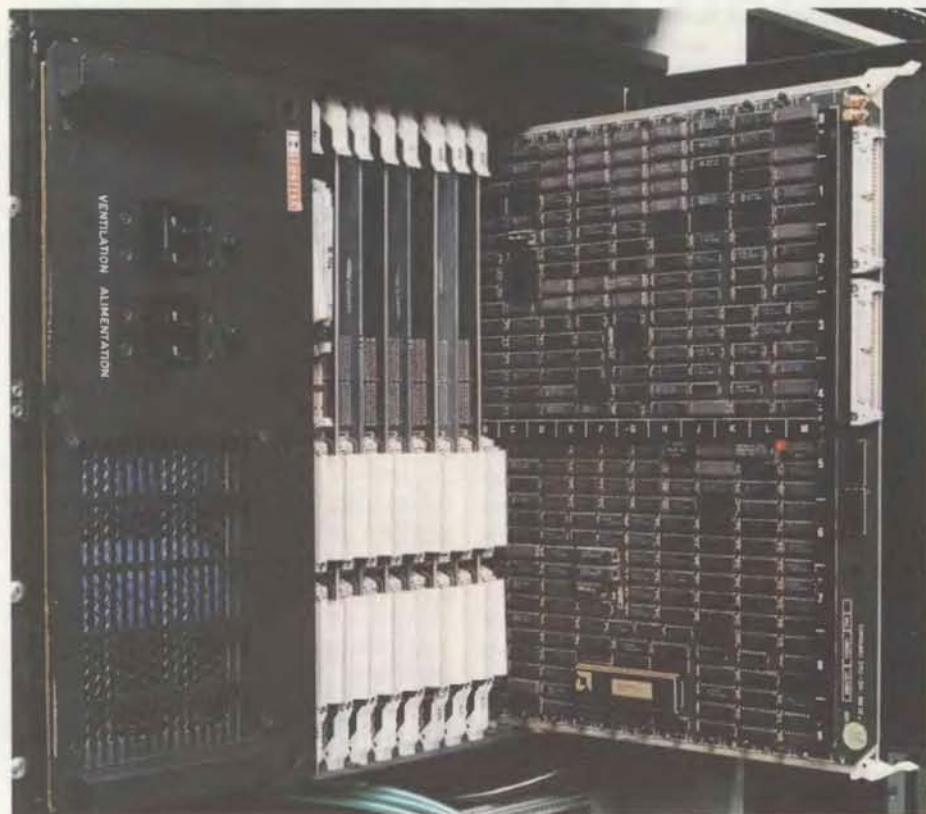
Современные компьютеры обладают достаточными быстродействием и мощностью, чтобы синтезировать оригинальные звуки или трансформировать звуки инструментов в «реальном времени», т. е. в одном темпе с

музыкантами. Теперь композиторы могут обеспечить равноправное участие компьютера среди других инструментов и тем самым устранить искусственный барьер между ними.

Трансформация звуков инструментов в реальном времени заслуживает особого внимания. Причин этому несколько. Возможность изменять звуки, издаваемые традиционными инструментами, позволяет композитору осваивать новую музыкальную «территорию»; при этом партитуры он продолжает писать для знакомых ему самому и аудитории инструментов. Устанавливая тесные или слабые связи между партиями инструментов и их электронными трансформациями, можно играть на контрасте между привычным и непривычным. В дополнение к этому, поскольку трансформации выполняются практически мгновенно, они передают импровизационный характер концертного исполнения (и даже несут на себе отпечаток несовершенства, свойственного человеку).

**Э**ЛЕКТРОННАЯ аппаратура, предназначенная для трансформации звуков в реальном времени, причем





ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА, играющие существенную роль при исполнении композиции «Répons»: 4X (слева) и Matrix 32 (справа). 4X состоит из восьми процессорных плат; каждый из процессоров можно независимо запрограммировать на то, чтобы он запоминал, обрабатывал и вызывал из памяти цифровую информацию о звуковых

волнах; эта информация представляется последовательностью чисел, описывающей колебания давления воздуха. Matrix 32 — это по сути программируемый «контролер движения звуковых сигналов»; он «передает» звуковые сигналы от солистов к 4X, а от 4X — к акустическим системам.

достаточно компактная, чтобы ее можно было доставлять на концерты, была создана лишь недавно. Одно из таких устройств, получившее название 4X, — представитель четвертого поколения процессоров, предназначенных для цифровой обработки сигналов в реальном времени; в ИИКАМ он используется не только для трансформации звуков, но и для их анализа и синтеза. Прототип этой машины был разработан и построен в ИИКАМ в 1980 г. Дж. Джуньо при содействии М. Антена, а в окончательном варианте она была произведена в 1984 г. французской компанией SOGITEC.

Устройство 4X, обладающее быстродействием 200 млн. операций в секунду, состоит из восьми процессорных плат; каждый из этих процессоров может быть независимо запрограммирован с помощью любой комбинации методов для цифровой обработки сигналов. Метод, известный как аддитивный синтез, основан, например, на том, что музыкальные звуки генерируются путем сложения большого числа синусоидальных волн. Каждый процессор 4X может генерировать 129 таких волн. Кроме того, каждый процессор может быть запрограммирован на включение 128 различных фильтров, которые можно

применить для трансформации звуков в реальном времени. Процессор имеет также память, которая позволяет ему запомнить звук продолжительностью 4 с и затем воспроизводить его с любым ритмическим рисунком.

Основные операции, необходимые для манипулирования волновыми сигналами, представленными в цифровой форме, закодированы в соответствующих «модулях», или замкнутых подпрограммах, которые можно связать между собой так, чтобы выход одного модуля был входом другого. Сами модули, а также соединения между ними программируются с по-



ОГИБАЮЩИЕ ВОЛН, соответствующих определенным звукам, отражают изменение во времени амплитуды сигнала (силы звука). Огибающие, соответствующие звукам всех шести солирующих инструментов в композиции «Répons», по-

хожи по форме: для них характерно резкое нарастание, за которым следует более плавный спад. Продолжительность спада зависит от высоты звука и от инструмента.

мощью «коммутаторов» — программ более высокого уровня, написанных на машинном языке, который был разработан одним из авторов статьи (Герчо) и реализован П. Потачеком и Э. Фавро. (Термины «коммутатор» и «модуль» сохранились со времен аналоговых синтезаторов, которые действительно имели реальные коммутаторы, или переключающие шнуры, соединявшие физические модули: осцилляторы, усилители и фильтры.)

Отдельные коммутаторы хранятся на магнитном диске главной машины 4X и могут быть загружены в 4X менее чем за полсекунды. Главная машина запускает также операционную систему, работающую в реальном времени, и диспетчер событий (разработанный М. Пакеттом, М. Фингерхатом и Р. Роу), который сообщает 4X, какую программу выбрать и когда. Таким образом, во время исполнения музыкального произведения по взмаху дирижерской палочки в 4X может быть загружен целый ряд различных коммутаторов, которые за долю секунды «перестраивают» 4X.

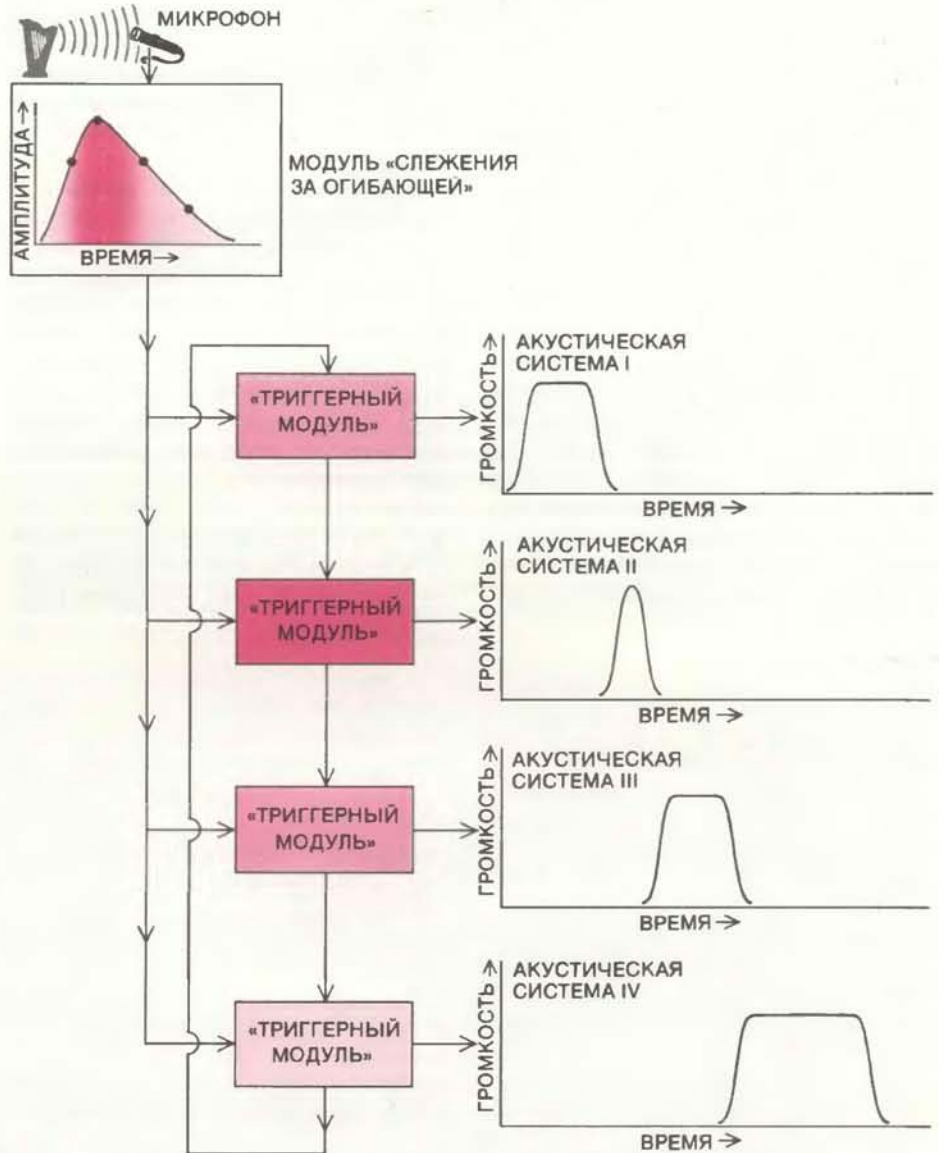
Исполнение музыкального произведения в большой аудитории требует также гибкости в смешении звуков, создаваемых акустическими системами, и в «перебрасывании» их на разные системы. За это ответствен другой компонент электронной системы, созданной в ИИКАМ, — Matrix 32. Это устройство, разработанное и изготовленное М. Старкье и Д. Ронсеном, служит своего рода контролером движения звуковых сигналов: оно устанавливает связь между рядом входов (сигналов, идущих от микрофонов или 4X) и рядом выходов (сигналов, идущих к 4X или акустическим системам), а также определяет амплитуду (громкость) выходных сигналов. С помощью программного обеспечения, написанного одним из авторов (Герчо), его в любой момент можно заставить подать звук солирующего инструмента на определенную акустическую систему. В следующий момент оно могло бы направить звук от каждого солирующего инструмента на различные входы модулей в 4X и уже затем подать трансформированные звуки на акустическую систему. Состояние Matrix 32 может быть изменено примерно за 0,1 с.

И 4X, и Matrix 32 играют существенную роль при исполнении композиции «Répons», написанной одним из авторов (Булезом) для шести солирующих инструментов, камерного оркестра и процессоров, предназначенных для цифровой обработки сигналов в реальном времени. Эта работа была выполнена по заказу

Southwest German Radio. Композиция была впервые исполнена в Донауэшингене (ФРГ) в 1981 г. В 1986 г. она исполнялась во время гастролей по пяти городам США французской авангардной камерной группы Inter-Contemporain.

«Répons» — это средневековое

французское название особой разновидности антифонной хоровой музыки, в которой солисту всегда «отвечает» хор. Термин подходит в качестве названия современной композиции, поскольку он предполагает «вопросы» и «ответы» на самых различных музыкальных уровнях. В «Répons»



ПРОГРАММА, осуществляющая пространственную организацию звуков, устроена следующим образом. Сигнал от микрофона направляется на модуль «слежения за огибающей» для генерации опорного сигнала (показан цветом), частота которого (показана насыщенностью цвета) изменяется в соответствии с изменениями амплитуды огибающей звуковых колебаний. Опорный сигнал в свою очередь служит входным сигналом для четырех других, так называемых «триггерных модулей» (ТМ), которые управляют громкостью звука на каждой из четырех акустических систем. Сигнал переходит от одного ТМ к другому, при этом первый отключается, а второй включается. (В каждый момент может быть задействован только один ТМ.) Частота сигнала определяет, как долго остается включенным данный ТМ: чем выше частота, тем быстрее он выключается. На приведенном рисунке частота опорного сигнала, соответствующая первой точке на огибающей, определяет, как долго остается включенным первый ТМ; частота, соответствующая второй точке на огибающей, определяет, как долго остается включенным второй ТМ, и т. д. Связав ТМ в замкнутую цепь, можно заставить звук совершать круговое «движение» от одной акустической системы к другой со скоростью, определяемой его громкостью. Поскольку для того, чтобы сила звука достигла максимальной величины и вернулась назад на нулевой уровень, требуется некоторое время, звуки, создаваемые разными акустическими системами, частично накладываются друг на друга.

можно найти все виды диалога: между солистами и ансамблем, между одним солистом и остальными и между трансформированными и нетрансформированными пассажирами. В этот процесс «вопросов и ответов» вовлечены почти все музыкальные характеристики: высота тона (воспринимаемая частота), ритм (распределение во времени отдельных долей), динамика (громкость звука) и тембр (окраска звука). (Чтобы сделать возможными трансформации звуков солирующих инструментов в реальном времени, все солирующие инструменты снабжены микрофонами. Благодаря этому электрические аналоги звуков можно подвергать цифровой обработке и затем посылать на акустические системы.)

В традиционной антифонной форме можно найти еще две идеи, которые были реализованы в композиции «Répons». Первая касается «смещения» звуков в пространстве и связана с тем, что солисты и хор находятся в разных местах. С учетом этой идеи шесть солистов и шесть акустических систем при исполнении «Répons» располагаются, как правило, по краям концертного зала, а ансамбль разме-

щается в центре. (Слушатели рассаживаются вокруг ансамбля.)

«Смещение» можно представить и в более общем виде — как сдвиг в любом «измерении», характеризующем музыкальный звук. Если в качестве такого измерения рассматривать частоту, то смещение будет соответствовать сдвигу частот, который в случае традиционного инструмента представляет собой транспозицию мелодии в другие тональности. По той же причине смещение во времени равнозначно задержке, поскольку оно связано со «сдвигом» нот вперед по временной оси.

Другая идея, которую можно извлечь из антифонной музыки, связана с тем фактом, что в такой музыке одному голосу (соло) отвечает много голосов (хор). Это позволяет говорить об умножении звуков, что может быть реализовано с помощью компьютера: последний, «получая» одну ноту или один аккорд, создает множество нот или аккордов, связанных с оригиналом.

**КОМПОЗИЦИЯ «Répons»** открывается семиминутной частью, исполняемой только инструменталь-

ным ансамблем; музыкальное напряжение медленно нарастает, и вот уже готовятся к вступлению солирующие инструменты: цимбалы (струнный инструмент, на котором играют молоточком), ксилофон, металлофон, вибрафон (инструмент, напоминающий ксилофон), арфа, синтезатор Yamaha DX7 и два фортепьяно. (Хотя солистов шесть, инструментов восемь: один музыкант играет и на ксилофоне, и на металлофоне, еще один — и на синтезаторе, и на фортепьяно.) Наконец вступают солисты. Каждый из них играет в унисон с другими короткое арпеджо — последовательные звуки аккорда, начиная с самого низкого. Усиливающие друг друга арпеджо «гуляют» по всему залу в течение примерно восьми секунд, пока звуки практически не затихнут. В это время в первый раз «вступают» 4X и Matrix 32: они «улавливают» звуки арпеджо и передают их последовательно на акустические системы.

Внимание слушателей, таким образом, переключается от центра зала к его периферии, где располагаются солисты и акустические системы. Публика слышит звуки солирующих инструментов, путешествующие по

The image shows a handwritten musical score for the piece 'Répons'. It consists of several staves, likely for different instruments or voices. The score is heavily annotated with pink rectangular blocks highlighting specific chordal structures or arpeggios. There are numerous handwritten notes, including 'Kyl laut', '6', and circled numbers (1, 2, 3, 4, 5, 6). At the top, there are some scribbles and the text '[Violin] [Arpeggio]'. The notation includes various musical symbols like notes, stems, and beams, though some are crossed out or heavily scribbled over.

ОТРЫВОК из партитуры «Répons». Аккорды (в розовых блоках) солисты играют в виде арпеджо — беря каждую

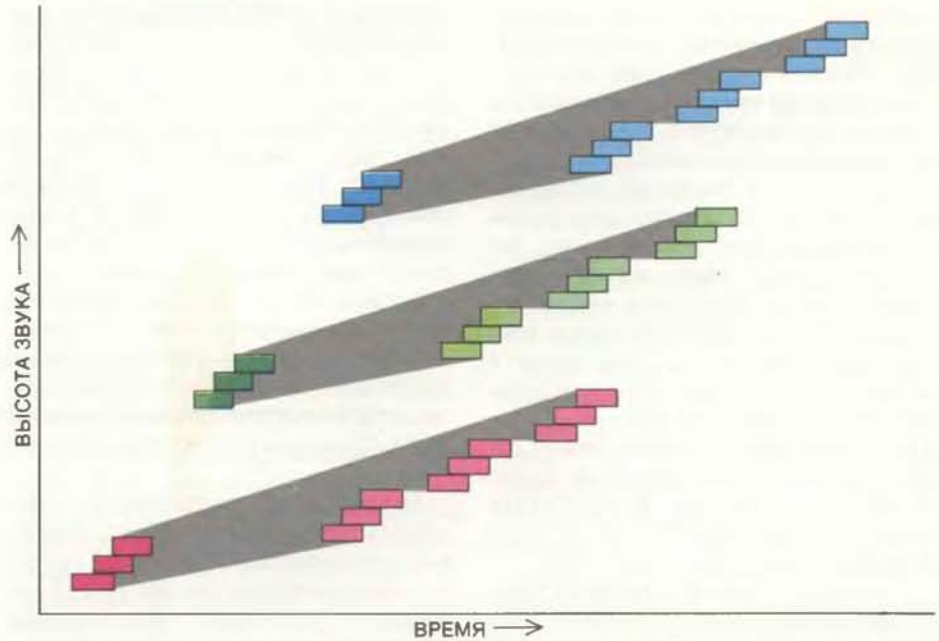
ноту по отдельности, начиная с нижней. Первую серию арпеджо солисты играют все вместе, вторую — по очереди.

залу, но не в состоянии различить пути, по которым те движутся. В целом благодаря этому эффекту ярко проявляется антифонная связь между центральной группой и солистами: слушатели имеют возможность «ощутить» пространство, отделяющее ансамбль от солистов, а солистов друг от друга. Можно сказать, что этот прием пространственно организует звук.

Звук солирующего инструмента движется с переменной скоростью от одной акустической системы к другой; эта скорость зависит от громкости звука, а та в каждый момент времени пропорциональна амплитуде огибающей тех волн, которые определяют данный звук. Чем больше амплитуда, тем быстрее перемещается звук. Хотя звукам солирующих инструментов соответствуют похожие по форме огибающие (для которых характерны резкое нарастание и экспоненциальный спад), продолжительность спада зависит от высоты звука и от того, на каком инструменте он взят. Например, высокие звуки на фортепьяно имеют более быстрое нарастание и менее продолжительный спад, чем низкие, а звуки металлофона имеют менее продолжительные нарастание и спад, чем соответствующие звуки фортепьяно.

Поскольку звуки солирующих инструментов затихают неодинаково быстро, их движение замедляется также неодинаково. В целом у слушателей создается ощущение, что единая яркая фраза разбивается на несколько частей. По мере того как громкость звуков в целом убывает, первоначальное ощущение быстрого перемещения звуков по залу сменяется ощущением неподвижности.

Привязанная к громкости звука его пространственная организация достигается благодаря увеличению силы звука конкретного солирующего инструмента до максимума на одной акустической системе и снижения его до нуля — на другой. Так называемые «триггерные» модули в компьютере 4X управляют одновременным увеличением и уменьшением силы звука, а также определяют продолжительность времени, в течение которого максимальный уровень поддерживается на данной акустической системе (см. рисунок на с. 9). Поскольку звук каждого солирующего инструмента движется по кругу между четырьмя акустическими системами, триггерные модули соединены в цепи по четыре. Триггерный модуль управляется опорным сигналом, частота которого пропорциональна амплитуде огибающей звуковых колебаний, а та в свою очередь отслеживается «модулем слежения за огибающей». Таким



ИЕРАРХИЯ АРПЕДЖО, подобная тем, что встречается в композиции «Répons», изображена в координатах времени и высоты тона. Поскольку в широком смысле арпеджо можно понимать как смещение во времени и по высоте любых музыкальных структур (не только звуков аккорда), три арпеджированных трезвучия (прямоугольники темного цвета), сыгранные одно за другим и в различных диапазонах, могут также рассматриваться как составляющие «арпеджо». По той же причине «разнесение» во времени и в диапазоне частот трех построенных компьютером копий (светлые прямоугольники) каждого из трезвучий также можно назвать арпеджо. При исполнении композиции «Répons» пять солистов играют семизвучные арпеджо, которые копируются, сдвигаются в диапазоне частот и вновь проигрываются 14 раз.

образом, уменьшение амплитуды огибающей (например, во время затухания звука) снижает частоту опорного сигнала и тем самым заставляет триггерный модуль поддерживать максимальный уровень громкости на акустической системе дольше.

**КАК ТОЛЬКО** звуки пространственно организованных арпеджо ослабевают, дирижер примерно через равные интервалы подает знак каждому солисту начать новое арпеджо: эти отдельные арпеджо служат ответом одновременно сыгранным арпеджо. Пять из них передаются на 4X, который непрерывно записывает звуки в память. Записав эти данные, 4X вызывает их с помощью 14 «модулей считывания», так что в наличии оказываются 14 точных копий первоначальной фразы — каждая со своей временной задержкой. Затем частота каждой копии сдвигается с помощью другого модуля 4X, и копия воспроизводится.

Описанный пример представляет собой, по существу, арпеджо («разнесение» 14 копий во времени и в интервале частот), состоящее из арпеджо (последовательностей звуков), состоящее из арпеджо (партий отдельных солистов) (см. рисунок вверху). С помощью задержек во времени и сдвигов по частоте идею арпеджо — сме-

щения звуков или целых музыкальных структур во времени и по высоте — удалось довольно эффективно «перевести» с инструментального языка на электронный.

Помимо сдвига высоты тона в «Répons» использован и другой метод, применимый и к инструментальной, и к электронной композиции. Значительная часть этого музыкального текста может быть представлена как последовательность модификаций аккордов, основанных на сдвиге звуков вверх или вниз на различные интервалы. Не вдаваясь в детали, скажем только, что значительная часть гармонического материала в «Répons» может быть сведена к пяти аккордам, которые звучат в первом такте произведения.

На самом деле шесть арпеджо, играемые солистами одновременно во вступительной части, равно как и те, что потом звучат отдельно, могут быть получены из одного базового аккорда. Арпеджо, звучащие при вступлении солистов, строятся путем транспозиции базового аккорда на полтона вверх и вниз и последующего сочетания частей двух полученных аккордов различными способами. (Полтона — это наименьший возможный интервал транспозиции в традиционной музыке. Повторенная 12 раз транспозиция аккорда на полтона

приводит к тому же аккорду, но на октаву выше или ниже.) Полученные таким образом аккорды сдвигаются на одну либо две октавы вверх или вниз, так что на различных инструментах они оказываются в разных октавах.

Что касается раздельно исполняемых арпеджо, то они строятся путем последовательной транспозиции базового аккорда вверх на интервал, равный числу полутонов между самым высоким звуком аккорда и каждым из оставшихся. В дополнение к этому звуки полученных аккордов сдвигаются вверх или вниз на октаву так, чтобы они оказались между самым высоким и самым низким звуками базового аккорда. В результате звуки, которые «вышли» за пределы аккорда, «возвращаются» в него.

Частотные сдвиги 14 копий отдельных звучащих арпеджо выбираются такими, чтобы сохранялась описанная структура сдвига тонов. Каждый

«входной» аккорд преобразуется так, что его звуки остаются теми же самыми, но попадают в разные октавы. Частотный сдвиг поэтому «усиливает» первоначальный аккорд и вместе с тем придает ему новое гармоническое качество. Поскольку сдвиг звуков в базовом аккорде приводит к новой последовательности аккордов, которые в свою очередь сдвигаются устройством 4X по частоте, результат можно рассматривать как транспозицию от транспозиции. Основополагающая идея связи между инструментальной и электронной «партиями» в этом случае состоит в смещениях по частоте.

Транспозиция, выполняемая «модулем сдвига частот», однако, не полностью эквивалентна обычной транспозиции аккордов, так как она не сохраняет частотные соотношения между частичными тонами (частотными составляющими). Обычно каж-

дый тон характеризуется одной частотной составляющей, определяющей его высоту и называемой основной частотой, и рядом других составляющих, обычно кратных основной частоте. Целочисленные отношения между частотами отдельных составляющих звука, равно как и относительные амплитуды этих составляющих, изменяющиеся при воспроизведении звука, определяют тембр звука. Поэтому сдвиг каждой составляющей по частоте на одну и ту же фиксированную величину не сохраняет частотные соотношения между составляющими и тембр первоначального звука изменяется. Эта проблема решается, если у вас есть возможность сдвигать частоту каждой составляющей независимо на произвольную величину. Однако для этого необходим более эффективный анализ в реальном времени, обеспечиваемый более мощными аппаратными средствами. Над этой проблемой мы работаем сейчас в ИИКАМ.

8va

МЕТАЛЛОФОН

РОЯЛЬ I

ВИБРАФОН

РОЯЛЬ II

ЦИМБАЛЫ

АРФА

**ТРАНСПОЗИЦИЯ** (сдвиг звуков) пяти основных аккордов (на верхнем нотном стане) дает значительную часть гармонического материала композиции «Répons». Арпеджо, играемые солистами при вступлении, строятся на основе одного базового аккорда (в рамке), играемого вибратонистом. Сдвигая все звуки базового аккорда на октаву и полтона вверх и на октаву и полтона вниз, получаем аккорды для металлофона и второго фортепьяно соответственно. Аккорды для других солирующих инструментов строятся путем сочетания верхних и нижних частей трех вышеописанных аккордов и сдвигания звуков вверх или вниз на октаву так, чтобы звуки каждого аккорда попадали в интервал величиной в октаву и полтона.

**Х**ОТЯ компьютер — это новое действующее лицо в музыке, он уже позволил увидеть интересные перспективы, опираясь на которые композиторы и дизайнеры звука могут воплотить в жизнь новые идеи или по-новому использовать старые. Для этого они нуждаются в мощных электронных устройствах, которые можно было бы программировать различными способами. Ни один композитор или дизайнер звука не удовлетворится устройством, которое позволяет применять только один способ анализа, синтеза или трансформации звуков.

Например, описанные нами электронные «операции», выполняемые при исполнении двух коротких частей «Répons», выполняются с помощью одного «коммутатора» 4X, который задает программы для шести «модулей пространственной организации», пяти «модулей многократных задержек», 30 «модулей частотных сдвигов», а также «модулей — фильтров шума» для каждого солиста. Обе эти части занимают по времени лишь 30 с, в то время как все призведение длится 45 мин и его исполнение требует работы 50 «коммутаторов». Очевидно, что для концертного исполнения произведений смешанного типа, таких, как «Répons», необходимы электронные системы, обладающие исключительной гибкостью.

К сожалению, в последнее время наблюдается тенденция к производству специализированных устройств, основанных на специфических методах цифровой обработки сигналов. В какой-то мере это объясняется ры-

ночной конъюнктурой: устройства должны быть дешевыми. Однако, желая связать воедино несколько электронных устройств, вы неизбежно оказываетесь перед проблемой управления и координации. Более того, в каждый момент времени можно использовать лишь часть всей мощности компьютера. Не говоря о расту-

чительности, такой подход делает невозможным сконцентрировать суммарную вычислительную мощность на одном методе цифровой обработки сигналов. Цель ИИКАМ — помочь композиторам, дизайнерам звука и инженерам решить эти проблемы, не потеряв из виду музыку.

Эпплгейта — примерно одна находка на 1 м<sup>3</sup> породы), а также в разнообразии этих находок.

Наиболее широко среди находок представлены рыбы (среди них всевозможные костные рыбы, предки современных костистых рыб), причем ученые насчитали более 30 новых видов. По найденным окаменелостям можно проследить за развитием отдельных видов рыб на всех стадиях, от малька до взрослого состояния, и таким образом осуществить заветную мечту любого палеонтолога. Имеются также остатки рептилий, среди них — ящерицы, черепаха, представитель семейства крокодилов, плеурозавр и птерозавр. Встречается много новых видов беспозвоночных, включая крабов, а также кишечнополостные — актинии, голотурии и многощетинковый кольчатый червь. Многие из окаменелостей удивительно хорошо сохранились, а у некоторых рыб можно даже исследовать содержимое желудка. Как считает Гранде, на месте теперешнего карьера была некогда мелкая лагуна, вода в которой отличалась низким содержанием кислорода; оказавшиеся здесь погибшие животные оставались недоступными для падальщиков и их останки сохранились поэтому в неповрежденном виде.

В настоящее время в городе Тепехи-де-Родригез построен специальный музей для размещения находок, проводится сбор средств для расширения масштабов исследовательских работ. Поскольку в Мексике не оказалось достаточного числа собственных специалистов-палеонтологов для исследования большого объема собранных материалов, на помощь пришли ученые из США. Как сказал Эпплгейт, он хочет «воспользоваться возможностью и оказать Мексике помощь в этой области». Он также подчеркнул, что наиболее ценные образцы найденных окаменелостей не должны вывозиться из страны.

## Наука и общество

### Палеонтологические находки в карьере

В 1964 г. в южной части Мексики близ города Тепехи-де-Родригез, шт. Пуэбла, местный житель Дон Мигель Арангути открыл карьер по добыче камня-плитняка для мощения улиц. Вскоре после начала работ в карьере Дон Мигель, а позднее и его пятеро сыновей стали находить в слоях известняка красноватого цвета окаменелые остатки рыб и других различных животных, которые они вначале попросту раздавали знакомым в качестве удивительных и красивых безделушек. Позднее, в 1980 г., они показали некоторые из своих находок специалистам Института геологии при Мексиканском национальном независимом университете.

Дон Мигель Арангути и сегодня вместе с членами своей семьи продолжает добывать камень в карьере. Между тем, как указывает Ланс Гранде, сотрудник Музея истории естествознания под открытым небом в Чикаго, находки, сделанные в этом карьере, рассматриваются учеными как «может быть, одно из крупнейших мировых открытий в области палеонтологии». К настоящему времени в известняковых породах карьера, возраст которых составляет около 115 млн. лет, найдено более 4 тыс. ископаемых остатков животных, включая десятки неизвестных ранее видов и семейств, что открывает дополнительные возможности для освещения процессов эволюции многочисленных групп животных. Недавно место палеонтологических находок посетил президент страны Мигель де ла Мадрид Уртадо, который пообещал государственную поддержку в исследовании этого уникального месторождения.

Первыми, кто приступил к исследованию находок в карьере, были Шелтон П. Эпплгейт из Мексиканского университета и Джордж Каллисон из Калифорнийского университета в Лонг-Биче. Их работа финансировалась На-

циональным географическим обществом США. Позднее финансовую поддержку проводившимся там работам оказывал также Национальный научный фонд США. В дополнение к исследованиям Эпплгейт обучил всех членов семьи Арангути методике обнаружения и обработки окаменелостей. Теперь, когда во время работ попадает очередная находка (а происходит это довольно часто), они бережно сохраняют ее, записывая, в каком месте она была обнаружена. В шутку Эпплгейт называет это «семейной палеонтологией».

Как указывает Дэвид Бардек из Иллинойского университета, уникальность слоистых пород данного карьера определяется тем, что они содержат ископаемые остатки начала мелового периода и что такие породы не встречаются более нигде в Северной Америке. Начало мелового периода представляет для ученых особый интерес, поскольку именно тогда появились многие виды животных из числа преобладающих сегодня. По своим геологическим характеристикам местные породы аналогичны знаменитым отложениям в Золенхофене на территории нынешней ФРГ, где был найден наиболее хорошо сохранившийся остаток «первоптицы» — археоптерикса. Отличительная же их особенность состоит в небывалой насыщенности окаменелостями (по оценке



ОКАМЕНЕЛЫЙ ОТПЕЧАТОК морской иглы длиной около 20 см был обнаружен в плите тонкослоистого известняка в карьере близ города Тепехи-де-Родригез (Мексика). (Фотография Гейла А. Бишона.)

# Свое, чужое и аутоиммунитет

*Аутоиммунитет, заключающийся в том, что иммунная система распознает и атакует клетки своего собственного организма, — далеко не такое простое явление, как казалось.*

*Распознавание «своего» лежит в основе как здоровья, так и некоторых заболеваний*

АЙРАН Р. КОЭН

**П**РИНЯТО считать, что основная задача иммунной системы заключается в том, чтобы распознать «чужое», отличить его от «своего». После того как такое различие сделано, «свое» сохраняется, а «чужое» разрушается. В общем это, безусловно, верно, и человек остается живым и здоровым только потому, что это так. Однако недавно стало ясно, что при детальном рассмотрении различие между «своим» и «чужим» не абсолютно. Один из путей, приведших к такому представлению, — изучение аутоиммунных заболеваний, при которых иммунная система атакует нормальные, здоровые ткани собственного организма. Аутоиммунные заболевания, влекущие за собой инвалидность и смерть, могут поражать любую ткань или орган. Их жертвы часто находятся в расцвете лет; по непонятным причинам это чаще женщины, чем мужчины.

Работа в моей лаборатории по изучению одной из форм аутоиммунного артрита показала, что аутоиммунитет может быть обусловлен сходством между специфической чужеродной молекулой и молекулой собственного организма. Наши результаты согласуются с моделью иммунной системы, в которой рецепторы, выполняющие функцию распознавания, сами могут распознаваться другими рецепторами. Такое самораспознавание, которое отвергалось прежними моделями иммунной системы, может создавать основу сети взаимодействий, равновесие которой обеспечивает здоровье организма. Когда равновесие нарушается, что происходит при аутоиммунных явлениях, развивается болезнь. Это новое представление, согласно которому организм («свое») и его окружение (источник «чужого») не являются абсолютно различными, уже привело к практической пользе: создаются вакцины,

которые могут облегчить тяжелые страдания, связанные с аутоиммунными заболеваниями.

Аутоиммунных заболеваний немало, и перечень их вызывает тревогу. К этой группе болезней относятся: рассеянный склероз, при котором поражается миелин (вещество оболочки нервных волокон); миастения гравис, при которой мишенью являются молекулы, служащие рецепторами важного нейромедиатора — ацетилхолина; ревматоидный артрит, при котором поражаются периферические суставы; сахарный диабет типа I (ювенильный), при котором разрушаются клетки, производящие инсулин; системная красная волчанка, при которой атаке подвергаются ДНК, кровеносные сосуды, кожа и почки. В противоположность СПИДу, который характеризуется выходом из строя ключевых клеток иммунной системы, при всех упомянутых заболеваниях иммунный ответ остается сильным и четко направленным; к сожалению, направлен он против тех или иных компонентов самого организма, т. е. виновницей как бы является сама иммунная система. Как это возможно?

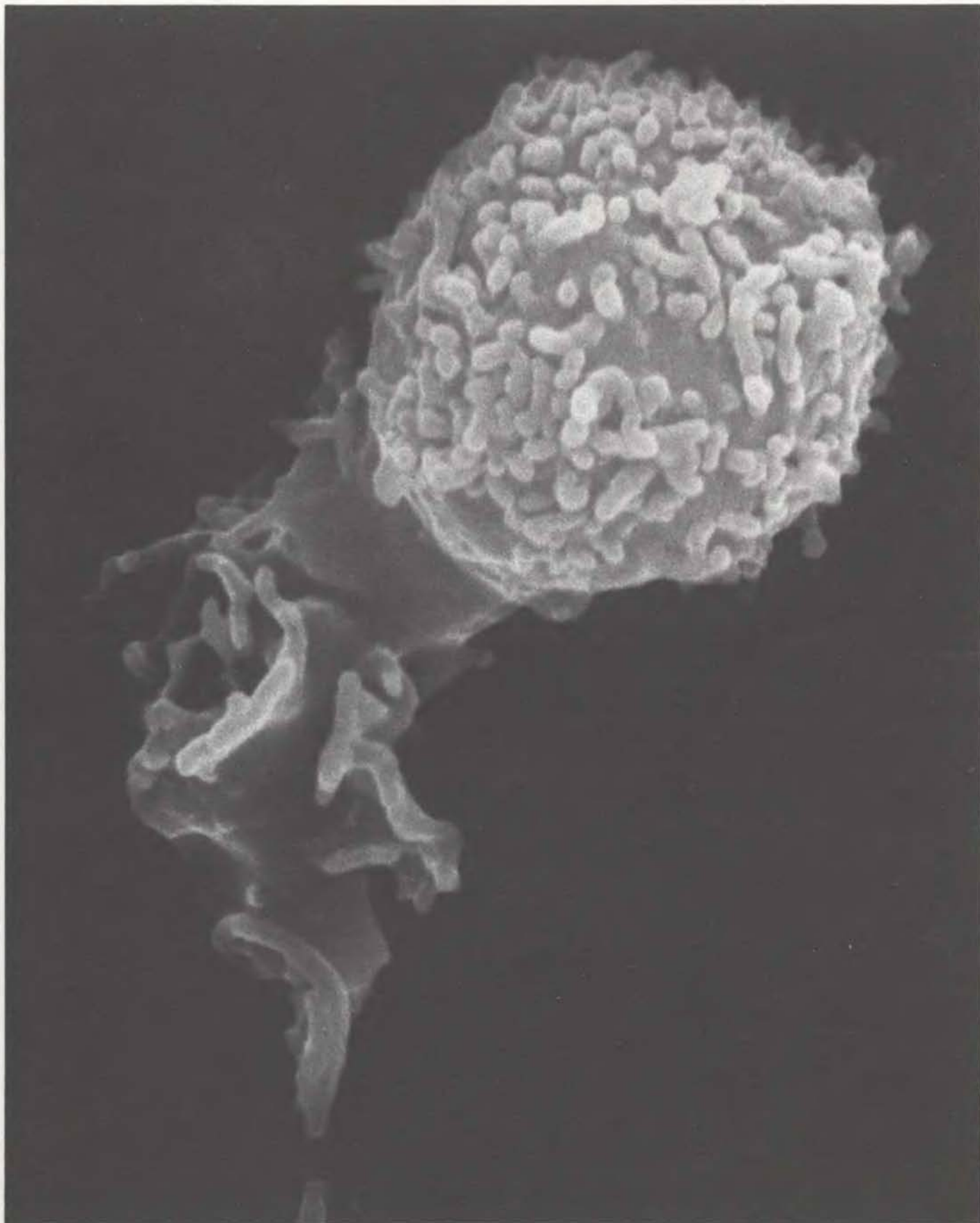
Ясно, что к ответу имеет отношение проблема распознавания. Эта проблема в свою очередь касается клеток, которые опосредуют распознавание в иммунной системе, — лимфоцитов. Существуют два класса таких клеток: Т-лимфоциты и В-лимфоциты. И те и другие происходят от стволовых клеток в костном мозге. У стволовых клеток, однако, нет рецепторов, которые придают Т- и В-клеткам способность специфически распознавать определенные молекулы, играющие роль мишени при иммунной атаке. Такие рецепторные молекулы появляются в процессе созревания исходно полипотентных стволовых клеток. По завершении созревания каждая В- или Т-клетка не-

сет на своей поверхности множество копий одной определенной рецепторной молекулы и благодаря этому способна распознавать молекулы только одного вида. Любая молекула, распознаваемая таким способом, называется антигеном.

Одной из примечательных особенностей процесса распознавания является то, что при этом требуется не весь антиген, а только небольшая его часть, называемая эпитопом. Если (как часто бывает) распознаваемая молекула представляет собой полимер — такой, как белок или полисахарид, — то эпитоп обычно содержит всего лишь 4—6 мономеров из тысяч возможных (аминокислотных остатков в белках, остатков простых сахаров в полисахаридах). Форма и электрический заряд эпитопа точно соответствуют определенному рецептору. Когда эпитоп встречается с комплементарным ему рецептором, они обратимо связываются, что дает сигнал для Т- или В-клетки.

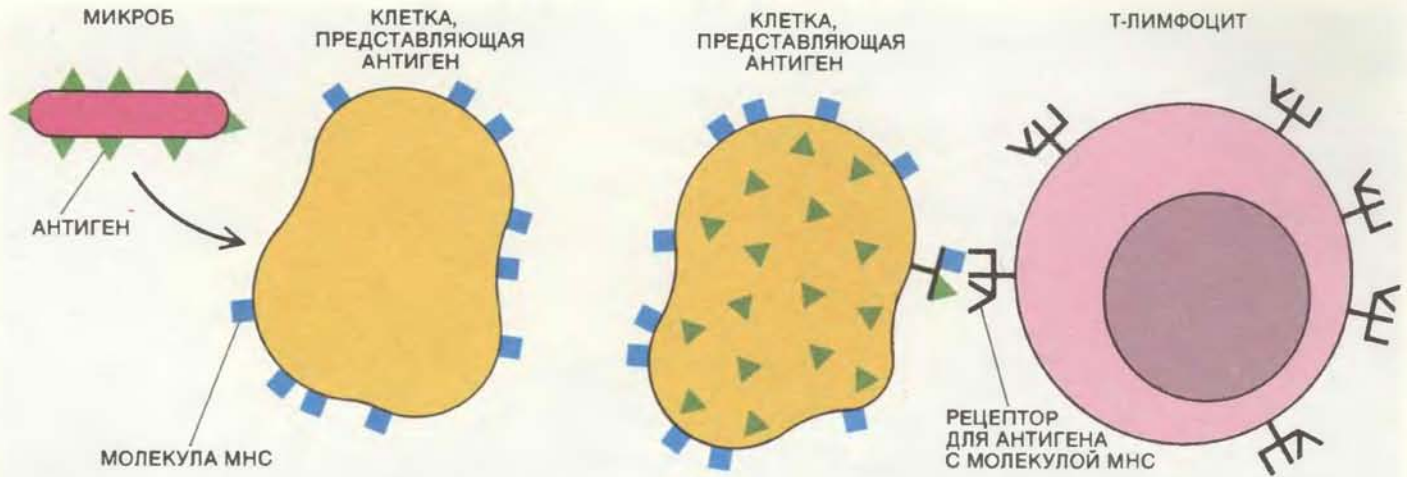
Существенно, что каждый лимфоцит несет рецепторы одной и только одной специфичности. Для того чтобы иммунная система была способна распознавать широкий спектр различных патогенов, необходимо большое разнообразие рецепторов. И действительно, новые рецепторы постоянно образуются стохастически в результате генетической рекомбинации в стволовых клетках-предшественниках. Не все рецепторы, возникающие таким путем, одинаково полезны, и иммунная система уничтожает ненужные рецепторы в процессе так называемой клональной селекции. Лимфоцит, рецептор которого оказался наиболее подходящим для эпитопа данного микробного антигена, получает преимущество перед своими «конкурентами»: он делится быстрее, и вскоре клетки с таким рецептором оказываются преобладающими по





ХЕЛПЕРНЫЙ Т4-ЛИМФОЦИТ является важным элементом иммунной системы. Эти клетки-помощники способствуют функционированию других клеток иммунной системы. Наружная клеточная мембрана лимфоцита образует отростки; благодаря им увеличивается поверхность клетки, через которую осуществляется ее взаимодействие с окружающей средой. Похожая на стебель структура, отходящая от

тела клетки (так называемая уropодия), по-видимому, играет роль в подвижности клетки. Распознавая и атакуя хрящ в суставах, хелперные Т4-лимфоциты вызывают экспериментальное аутоиммунное заболевание, известное под названием адъювантный артрит. (Фотография сделана Я. Напарстеком и Д. Гурфель из больницы Университета Хадасах в Иерусалиме. Увеличение  $\times 30\ 000$ .)



**Т-КЛЕТКА РАСПОЗНАЕТ АНТИГЕН**, представленный специализированной клеткой. Антигеном может быть любая молекула, распознаваемая рецептором лимфоцита или антителом. Когда клетка, представляющая антиген, сталкивается с микробом, она разрушает его и представляет

Т-клеткам: на ее поверхности появляются определенные компоненты патогена в сочетании с ее собственными молекулами — белками главного комплекса гистосовместимости (МНС). Связывание антигена и молекулы МНС с рецептором Т-клетки запускает ответ Т-лимфоцита.

сравнению с другими Т- и В-клетками в своем окружении.

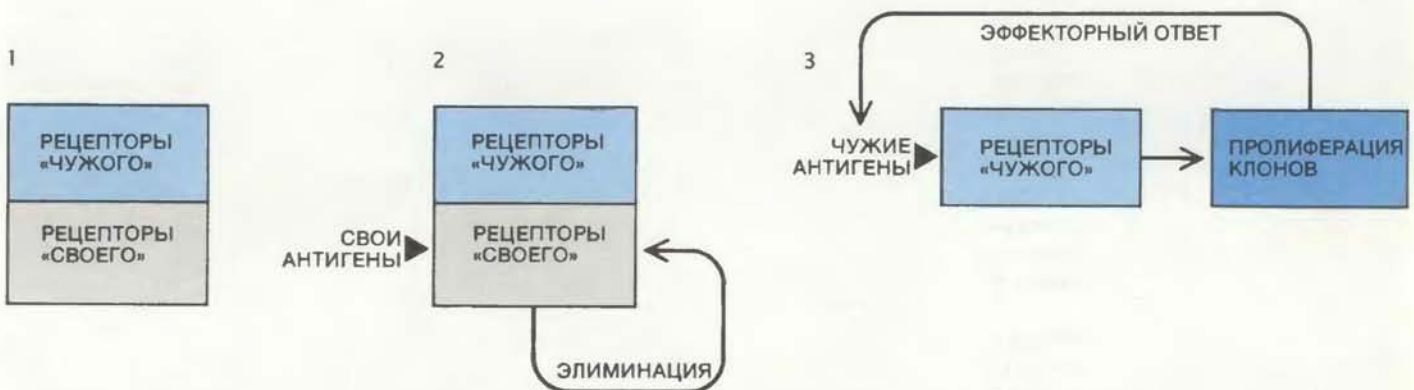
Потомки данной стволовой клетки-предшественника составляют клон; они увеличиваются в числе и дифференцируются становясь специализированными. В-лимфоциты могут превратиться в плазматические клетки, которые секретируют антитела (молекулы такой же точно формы, как и рецепторы для данного антигена на клетках этого клона), или в клетки памяти, которые остаются надолго для того, чтобы распознать данный эпитоп с большей эффективностью при повторном попадании этого патогена в организм. Т-клетки, созревая, приобретают определенный поверхностный маркер; одни — Т4, другие — Т8. Внутри каждой из этих двух групп Т-лимфоцитов имеются

клетки-эффекторы, которые действуют непосредственно, и клетки-регуляторы, которые действуют путем влияния на другие клетки иммунной системы. Т8-эффекторы являются цитотоксическими: они убивают клетки, несущие определенный антиген. Т8-регуляторы — это супрессоры: они подавляют активность других Т- или В-клеток. Т4-эффекторы повреждают ткани, активируя другие белые клетки крови. Т4-регуляторы служат помощниками (их так и называют — хелперы, от англ. "help", что значит «помощь»), способствуя действию как В-, так и Т-клеток.

**ТАКИМ ОБРАЗОМ**, стохастическое возникновение новых рецепторов и их удаление путем клональной селекции делают иммунную систему

очень гибкой. Количество возможных рецепторных структур колоссально: возможны миллионы различных клонов Т-лимфоцитов и сотни миллионов клонов В-лимфоцитов. Клональная селекция сводит множество непрерывно стохастически образующихся рецепторов к нескольким основным типам для каждого антигена. В принципе клональную селекцию можно рассматривать как разновидность цифровой обработки данных: система способна сосредоточиваться на наиболее важной информации (в данном случае — на рецепторах, наилучшим образом соответствующих эпитопу) и отбрасывать все остальное (все или почти все конструируемые пары рецептор — эпитоп).

Однако сама гибкость иммунной системы является источником проб-



**ТЕОРИЯ КЛОНАЛЬНОГО «САМОУБИЙСТВА»** объясняет, почему большинство людей не страдают аутоиммунными заболеваниями. Иммунная система может образовывать клоны (клоном называется группа клеток, являющихся потомками одной клетки-предшественника и, следовательно, генетически идентичных), способные распознавать как чужеродные антигены, так и антигены своего собственного организма (1). Все клоны, имеющие рецепторы к своим

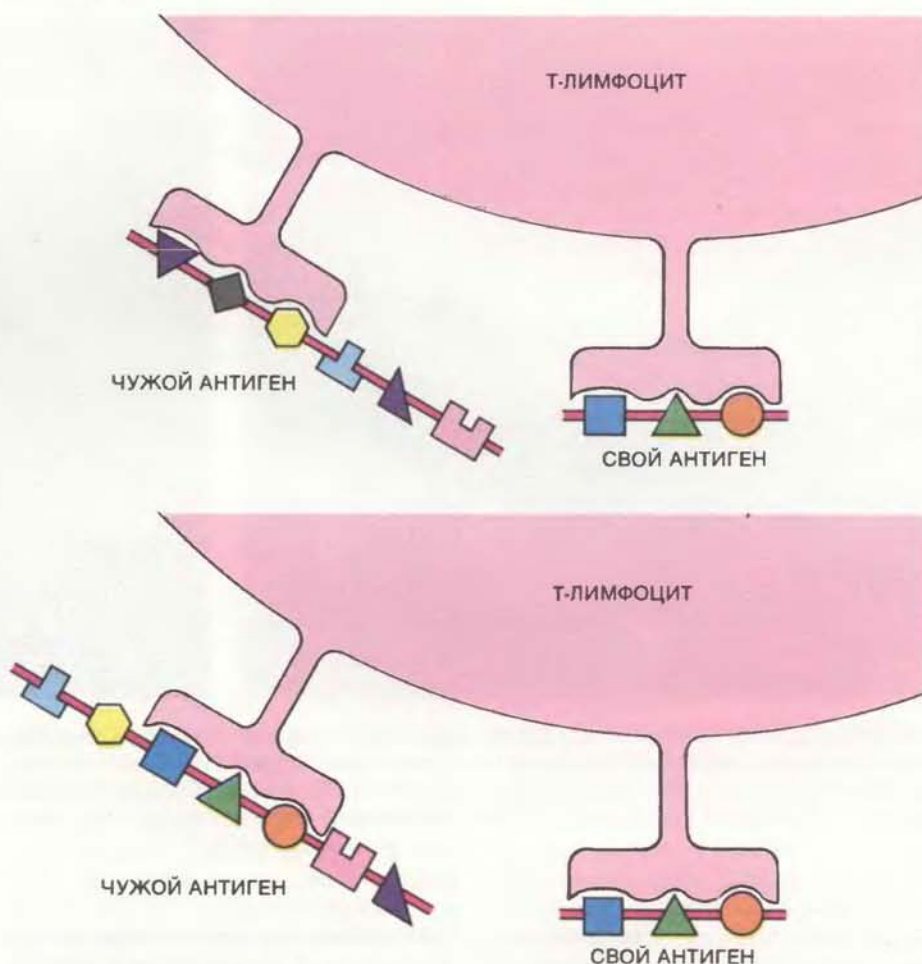
антигенам, элиминируются до рождения (2). Клоны, распознающие чужие антигены, остаются. Когда в организм попадает соответствующий антиген, они размножаются и дифференцируются для борьбы с чужеродным антигеном (3). Эта теория была сформулирована в 1950-х годах Ф. Бёрнетом. Недавно стало ясно, что собственные и чужеродные антигены невозможно различать с помощью такого простого механизма.

лемы, так как обуславливает самораспознавание. Естественно задаться вопросом: если спектр структур, распознаваемых иммунной системой, практически неограничен, почему она не распознает молекулы своего собственного организма?

Ф. Бёрнет из Мельбурнского университета, автор теории клональной селекции, предложил решение проблемы самораспознавания. В период внутриутробного развития организма, утверждал Бёрнет, все присутствующие антигены являются «своими». Если во время беременности распознавание эпитопа приводит в действие механизм клонального «самоубийства», то иммунная система избавится от всех самораспознающих клонов. После рождения распознавание эпитопов будет индуцировать активный иммунитет, однако иммунная система уже стала «слепой» к структурам собственного организма. Бёрнет объяснял аутоиммунные заболевания проявлением иммунной реакции на собственные антигены, которые случайно не участвовали в процессе элиминации самораспознающих клонов во время беременности.

Но чтобы элиминация клонов была надежной, требуется абсолютное различие «своего» и «чужого»: те рецепторы, которые распознают «свое», должны элиминироваться, а те, которые не распознают, должны сохраняться. Очевидно, однако, что такое абсолютное различие трудно осуществимо. Одной из причин является то, что, хотя, как считается, рецептор и антиген относятся друг к другу, как ключ и замок, в действительности их взаимосоответствие не точное, не исключительное. В каких-то пределах один и тот же рецептор может связываться со многими различными эпитопами, каждому из которых он соответствует с большей или меньшей точностью. Способность миллионов различных рецепторов связывать многие эпитопы расширяет их функциональные возможности настолько, что трудно себе представить, что какая-либо биологическая молекула, включая молекулы своего собственного организма, не будет распознана хотя бы одним рецептором.

Сложность ситуации усугубляется тем, что «свое» и «чужое» состоит из одних и тех же строительных блоков: белков, углеводов, нуклеиновых кислот и липидов. Более того, структуры, выполняющие ключевые биологические функции, — такие, как ферменты и гормоны, — имеют тенденцию сохраняться в ходе эволюции, так что «свои» и «чужие» молекулы могут быть очень похожими или даже



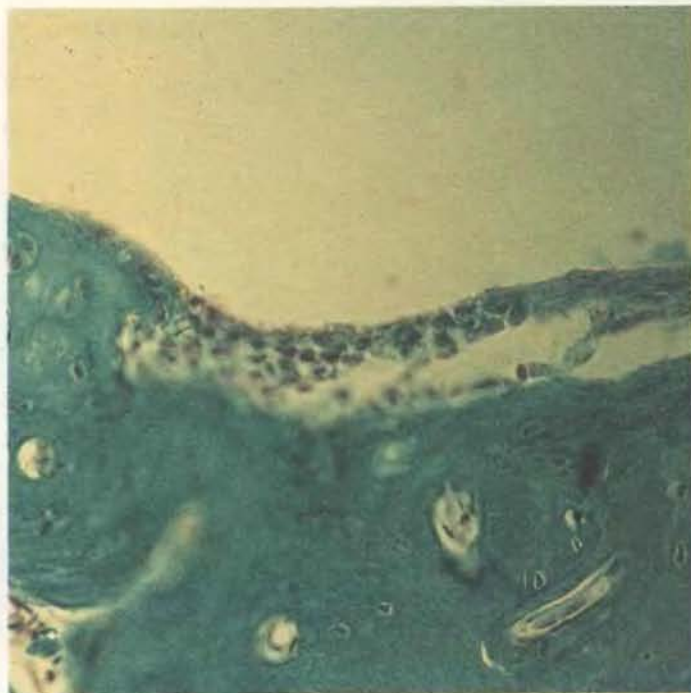
**АНТИГЕННАЯ «МИМИКРИЯ»** основана на сходстве между собственными и чужеродными антигенами. Антигенами часто служат полимеры, такие как белки или полисахариды. Структура антигена, определяемая последовательностью мономеров, соответствует рецептору лимфоцита или антителу по принципу ключ — замок. Если собственный и чужеродный антигены похожи по форме, они могут взаимодействовать с одним и тем же рецептором. Сходство может быть обусловлено подобием самих мономеров (вверху) или совпадением их последовательности (внизу).

идентичными. Наконец, у некоторых патогенов антигены похожи на антигены поражаемого организма, что, по-видимому, служит способом дезориентации иммунной системы организма-хозяина. Например, паразитические простейшие лейшмании, которые вызывают опасные заболевания человека и животных, синтезируют антигены, похожие на антигены эритроцитов млекопитающих-хозяев. Судя по всему, антигенная «мимикрия» — постоянный фактор борьбы между организмом и патогенами.

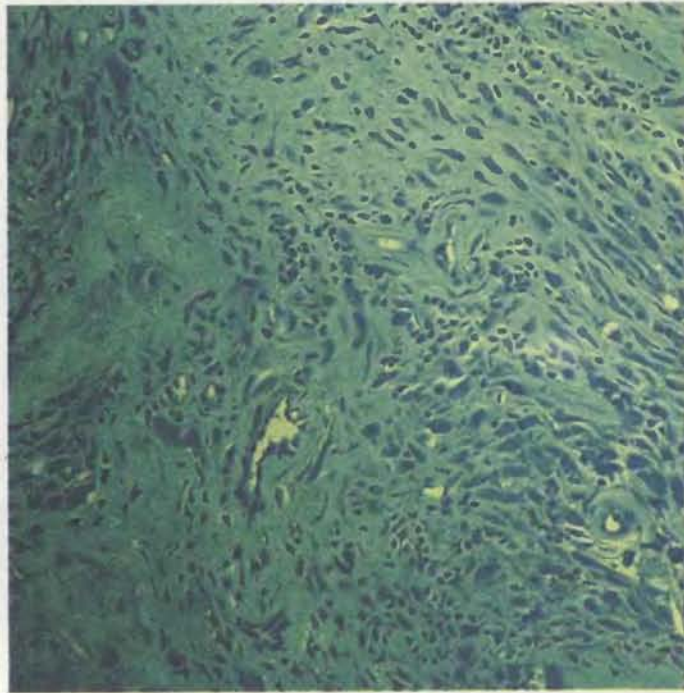
Стремясь понять роль антигенной «мимикрии» в аутоиммунитете, мои коллеги и я изучали экспериментальное заболевание крыс, называемое адьювантным артритом, которое впервые наблюдал К. Пирсон из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе в 1950-х годах. Пирсон обратил внимание, что у крыс, которым делали инъекцию смеси минерального масла и убитых микроорганизмов *Mycobacterium tuberculosis* (которые у

человека вызывают туберкулез), развивается артрит. При этом наблюдается дегенерация хряща в суставах, и по своим симптомам адьювантный артрит, как заметили Пирсон и другие, очень напоминает ревматоидный артрит. Типичный ревматоидный артрит проявляется как прогрессирующее воспаление суставов. В отличие от остеоартрита (который часто сопровождает старение) ревматоидный артрит обычно поражает молодых женщин и может приводить к катастрофической деформации тела.

**ПОСКОЛЬКУ** считалось, что как ревматоидный, так и адьювантный артрит являются следствием аутоиммунитета, мы с коллегами надеялись, что изучение заболевания крыс поможет понять болезнь человека. Повреждения тканей, наблюдаемые при адьювантном артрите, характерны скорее для Т-лимфоцитов, чем для В-лимфоцитов или других compone-



ПОВРЕЖДЕНИЕ ХРЯЩА СУСТАВОВ, являющееся характерным симптомом адъювантного артрита, происходит вследствие атаки этой ткани Т-лимфоцитами. Слева: хрящ крысы через 8 дней после инокуляции адъюванта, содержащего *Mycobacterium tuberculosis* в минеральном масле.



Видно, что лимфоциты проникли в верхний слой ткани. Справа: 27 дней спустя структура хряща сильно нарушена в результате деятельности белых клеток крови.

нтов иммунной системы, и поэтому мы решили выделить клоны Т-клеток, атакующих хрящ суставов у крыс. Хотя звучит это просто, в действительности потребовались значительные технические достижения; большинство их стали возможными благодаря пионерной работе А. Бен-Нуна, бывшего тогда одним из моих аспирантов.

Работа Бен-Нуна основывалась на изучении другого индуцированного аутоиммунного нарушения, известного под названием «экспериментальный аутоиммунный (или аллергический) энцефаломиелит» (ЭАЭ). Об этом заболевании было известно гораздо больше, чем об адъювантном артрите. ЭАЭ развивается у животных после инъекции оснóвного белка (ОБ) — компонента миелина в центральной нервной системе. Иммунная реакция на ОБ проявляется как паралич (часто со смертельным исходом) и воспаление в области головного и спинного мозга, где нервные волокна имеют миелиновые оболочки. Некоторые исследователи видели в ЭАЭ лучшую модель рассеянного склероза, и была проделана большая работа с целью охарактеризовать эпитопы ОБ, с которым связан ЭАЭ у крыс, морских свинок, мышей и, по видимому, других лабораторных животных.

Предполагалось, что ЭАЭ, подобно адъювантному артриту, обуслов-

лен деятельностью не В-клеток или антител, а Т-клеток, и мы с коллегами занялись выделением клонов Т-клеток, специфически отвечающих на ОБ. Бен-Нун разработал метод выращивания таких клонов. Т-клетки крыс, иммунизированных ОБ, росли в культуральной среде, содержащей антигены ОБ. Хотя клетки, распознающие ОБ, составляли меньшинство, присутствие этих антигенов стимулировало их к пролиферации за счет других лимфоцитов, что по существу было клональной селекцией в культуре тканей. Используя этот метод, Бен-Нун и я в сотрудничестве с Х. Векерле из Института иммунологии им. Макса Планка (ФРГ) выделили чистые клоны Т-клеток, отвечающих на ОБ; все клоны, полученные таким образом, относились к типу Т4.

Дальнейшая работа однозначно показала, что эти Т4-клетки вызывают ЭАЭ. По данным Я. Напарстека, они накапливаются в головном и спинном мозге непосредственно перед наступлением паралича. Более того, нам удалось выделить из иммунизированных крыс Т-клетки, реагирующие на ОБ, и путем их инъекции вызвать ЭАЭ у других крыс. Так впервые было четко продемонстрировано, что специфический клон Т-клеток ответствен за известное аутоиммунное заболевание. В ходе исследований обнаружился парадоксальный факт: хо-

тя Т-клетки иммунизированных животных могли вызывать болезнь у других крыс, в ряде случаев особи, из которых они были выделены, к тому моменту уже оправились от тяжелого паралича и были клинически здоровы. Это ошеломляющее открытие указывало на то, что существуют механизмы предотвращения аутоиммунитета, но к этой теме я вернусь позже.

Вскоре после этих экспериментов Дж. Холошиц, работавший некоторое время в моей лаборатории, предложил применить подход, разработанный при изучении ЭАЭ, к адъювантному артриту. Идея казалась разумной, но ее осуществлению препятствовало то, что если в случае ЭАЭ был известен антиген, вызывающий заболевание, — основной белок миелина, то в случае адъювантного артрита о соответствующем антигене мы не знали ничего. Предполагалось, что он принадлежит *Mycobacterium tuberculosis*, но у этого патогена имеется много тысяч антигенов. Как найти среди них один определенный? Эта задача подобна поискам иголки в стоге сена.

БЫЛО ЯСНО, что Т-лимфоциты, вызывающие заболевание, распознают соответствующий антиген. Исходя из этого, Холошиц культивировал с порошковым препаратом *Mycobacterium tuberculosis* клетки крыс,

больных адьювантным артритом. Если антигенная «мимикрия» есть на самом деле и существуют бактериальные антигены, похожие на антигены, подвергающиеся атаке у крыс при адьювантном артрите, то Т-клетки, вызывающие заболевание, должны распознавать их, отличая от всех других бактериальных антигенов, и тогда соответствующие клоны будут преобладать при клональной селекции. Так и произошло. Было показано, что вторая из полученных линий Т-клеток индуцировала заболевание: после инъекции этих клеток у крыс появлялись симптомы адьювантного артрита. Холошиц, кроме того, выделил клон А2b, который вызывает еще более тяжелую патологию.

Проведя индукцию бактериальным антигеном, мы извлекли соответствующие клоны Т-клеток и могли теперь использовать их, чтобы найти сам антиген. Эта работа была выполнена В. ван Эденом, который работал в моей лаборатории после защиты докторской диссертации. Ван Эден культивировал клон А2b с фракциями исходного штамма *Mycobacterium tuberculosis* и с различными компонентами ткани суставов. Как и ожидалось, А2b распознавал фракцию микобактерий (приготовленную моим коллегой А. Френкелем). Этот клон также распознавал входящий в состав хряща протеогликан — сложное соединение, включающее в себя углеводы и белок. Выяснилось, что эпитоп, распознаваемый А2b, находился в той части молекулы протеогликана, которая называется сердцевидным или центральным белком.

Это двойное распознавание пред-

ставлялось чрезвычайно интересным, поскольку оно вело к антигенной «мимикрии» *in vitro*: клон Т-клеток с одной специфичностью распознавал как чужеродный антиген, так и собственный антиген. Можно было думать, что адьювантный артрит является результатом сходства между этими антигенами.

Но что представляют из себя сами эпитопы? В начальной работе ван Эдена была идентифицирована только фракция бактерий, а не специфический эпитоп. Для идентификации специфических эпитопов нужно было разделить *M. tuberculosis* на составляющие его вещества и определить, с каким из них взаимодействует А2b. Выявив это вещество, следовало расщеплять его молекулу на все более мелкие части до тех пор, пока не найдется самый маленький определяемый А2b фрагмент, который и будет представлять собой соответствующий эпитоп.

Хотя этот процесс нетрудно описать, осуществить его было бы невозможно без использования приемов генетической инженерии. Микобактерии очень трудно изучать биохимически. Для удобства экспериментирования их гены ввели в бактерии *Escherichia coli* — хорошо изученный и легко культивируемый лабораторный штамм. Когда эти гены экспрессируются в клетках *E. coli*, микобактериальные антигены образуются в большом количестве и тем самым становятся доступными для изучения. Наличие таких «экспрессированных библиотек» белков *M. tuberculosis* открыло сравнительно простой путь идентификации антигенов, распознаваемых клоном А2b.

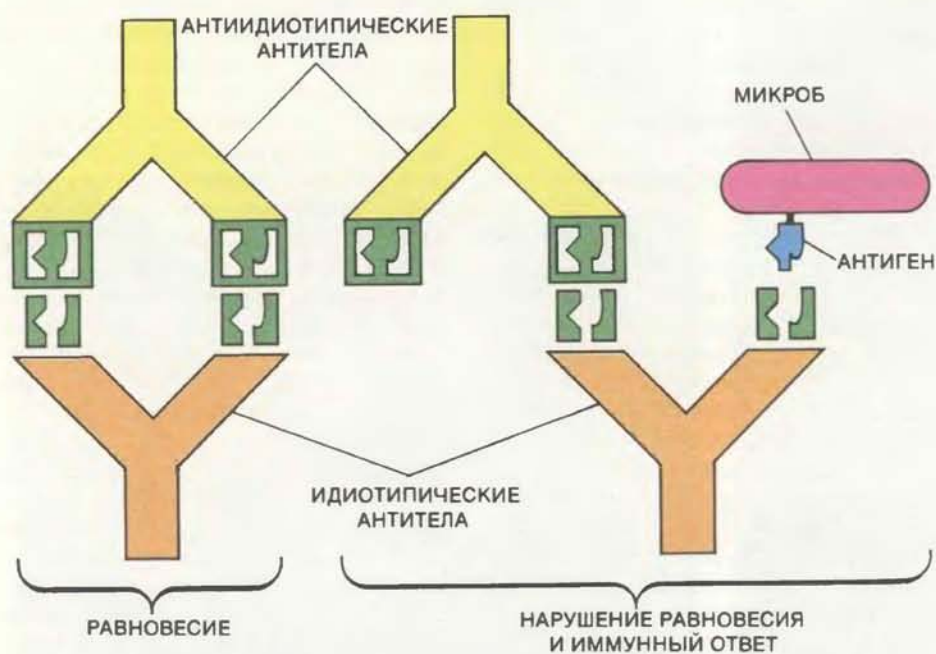
Ван Эден исследовал ответ А2b на белки «экспрессированной библиотеки», полученной Я. ван Эмбденом и Дж. Тоулом из Национального института здравоохранения и гигиены окружающей среды в Нидерландах. К нашему удивлению, А2b реагировал на один из продуктов микобактериальных генов — белок с молекулярной массой около 65 тыс. дальтон, аминокислотная последовательность которого уже была установлена. Тоул и Эмбден получили фрагменты белка и проверили реакцию на них А2b. Р. ван дер Зее из Гронингенского государственного университета затем синтезировал пептиды (короткие цепочки аминокислот), включающие в себя ту часть аминокислотной последовательности белка, которая предположительно содержит соответствующий эпитоп. Эти пептиды проверили с А2b, и был идентифицирован эпитоп, состоящий из 9 аминокислотных остатков.

**Т**ОЧНОЕ сходство между бактериальным эпитопом и белковой частью протеогликана еще не установлено. К счастью, аминокислотная последовательность белков протеогликанов известна довольно полно. Когда сравнили аминокислотную последовательность бактериального эпитопа с опубликованными последовательностями протеогликана, обнаружилось сходство с участком так называемого связывающего белка, который соединяет центральный белок с углеводным остовом протеогликана. Четыре из девяти аминокислот участка и эпитопа были идентичны. В настоящее время мы выясняем, мо-

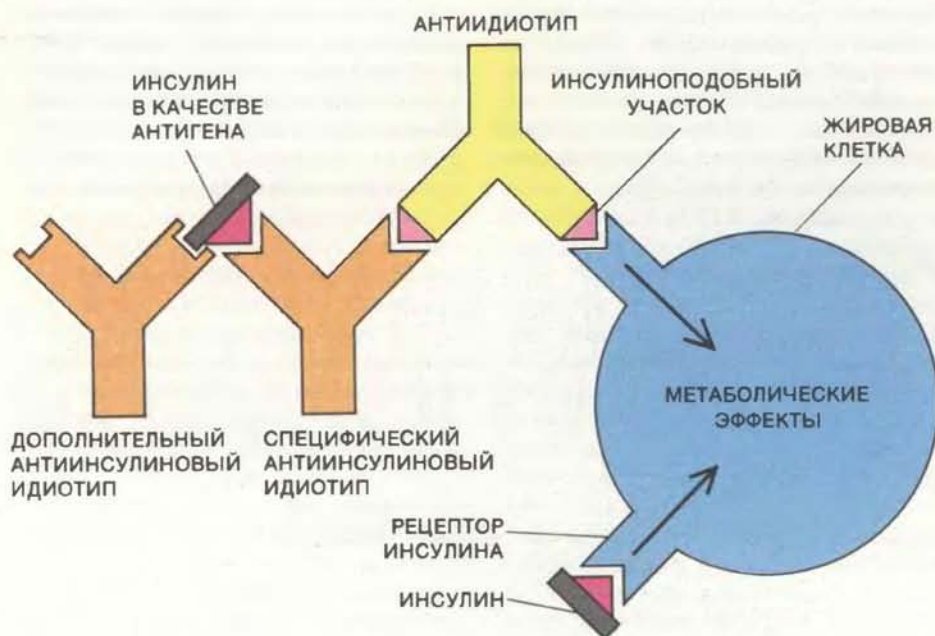


АМИНОКИСЛОТНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ

ПРОТЕОГЛИКАН хряща распознается Т-лимфоцитами при адьювантном артрите. Остов молекулы протеогликана представляет собой полисахарид, мономером которого является гиалуроновая кислота. К этому углеводному остову с помощью так называемого связывающего белка присоединена похожая на перо структура, «стержнем» которой является молекула белка, называемого сердцевидным, или центральным. К нему присоединены молекулы углеводов: олигосахаридов, кератансульфата и хондроитинсульфата. Автор этой статьи показал, что участок связывающего белка протяженностью 9 аминокислотных остатков имеет сходство с фрагментом белка *Mycobacterium tuberculosis*: 4 из 9 аминокислот в соответствующих участках этих двух белков одинаковы (в рамке). Этим сходством может объясняться адьювантный артрит.



**АНТИИДИОТИПИЧЕСКАЯ СЕТЬ** может лежать в основе аутоиммунного заболевания. Идиотип — это специфичность рецептора к антигену. Антиидиотип — соответствие второго рецептора первому по принципу ключ—замок. В норме поддерживается равновесие: идиотипические и антиидиотипические рецепторы связываются, тем самым взаимно контролируя друг друга (слева). В присутствии микробного антигена, который связывается с идиотипическим рецептором, равновесие нарушается, что ведет к иммунному ответу (справа). Возможно также, что равновесие между идиотипами и антиидиотипами каким-то образом ограничивает вредные проявления аутоиммунитета.



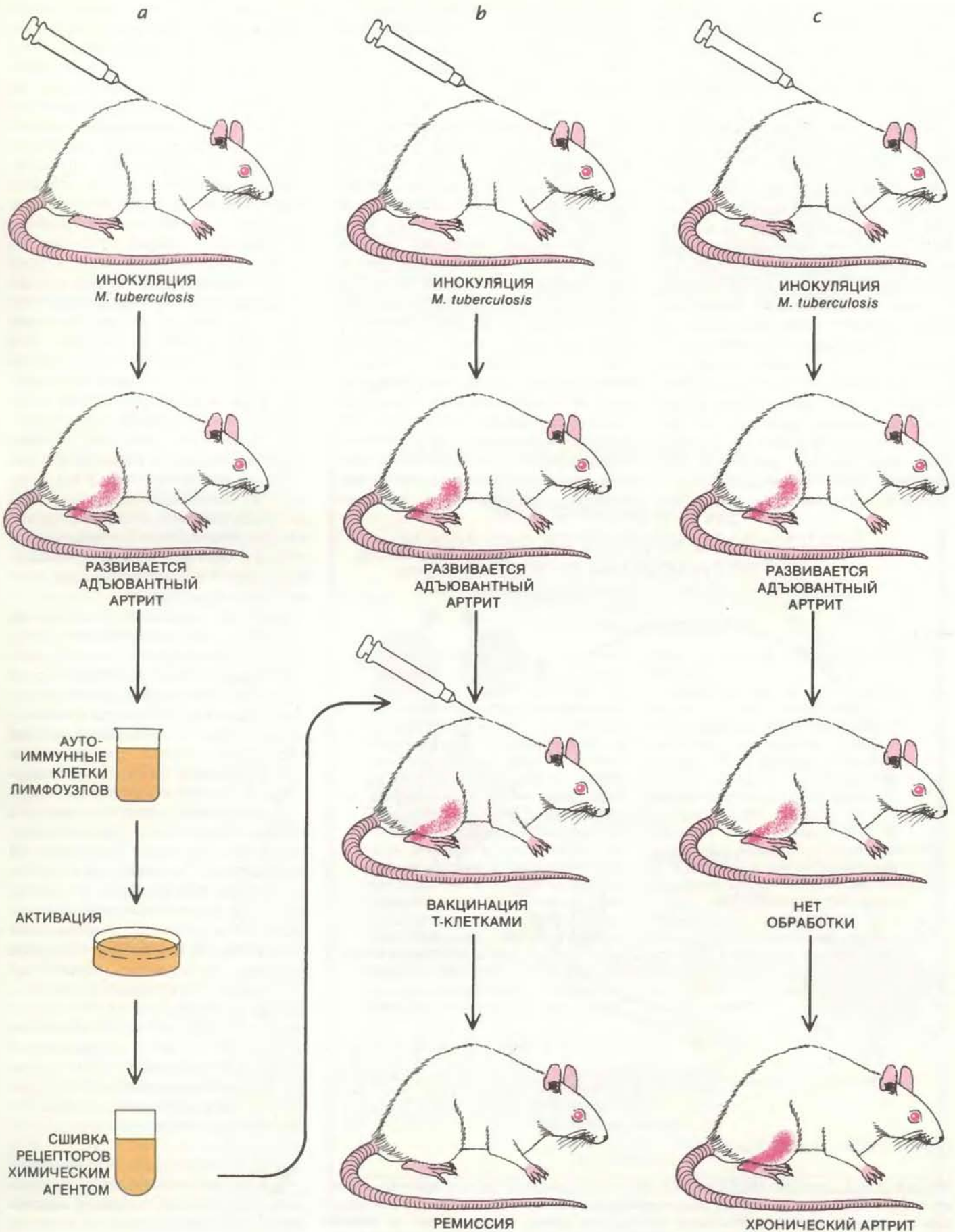
**ДЕЙСТВИЕ ГОРМОНОВ** можно имитировать с помощью сети идиотип—антиидиотип, как представлено на этой схеме, описывающей работу, выполненную в лаборатории автора. У мыши, иммунизированной гормоном инсулином, вырабатываются антитела к различным участкам молекулы инсулина, включая ту ее часть (красная), которая связывается с рецептором инсулина на жировых клетках. Затем у животного спонтанно появляются антиидиотипические антитела, которые связываются с идиотипическими рецепторами. Эти антитела по своей форме похожи на участок молекулы инсулина, связывающийся с рецептором инсулина. Следовательно, они также связываются с рецептором инсулина, что может вызвать состояние, сходное с диабетом.

жет ли этим сходством объясняться двойное распознавание двух эпитопов клоном 2Ab и, следовательно, аутоиммунитет, лежащий в основе адьювантного артрита.

Играет ли роль такая молекулярная «мимикрия» в ревматоидном артрите у человека? Определенного ответа пока еще нет, но предварительные наблюдения позволяют предполагать, что да. Мы исследовали иммунные ответы примерно у 50 человек, страдающих ревматоидным артритом либо неаутоиммунными дегенеративными заболеваниями суставов. Т-лимфоциты обеих групп больных инкубировались с фракцией из микобактериальных клеток, содержащей эпитоп, имитирующий антиген хряща. Клетки больных ревматоидным артритом значительно сильнее пролиферировали; клетки другой группы больных размножались с гораздо более низкой скоростью, сравнимой с таковой клеток здоровых людей.

Ревматоидный артрит, по видимому, действительно связан со специфической реактивностью Т-клеток на антиген *Mycobacterium tuberculosis*. Имеющиеся данные, однако, ни в коей мере не означают, что эта связь причинная. Реактивность Т-лимфоцитов может быть следствием артрита, а не его причиной. Например, не исключено, что ревматоидный артрит обуславливает ответ Т-клеток на протеогликаны хряща, а Т-клетки затем перекрестно реагируют с бактериальными эпитопами, которые похожи на антигены хряща. Явная связь между инфекцией *M. tuberculosis* и последующим развитием ревматоидного артрита отсутствует. Однако следует отметить, что неvirulentные микобактерии распространены повсеместно, и, возможно, их воздействие, клинически непроявляющееся, приводит к аутоиммунитету.

Такие взаимосвязи известны для других патогенов. Например, ревматической лихорадке (острый ревматический полиартрит), характеризующейся воспалением соединительной ткани в сердце и суставах, а также поражением нервной системы, всегда предшествует острая стрептококковая инфекция (обычно горла и миндалин). В 1960-х годах М. Каплан из Университета Кейс-Вестерн-Ризерв показал, что антитела, образующиеся у кроликов против стрептококковых антигенов, взаимодействуют также с тканью сердца человека. Необходимо заметить, однако, что, хотя все стрептококки данного штамма могут нести эпитопы, имитирующие антигены человека, только у немногих людей при стрептококковой инфекции



ВАКЦИНА ПРОТИВ АУТОИММУНИТЕТА разработана автором и его коллегами. Трём группам крыс делали инокуляцию адъювантом, содержащим *M. tuberculosis*; у всех особей развивался адъювантный артрит. Из лимфатических узлов крыс одной группы (a) выделили аутоиммунные

клетки, их обработали для усиления иммуногенной способности и затем ввели животным второй группы (b), после чего у тех наблюдалась ремиссия. У крыс третьей группы, которых не вакцинировали Т-клетками первой группы (c), артрит прогрессировал и переходил в хронический.

возникает ревматическая лихорадка. Более того, аутоиммунная атака, как правило, длится недолго. Должно быть, иммунная система может регулировать аутоиммунитет. Каким образом?

Как ни удивительно, именно великое разнообразие рецепторов, которое и создает проблему, сближая «свое» и «чужое», может также обеспечить решение этой проблемы. В начале 1970-х годов Н. Эрне из Базельского института иммунологии сформулировал теорию иммунитета, основанную на том, что, по наблюдениям ряда исследователей, рецепторы антигенов могут сами распознаваться другими рецепторами на лимфоцитах или антителами. Иными словами, рецептор тоже может быть антигеном. Поэтому схема Эрне помимо рецепторов для каждого эпитопа (как постулировал Бёрнет) включала рецепторы для каждого рецептора (см. Niels Kaj Jerne. The Immune System. "Scientific American", July, 1973). Пер-

воначальная специфичность рецептора по Бёрнету — это в терминологии Эрне идиотип, а специфичность рецептора к рецептору называется антиидиотипом.

ЭТА КОНЦЕПЦИЯ имеет несколько примечательных следствий. Если эпитоп рассматривать как ключ, а идиотипический рецептор — как замок, тогда что такое антиидиотипический рецептор? Поскольку антиидиотипический рецептор комплементарен идиотипу (замку), он должен иметь форму ключа. Ключ, однако, — это также форма эпитопа. Значит, эпитоп и антиидиотипический рецептор могут иметь одинаковую форму. Эрне утверждал, что наряду с набором рецепторов, комплементарных антигенам внешней среды, иммунная система имеет набор рецепторов (антиидиотипических), которые гомологичны внешним антигенам, т. е. содержит не только «свое», но и «чужое». Согласно Эрне, эта само-

распознающая сеть устанавливает равновесие, которое регулирует деятельность иммунной системы.

Идеи Эрне дали импульс множеству экспериментов, и полученные результаты подтверждают концепцию сети. Рядом исследователей обнаружено, что иммунизация эпитопами приводит к образованию антител, комплементарных эпитопам, вслед за чем появляются антиидиотипические антитела, имитирующие эпитопы. Й. Шехтер, Р. Марон, Д. Элиас и я провели такие эксперименты с мышами. Мы использовали эпитоп инсулина и получили антиидиотипические антитела, похожие на соответствующую часть молекулы инсулина. (Недавно мы обнаружили антиидиотипические антитела, имитирующие инсулин, в крови некоторых людей, страдающих аутоиммунной формой диабета. Какова роль этих антител, пока остается загадкой.) Имеются и практические перспективы: есть надежда, что антиидиотипические антитела могут служить вакцинами, так как антиидиотипы имитируют форму микробного эпитопа (и таким образом индуцируют иммунитет), но при этом являются безвредными.

Если распознавание «своего» посредством образования антиидиотипических рецепторов — это центральный процесс в иммунной системе, то что же отличает нормальное самораспознавание в здоровом организме от аутоиммунного заболевания? Приняв идеи Эрне, следует предположить, что равновесие между идиотипическими и антиидиотипическими рецепторами каким-то образом приводит к толерантности к собственным эпитопам и предупреждает аутоиммунные заболевания. Тогда вредное самораспознавание контролируется всей сетью, а не просто определяется наличием или отсутствием специфического антигена. В самом деле, иммунная система, по-видимому, может существовать с аутоиммунитетом и контролировать его. Как я отмечал выше, Т-лимфоциты, способные вызывать ЭАЭ, могут сохраняться у крыс, оправившихся от болезни; люди, больные ревматической лихорадкой или другими аутоиммунными заболеваниями, выздоравливают.

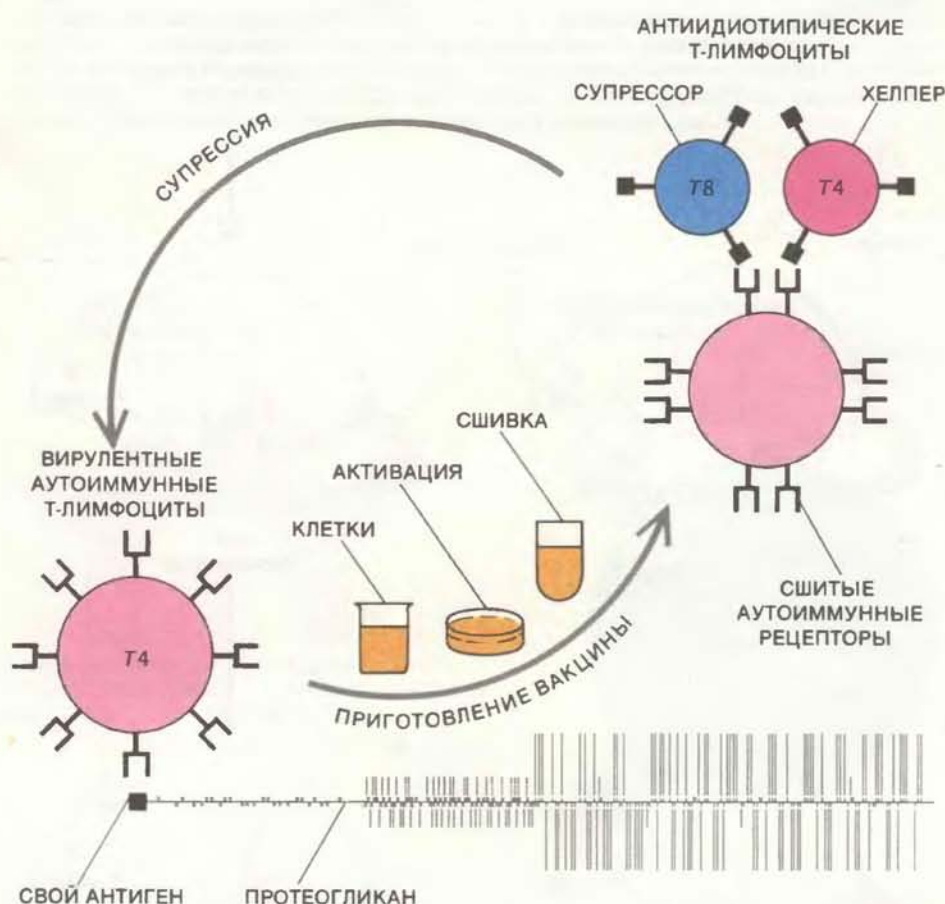


СХЕМА ВОЗМОЖНОГО МЕХАНИЗМА действия вакцины против адьювантного артрита. Главную роль играют вирулентные аутоиммунные Т4-клетки, обладающие рецепторами к протеогликану суставного хряща. Их выделяют из тканей крыс с артритом. Приготовление вакцины включает агрегацию рецепторов, что усиливает их эффективность. Когда эти клетки инъецируют крысам, больным адьювантным артритом, агрегированные рецепторы вызывают образование антиидиотипических Т4- и Т8-клеток. Т8-клетки являются супрессорами, которые могут подавлять пролиферацию аутоиммунных лимфоцитов. Т4-клетки — это хелперы; они способствуют размножению В- и Т-клеток; их роль у вакцинированных крыс пока не понятна.

ХОТЯ модель сети и дает убедительную интерпретацию аутоиммунитета, она не доказана окончательно. Но даже в отсутствие полного теоретического понимания уже предприняты первые практические шаги на пути к предотвращению и лечению аутоиммунных заболеваний. Располагая клонами специфических Т-лимфоцитов, ответственных за



ЭАЭ, адьювантный артрит и другие экспериментальные болезни, мы решили исследовать, нельзя ли использовать их в качестве своего рода вакцин против аутоиммунитета.

На первом этапе этих исследований линия Т-клеток, специфичных к основному белку миелина и ответственных за ЭАЭ, была подвергнута воздействию  $\gamma$ -излучения. Обработанные клетки теряли вирулентность и способность вызывать у крыс ЭАЭ. Но животные, которым делали инъекции этих Т-клеток, приобретали постоянную устойчивость к ЭАЭ: иммунизация ОБ более не индуцировала у них атаку тканей центральной нервной системы. У таких крыс по-прежнему возникал иммунный ответ на другие антигены и даже развивался адьювантный артрит после контакта с антигенами *M. tuberculosis*. Можно считать, что мы получили вакцину против аутоиммунного энцефаломиелита; в ее основе лежала иммунизация крыс Т-клетками, имеющими рецепторы к основному белку миелина.

Вакцинация Т-лимфоцитами была вскоре использована и применительно к адьювантному артриту. В сотрудничестве с моим коллегой М. Синицки мы установили, что потенциал «вакцины» можно существенно усилить путем агрегации рецепторов Т-лимфоцитов; этого можно добиться с помощью физических (гидростатическое давление) или же химических (агенты, «сшивающие» друг с другом молекулы рецепторов клеточной поверхности) воздействий. Очевидно, агрегаты рецепторов значительно эффективнее вызывают появление антиидиотипических лимфоцитов. Еще более примечательно, что в этом случае вакцина годится и для лечения; у крыс, которым вводили «сшитые» Т-лимфоциты, выделенные из других больных крыс, быстро и необратимо затухали проявления аутоиммунного заболевания.

Пока еще нет окончательной ясности в вопросе о том, каким образом вакцинация Т-клетками индуцирует устойчивость к аутоиммунному процессу, но некоторые данные позволяют строить предположения на этот счет. Наша последняя работа подтвердила, что в ответ на вакцинацию образуются антиидиотипические Т-лимфоциты, специфически распознающие рецепторы Т-клеток, вызывающих болезнь. Среди антиидиотипических лимфоцитов есть клетки как с маркером Т4, так и с маркером Т8; эти Т4-клетки являются хелперами, а Т8 — супрессорами, подавляющими рост клонов других лимфоцитов. Не известно, который тип клеток ответствен за устойчивость к аутоим-

мунному заболеванию; скорее всего эти две группы клеток действуют согласованно и контролируют лимфоциты, вызывающие аутоиммунную болезнь.

Эффективность вакцинации Т-клетками для активации лимфоцитов, способных модулировать аутоиммунитет, несомненно, соответствует общей идее сети, предложенной Эрне. Однако наши наблюдения никак нельзя считать доказательством физиологической роли сети; для этого требуется значительно больше работы. Имеющиеся в настоящее время результаты свидетельствуют о том, что граница между «своим» и «чужим», между ор-

ганизмом и внешним миром, вовсе не такая четкая, как казалось ранее. Самораспознавание — это не просто грех, за который следует наказание в виде аутоиммунного заболевания, как полагали Бёрнет и другие исследователи. Напротив, оно является ключевым процессом как для здоровья, так и для болезни. Иммунная система гораздо сложнее, чем представлялось в то время, когда иммунологи думали, что она воспринимает только то, что исходит из внешнего мира. В конце концов эти знания окажут практическую помощь в облегчении страданий от аутоиммунных заболеваний.

## Книги издательства „Мир“

### БИОГЕННЫЙ МАГНЕТИТ И МАГНИТОРЕЦЕПЦИЯ ОРГАНИЗМОВ. НОВОЕ О БИОМАГНЕТИЗМЕ

Под редакцией Дж. Киршвинка, Д. Джонса, Б. Мак-Фаллена  
В 2-х тт.

Перевод с английского

Монографический сборник американских авторов — первый в мировой литературе обобщенный труд по магнито-биологии. В книге собрана исчерпывающая информация о наблюдаемых биологических эффектах магнитного поля, сформулированы концепции относительно их физических основ, подробно описаны новые методы и технология палеомагнитных и магнитных исследований. Большое внимание уделено вопросу о магнито-рецепции человека. Представлена обширная библиография, которая (как и вся книга) охватывает тематику, находящуюся на стыке биологии, геофизики, физики, палеонтологии, меди-

цины и новой аппаратурной техники.

Содержание: Биоминерализация железа: геобиологические аспекты. Ферромагнитные свойства магнетита. Геомагнитное поле: физика, биологическое значение. Техника биомагнитных исследований. Магнито-рецепция: теория. Исследования магнито-рецепции у различных животных и человека. Биогенный магнетит в палеонтологическом материале.

Для специалистов-биологов (биофизиков, физиологов, зоологов, микробиологов, палеонтологов), медиков (физиотерапевтов, гигиенистов), геофизиков.

1989, 61 л. Цена 9 р. 10 к. за комплект.

Предварительные заказы направляйте в магазины, распространяющие научно-техническую литературу.

Издательство заказы не принимает.



# Мембранный подход в теории черных дыр

*Как можно описать взаимодействие черной дыры в пространстве-времени с окружающими ее веществом и полями? Плодотворным оказалось представление черной дыры в виде электропроводящей, сфероидальной мембраны*

РИЧАРД Х. ПРАЙС, КИП С. ТОРН

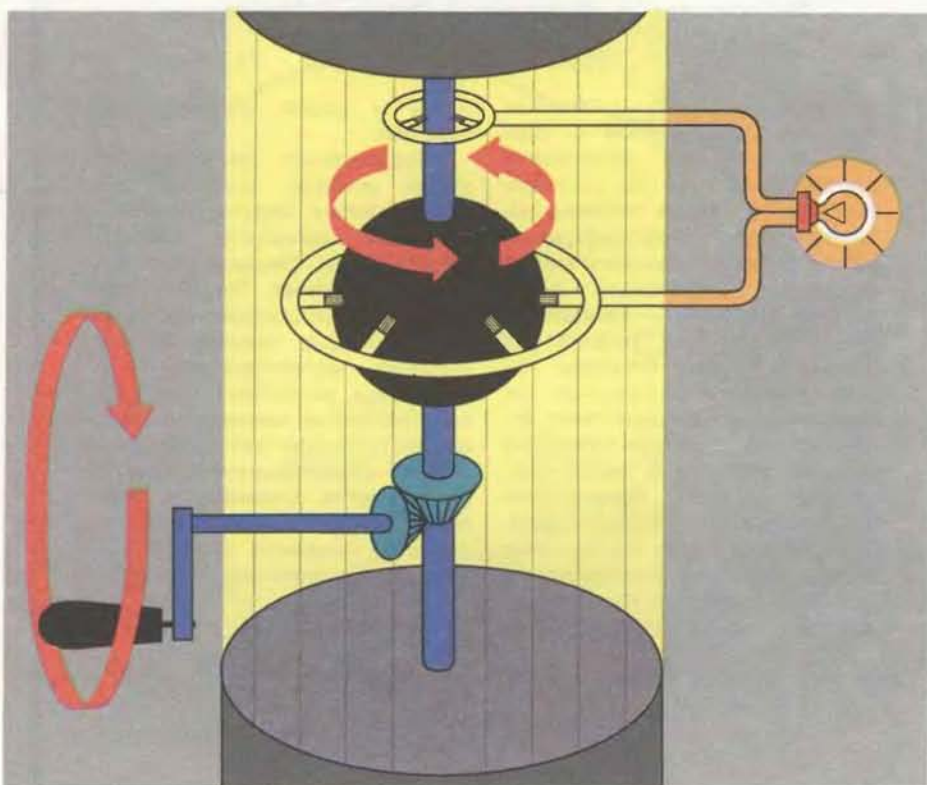
**М**ОЖНО ЛИ объяснить черные дыры на основе простых физических представлений? Могут ли быть эти объекты, существование которых предсказывает общая теория относительности (ОТО) и которые захватывают свет, искривляют пространство и замедляют время, причислены к тем космическим объектам, природу которых можно нагляд-

но объяснить? В настоящее время общепринято, что черные дыры существуют и играют определенную роль в астрофизике, в частности как источники энергии квазаров — далеких точечных «маяков», сияющих ярче целых галактик. Чтобы выяснить эту роль, мы с нашими коллегами разработали новый подход в теории черных дыр для их изображения, пони-

мания и описания. Насколько это возможно, черные дыры мы рассматриваем как обычные астрофизические объекты, состоящие из реального вещества. В рамках такого описания черная дыра представляет собой сферическую или сплюснутую поверхность из тонкой электропроводящей мембраны.

Черные дыры в качестве объектов теоретических исследований имеют давнюю историю. Двести лет назад английский физик Джон Мичелл и независимо французский математик Пьер-Симон Лаплас предсказали существование «темных тел» — астрономических объектов с настолько сильным гравитационным притяжением, что даже свет не смог бы их покинуть. Это предсказание, основанное на ньютоновской корпускулярной теории света и его теории гравитации как действия на расстоянии, просуществовало не так долго. В начале XIX в. эксперименты показали, что свет представляет собой скорее волны, чем ньютоновские корпускулы. Начался период волновой теории света Джеймса Клерка Максвелла. Лаплас, увидев разрушенной основу своего предсказания, пересмотрел его.

В 1917 г. с появлением общей теории относительности ньютоновское описание гравитации было заменено эйнштейновским. Тогда физикам стало ясно, что максвелловские волны, которые в теории гравитации Ньютона рассматривались как свободные, согласно теории Эйнштейна, могут быть захвачены гравитационным полем. Впервые возможность такого захвата отмечалась в 1919 г., когда во время солнечного затмения астрономы обнаружили, что свет от далеких звезд немного отклоняется Солнцем. Из уравнений ОТО непосредственно следовал вывод, что если бы Солнце сжималось при постоянной массе, то свет звезд, проходящий вблизи его поверхности, отклонился бы еще силь-



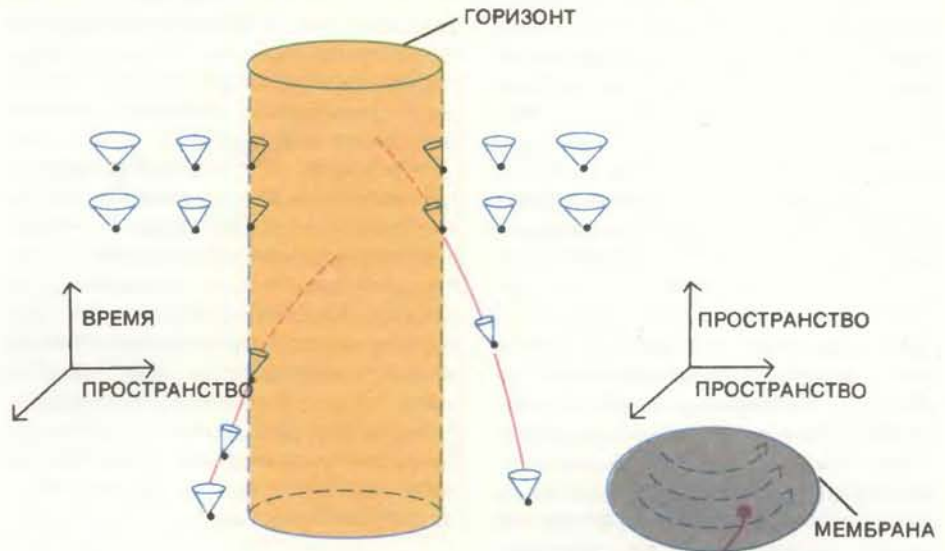
ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР и черные дыры, которые служат источником энергии в квазарах — далеких, ярких астрономических объектах, — могут иметь некоторые общие свойства. Этот простой генератор вырабатывает энергию из металлической сферы, вращающейся между полюсами магнита. При движении проводящего металла через силовые линии магнитного поля возникает разность потенциалов между полюсами и экватором сферы. Щетки обеспечивают электрический контакт на оси и экваторе, а провода дополняют цепь, которая питает лампочку. Авторы данной статьи, основываясь на работе Р. Блэндфорда и Р. Знаека из Кембриджского университета, доказывают, что черную дыру в квазаре можно рассматривать аналогично вращающейся мембране из электропроводящего материала, взаимодействующей с магнитным полем.

нее. В конце концов, когда длина солнечного экватора достигла бы 18,5 км, свет звезд был бы захвачен, как и свет, испущенный самим Солнцем. Солнце стало бы темным телом, напоминающим темные тела Мичелла и Лапласа.

Физическая структура таких темных тел в общей теории относительности сильно отличается от структуры темных тел, предложенных в XVIII в. и удивительно богаче ее. Согласно ОТО, такие темные тела не состоят из обычной материи, хотя они имеют массу и могут быть образованы из звездного вещества в процессе гравитационного коллапса. Однажды образовавшись, они представляют собой искривленное пространство-время, которое искривлено так сильно, что удерживает даже свет. Подобную структуру невозможно было представить до теории Эйнштейна. В 1968 г. Дж. Уиллер из Принстонского университета ввел для этих объектов новое название — черные дыры.

Потребовалось более четырех десятилетий, чтобы физики-теоретики приняли черные дыры серьезно как предсказание теории относительности, заслуживающее поиска в реальной Вселенной. Больше всего сопротивлялись принятию этой идеи астрономы. До середины 60-х годов многие из них представляли Вселенную «тихим местом», большинство явлений, происходящих в ней, считались известными и понятными. В такой Вселенной не могли находиться столь загадочные объекты, как черные дыры.

Однако эти представления изменились, когда в 1963 г. были открыты квазары. Их огромная мощность означала, что для производства такого количества энергии необходима гигантская масса, а быстрые флуктуации их светимости навели на мысль о чрезвычайной компактности центрального тела. Большая масса при малых размерах предполагает существование сильного гравитационного поля, и тогда появилась идея о том, что в центре квазаров могут находиться черные дыры. Затем в 1967 г. были открыты пульсары — объекты, которые излучают радиочастотные импульсы с непостоянной на первый взгляд периодичностью. В течение года выяснилось, что пульсары представляют собой вращающиеся нейтронные звезды — объекты огромной плотности с массой порядка солнечной и длиной экватора всего около 60 км. Это ровно в три раза больше размера черной дыры той же массы. Если сжать нейтронную звезду примерно в три раза, то, как утверждает ОТО, она станет черной дырой.



ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ различны в подходе искривленного пространства-времени (слева) и в мембранном подходе (справа). Искривленное пространство-время связывает пространство и время в единое четырехмерное пространство-время (на рисунке опущена одна размерность пространства.) «Световые конуса» иллюстрируют распространение в пространстве-времени света, который был испущен в определенной точке. «Мировые линии» (красные) соответствуют траекториям физических частиц. Любая частица, имеющая массу, должна двигаться медленнее света; в результате световые конуса с вершинами вдоль точек ее мировой линии будут полностью заключать в себе эту линию. Вдали от черной дыры световые конуса открыты наружу, а вблизи — они наклоняются внутрь, поскольку гравитационное поле черной дыры влияет на распространение света. Вертикальная цилиндрическая поверхность, называемая горизонтом, является касательной к внешним границам световых конусов. Следовательно, только световые фотоны могут «висеть» над ней, двигаясь вдоль линии касания. Однако массивные частицы должны падать сквозь горизонт в черную дыру. В рамках мембранного подхода черная дыра представляется в обычном трехмерном пространстве как сфероидальная оболочка (мембрана), имеющая тот же поперечник, что и размер горизонта в искривленном пространстве-времени. Такой сфероид сплюснут из-за вращения черной дыры. Фотоны (синие) могут «висеть» на мембране, где они вовлекаются в круговое движение вращением самой черной дыры. Массивные частицы падают сквозь мембрану в черную дыру.

С тех пор были обнаружены многие другие загадочные объекты, посылающие свои странные сигналы в телескопы, чаши радиотелескопов и другие детекторы. Число таких объектов так быстро росло, что астрономы потеряли чувство надежности своих представлений. Образование черных дыр при коллапсе одной или нескольких звезд стало не столь уж исключительным предположением для объяснения данных наблюдений. В частности, в настоящее время наиболее убедительно предположение о том, что черная дыра массой по меньшей мере 100 млн. солнечных является источником энергии квазаров.

**РАССМОТРЕНИЕ** черных дыр в реальных астрофизических условиях сталкивается с некоторыми затруднениями, природу которых можно понять, воспользовавшись философской концепцией парадигм по Томасу Куну. Физик Кун, ставший философом и историком науки, ввел этот термин в середине 60-х годов для

описания полного набора средств, с помощью которых ученые обычно изучают конкретную проблему. Например, парадигмы теоретической физики включают уравнения, описывающие соответствующие законы физики, множество конкретных задач, которые были решены с помощью этих уравнений и — что наиболее важно для наших целей — набор графиков или диаграмм вместе с соответствующим словарем для наглядного описания некоторых математических формул, что является мощным эвристическим методом. Эти графики, диаграммы и словарь «питают» физическую интуицию, а интуиция делает возможным качественные скачки в нашем понимании природы, которые быстро расширяют границы познания. Естественно, окончательным критерием служит именно математика — только математические расчеты могут показать, являются ли эти изменения наших представлений правильными.

В 60—70-х годах физики разработа-

ли элегантный и мощный метод описания черных дыр — парадигму искривленного пространства-времени. Ее математический аппарат — это аппарат ОТО, который описывает пространство-время как единый четырехмерный объект. Характерными графиками служат пространственно-временные диаграммы, которые охватывают время и два или три пространственных измерения. Траектории частиц, таких, как фотоны (световые кванты) описываются в пространстве-времени кривыми, которые называют мировыми линиями.

На такой пространственно-временной диаграмме черная дыра представляется цилиндрической поверхностью — горизонтом, где пространство-время так сильно искривлено мощной гравитацией, что фотоны захватываются этой поверхностью и внутри нее. Горизонт обозначает точку, из которой нет возврата: фотоны и любые частицы других видов могут падать, пересекая горизонт, внутрь черной дыры, но ни одна из них не может выйти наружу. Можно сказать, что горизонт «отсекает» все связи между черной дырой и остальной Вселенной.

Эти диаграммы и другие представления парадигмы искривленного пространства-времени позволили глубоко проникнуть в физическую природу изолированных черных дыр, на которые не влияет остальная Вселенная. Однако этого оказалось недостаточно для астрофизиков. Чтобы представить черную дыру как астрофизический объект (например, как источник энергии в квазарах), необходимо понять, как черная дыра взаимо-

действует с окружающими ее газом и магнитными полями. К сожалению, такие взаимодействия не могут быть достаточно просто изучены в рамках парадигмы искривленного пространства-времени. Искривленное пространство-время не совместимо с теми воображаемыми картинками, на которых астрофизики основывают свои представления о замагниченной плазме (горячем ионизованном газе). Эта парадигма оперирует языком единого четырехмерного пространства-времени, тогда как описание замагниченной плазмы, как правило, дается на более привычном языке трехмерного пространства и полностью отделенного от него времени.

**КАК В ТАКОМ** случае астрофизики-теоретики рассматривали черные дыры при попытках объяснить существование квазаров? До конца 70-х годов ученые обычно уклонялись от этой несовместимости, избегая парадигму искривленного пространства-времени. Вместо того чтобы рассматривать гравитацию как кривизну пространства-времени, они возвращались назад к ньютоновскому представлению о гравитации как о притягивающей силе. Там, где гравитация слаба, как это имеет место вдали от горизонта, предсказания ньютоновской и эйнштейновской теорий совпадают с высокой точностью; там, где предсказания расходятся (в непосредственной близости к горизонту), теоретики искусственно обрывали вычисления.

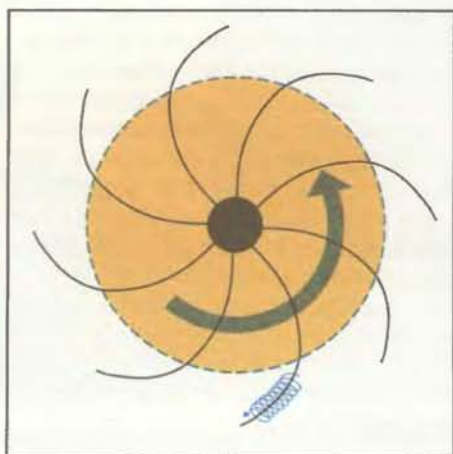
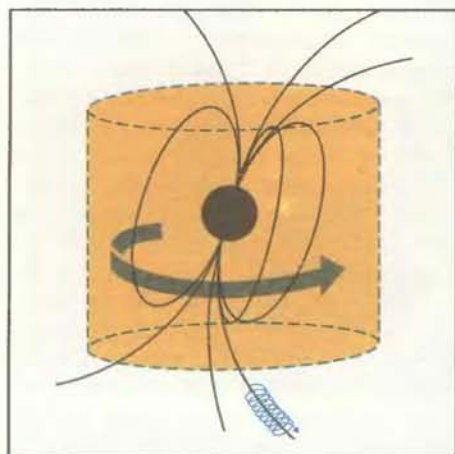
В ранних моделях квазаров такое приближение использовалось для описания того, как падающее на чер-

ную дыру вещество могло бы обеспечить источник энергии. В области плотного межзвездного газа черная дыра будет захватывать вещество своим гравитационным полем. Течение вещества внутрь будет сферическим, если газ обладает малым угловым моментом вращения, а в наиболее типичном случае вращающегося вещества газ будет концентрироваться в диск. По мере того как газ течет внутрь, он будет сжиматься и разогреваться и, подобно всякому горячему газу, будет излучать энергию в форме радиоволн, света и рентгеновских лучей. Рассчитывая излучение такого газа, теоретики учитывали энерговыделение из областей, простирающихся почти до места, где, согласно теории гравитации Эйнштейна, образуется горизонт. Затем вычисления искусственно обрывали.

Это приближение могло бы показаться довольно грубым, однако внешние им ошибки оказались значительно меньше по сравнению с неопределенностями физических процессов в турбулентном горячем газе. Попытки (в том числе авторов данной статьи и других ученых) смоделировать те же процессы в более точном подходе искривленного пространства-времени едва ли заслуживали подобных усилий. Таким образом, рассматривая одно лишь гравитационное притяжение черной дыры, можно было бы избежать астрофизических сложностей в рамках парадигмы искривленного пространства-времени.

Однако гравитационное притяжение не является единственным источником энергии черной дыры. Как показал в 1969 г. Р. Пенроуз из Кембриджского университета, черная дыра может запастись огромным количеством энергии в форме энергии вращения. Вскоре после этого Дж. Бардин из Вашингтонского университета отметил, что в реальной Вселенной черные дыры, по-видимому, быстро вращаются. По мере того как вращающееся с некоторой типичной скоростью вещество коллапсирует и образует черную дыру или аккрецирует на уже существующую черную дыру, оно будет закручиваться все быстрее при продвижении внутрь. Это приводит черную дыру в состояние с быстрым вращением. Именно рассмотрение энергии вращающейся черной дыры дает интересную альтернативную возможность для объяснения энерговыделения в квазарах.

Численные оценки вызывают особый интерес к вращению как источнику энергии. Черная дыра данной массы имеет предел скорости вращения: если вещество, которое падает внутрь при коллапсе или аккрецирует



**ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЕ ПУЛЬСАРА** можно понять, представив силовые линии магнитного поля «вмороженными» в проводящие внутренние области нейтронной звезды (слева) — компактного тела огромной плотности в центре пульсара. За пределами цилиндра определенного радиуса силовые линии вращаются в пространстве быстрее света. Заряженные частицы, двигаясь по спирали вокруг этих линий, уже не могут удержаться вблизи них. В результате они изгибают силовые линии и «соскальзывают» наружу вдоль них со скоростью, лишь слегка меньшей скорости света (справа). Таким образом, вращение нейтронной звезды создает поток истекающей плазмы, а энергия вращения в результате превращается в излучение.

на черную дыру вращается слишком быстро, то центробежные силы противодействуют направленному внутрь гравитационному притяжению и препятствуют падению вещества в черную дыру, что и ограничивает дальнейшее увеличение скорости ее вращения. Большинство черных дыр, вероятно, вращается со скоростью, очень близкой к максимально возможной. Это позволяет оценить количество энергии их вращения. Так, энергии вращения черной дыры массой 100 млн. солнечных (около  $3 \cdot 10^{48}$  кВт) было бы как раз достаточно, чтобы поддержать типичную светимость квазара на наблюдаемом уровне в течение максимального возможного времени его жизни — нескольких миллиардов лет.

Однако до 1977 г. никто не мог найти правдоподобного с точки зрения астрофизики механизма «переработки» этой энергии вращения в излучение. Ньютоновская картина черной дыры не дает ключа к такому механизму: в ньютоновской физике гравитационные поля вращающихся и стационарных источников точно совпадают. Однако в теории Эйнштейна появляется компонента гравитационного поля, индуцируемая вращением — это чисто релятивистский эффект, который никак не может быть получен в рамках теории гравитации Ньютона.

Тем временем поиск схемы переработки энергии вращения черных дыр продолжался, и в 1977 г. Р. Блэндфорду из Кембриджского университета и его дипломнику Р. Знаеку удалось использовать математический аппарат ОТО, чтобы показать, как магнитное поле, пронизывающее горизонт черной дыры, может «выкачивать» ее энергию вращения. Мы изучили проведенные ими математические расчеты и вынуждены были согласиться. Математика была ясна. Но физическая картина оставалась для нас загадкой: не было простого представления (или языка) для описания взаимодействия вращающейся черной дыры с магнитным полем.

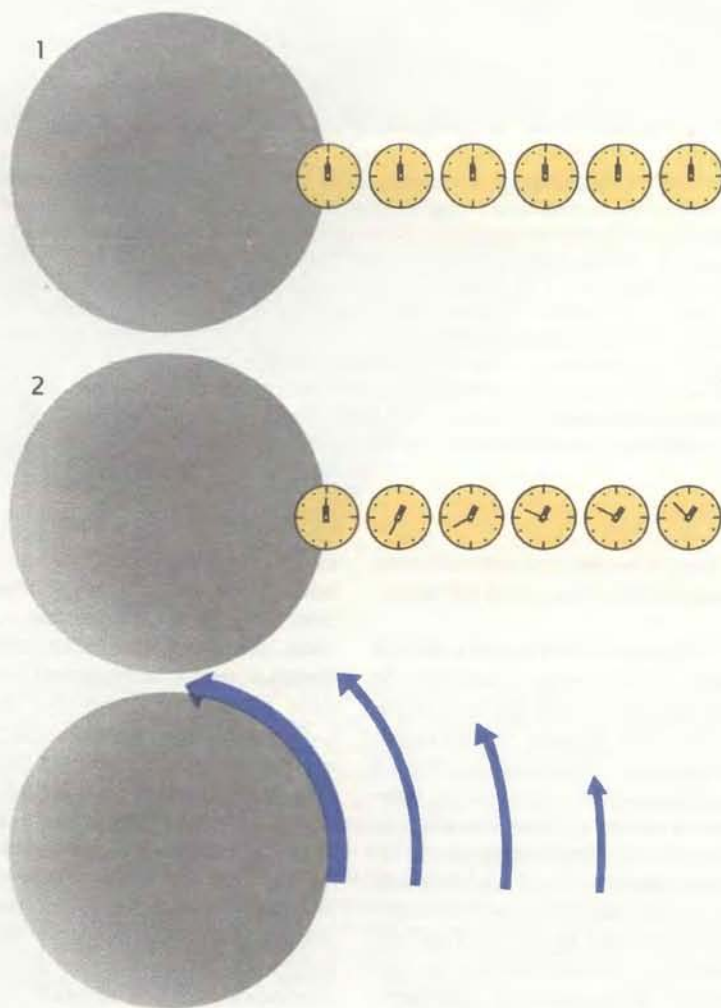
**И**МЕННО желание понять процесс Блэндфорда — Знаека интуитивно привело нас к созданию мембранной парадигмы. Нашей стратегической целью было перевести аппарат описания черных дыр в ОТО на тот же язык трехмерного пространства, который используется для описания замагниченной плазмы, и создать новую серию диаграмм и графиков для черных дыр с помощью этого языка. Это было сделано в начале 80-х годов группой исследователей, которые тогда работали в Калифорнийском

технологическом институте, а затем разехались по разным лабораториям США и Западной Европы. «Калтекское парадигмовое общество», как оно себя именovalo, состояло из Д. Макдональда, Вэй Мо Сюэна, И. Редмаунта, Сяо-Хи Чжэня, Р. Краули, В. Зурека и нас.

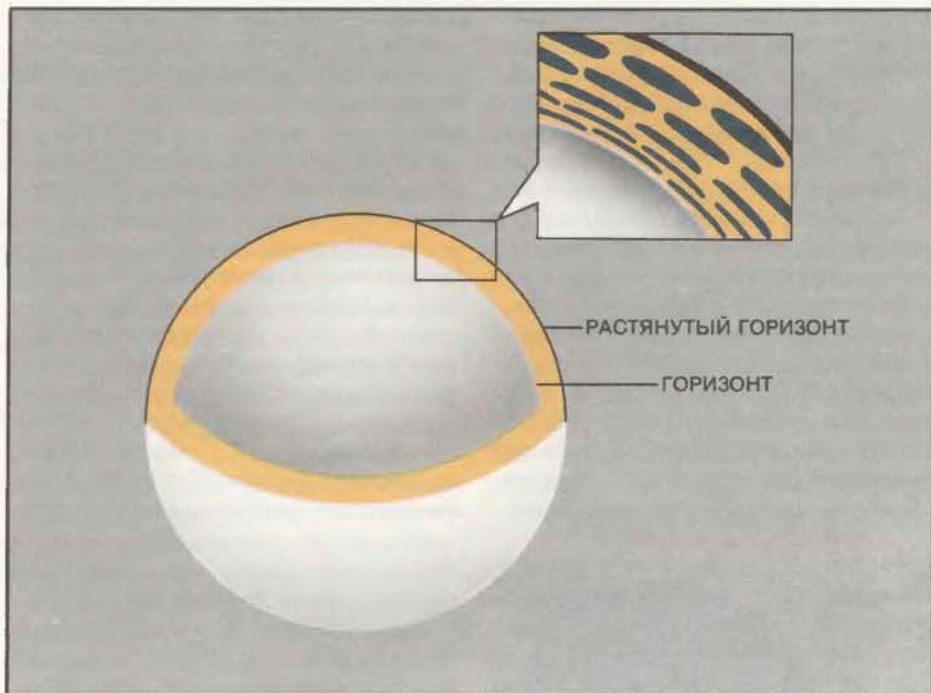
Мембранный подход представляет собой попытку трактовать черную дыру как простой трехмерный объект, который незначительно отличается от своего ближайшего «родственника» — нейтронной звезды. Вращающаяся нейтронная звезда передает энергию пульсару через магнитные поля. Именно стандартное описание механизма пульсара было моделью

для того типа картины, с помощью которой мы надеялись понять, откуда берется энергия в квазарах, так что этот механизм стоит здесь напомнить.

Нейтронная звезда, образовавшаяся при коллапсе ядра массивной звезды, несмотря на свое название, состоит не только из нейтронов, но также из протонов и электронов, которые обуславливают высокую проводимость и даже сверхпроводимость. Электрические токи в такой звезде продолжают существовать неограниченно долго, равно как и неограниченно долго существуют магнитные поля, создаваемые этими токами. В нашем подходе магнитные поля схема-



**ВРЕМЯ И ПРОСТРАНСТВО** подвержены влиянию горизонта черной дыры. Вверху изображены часы наблюдателей, расположенных на различных расстояниях от горизонта; они показывают время за один час «универсального» времени, измеряемого бесконечно далеко от горизонта. Сначала все часы были синхронизованы (1), однако через час они показывают разное время (2). Из-за гравитационного замедления времени часы идут тем медленнее по отношению к универсальному времени, чем ближе они расположены к горизонту. Показания часов, находящихся непосредственно вблизи горизонта, совсем не изменились. Внизу показано движение наблюдателей, находящихся на различных расстояниях от горизонта вращающейся черной дыры (стрелки), как оно выглядит с некоторого расстояния. Наблюдатель, находящийся непосредственно вблизи горизонта, вращается синхронно вместе с черной дырой, а более удаленные наблюдатели вращаются медленнее. Каждый наблюдатель неподвижен в «абсолютном пространстве», однако само пространство вовлечено в движение вращением черной дыры.



**РАСТЯНУТЫЙ ГОРИЗОНТ** — воображаемая поверхность, расположенная непосредственно над истинным горизонтом черной дыры. В мембранном подходе эта поверхность принимается за границу черной дыры. Сам горизонт не может быть изучен в таком приближении, поскольку на него нельзя поместить физического наблюдателя. Промежуток между растянутым и истинным горизонтами полностью заполнен веществом и полями, которые аккрецировались черной дырой с момента ее образования. Из-за гравитационного замедления времени вещество, приближаясь к истинному горизонту, падает все медленнее (с точки зрения удаленного наблюдателя), но никогда не проникает внутрь черной дыры. Эти «осадочные породы», которые не имеют отношения к идущим вблизи черной дыры астрофизическим процессам, спрятаны за растянутым горизонтом.

тически представляются «вмороженными» в вещество с высокой проводимостью.

Таким образом, нейтронная звезда напоминает постоянный магнит: ее можно представить как объект, у которого силовые линии магнитного поля выходят из северной полярной области, описывают петлю в пространстве и входят обратно вблизи южного полюса. Такой астрофизический магнит вращается. Нормальные звезды, из которых образуются нейтронные звезды, всегда хотя бы немного вращаются, а при коллапсе, во время которого формируется нейтронная звезда, их вращение еще более усиливается. Поэтому предполагают, что большинство нейтронных звезд рождается очень быстро вращающимися с периодом от тысячной доли секунды до одной секунды. Силовые линии магнитного поля также должны вращаться, поскольку магнитное поле нейтронной звезды «вморожено» в ее электропроводящие внутренние области.

Из этой воображаемой картины силовых линий магнитного поля вытекает важное следствие: даже если нейтронная звезда вращается медленно,

на достаточно большом удалении эти воображаемые силовые линии будут двигаться в пространстве со скоростью, большей скорости света. Заряженные частицы (плазма) в окрестностях нейтронной звезды «вморожены» в силовые линии магнитного поля точно так же, как сами силовые линии «вморожены» во внутренние области нейтронной звезды. Но так как частицы не могут двигаться быстрее света, они препятствуют вращению силовых линий, изгибая их назад и «соскальзывая» по ним наружу со скоростями, лишь слегка меньшими скорости света. Силовые линии магнитного поля, таким образом, действуют как «рычаги» для передачи энергии вращения звезды истекающей плазме.

Детали того, как эта энергия преобразуется в импульсы радиоизлучения и другие явления, характерные для пульсаров, достаточно сложны, и мы не будем здесь их касаться. Дело в том, что можно получить удовлетворительную общую картину природы пульсаров и их влияния на окружающую среду с помощью интуитивных представлений (силовые линии магнитного поля) и простых соображе-

ний («вмороженность» линий в проводники). Это те воображаемые «инструменты», с помощью которых мы и хотели бы понять, как магнитное поле может «извлекать» энергию вращения черной дыры.

**НАШЕЙ** первоочередной задачей было заменить описание черных дыр в четырехмерном пространстве-времени их описанием в трехмерном пространстве. Это необходимо не только для того, чтобы черные дыры было легче изображать, но также и потому, что в пространстве-времени магнитные поля не существуют как независимые объекты. Они теряют свою индивидуальность и сливаются с электрическими полями в единое целое — электромагнитное поле, которое не укладывается в рамки обычной физической интуиции. Чтобы разделить единое электромагнитное поле на электрические и магнитные поля, мы должны были восстановить обычное трехмерное пространство, согласующееся с математическим описанием единого пространства-времени.

Для этого нам понадобилось ввести множество наблюдателей. В теориях Эйнштейна наблюдателя можно представить несущим маленькую рамку из прямых измерительных стержней и набором синхронизованных часов для отметки положения событий, измерения скорости, ускорения и т. д. Релятивистская теория гласит, что два наблюдателя, которые движутся по отношению друг к другу, будут получать различные значения для многих измеряемых физических величин. Возможно, наиболее поразительным является утверждение, что наблюдатели будут расходиться в своем определении трехмерного пространства. Между ними не будет согласия в том, каким точкам в пространстве-времени соответствует один и тот же момент времени, т. е. какие точки образуют трехмерное пространство в данный момент.

Таким образом, трехмерное пространство, а вместе с ним и независимое магнитное поле могут быть определены только с точки зрения конкретного наблюдателя. В мембранном подходе мы восстанавливаем независимое магнитное поле и возможность изображать его силовые линии вокруг черной дыры путем определенного выбора наблюдателя в каждой точке пространства-времени. Наблюдатели этого семейства образуют трехмерное «сечение» пространства-времени и таким образом определяют, какая часть электромагнитного поля является магнитной, а какая — электрической компонентой.

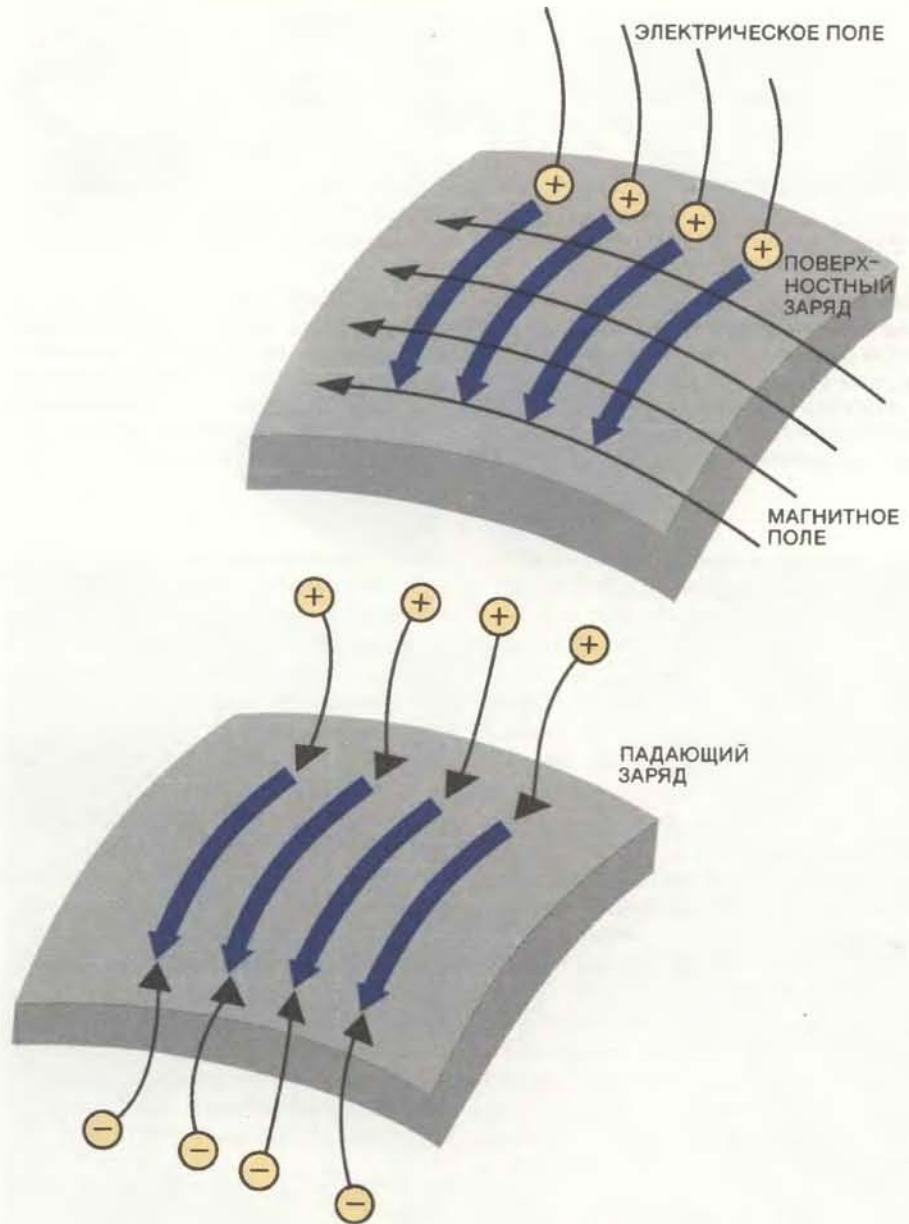
Мы назвали этих наблюдателей ОПН (опорный наблюдатель). Именно с их точки зрения мы исследуем физику вблизи черной дыры. Выбрав ОПН, можно говорить о черных дырах на знакомом трехмерном языке.

Чтобы придать мембранному подходу простоту и силу, ОПН должны быть выбраны в соответствии со строгими математическими правилами. Тогда эти правила становятся достаточно естественными, особенно когда они переведены в слова и графики. Каждый ОПН должен оставаться на одном и том же расстоянии от черной дыры и на одной и той же широте по отношению к ее оси вращения. ОПН должны находиться также в определенном состоянии орбитального движения: все они (в очень узком смысле) покоятся в трехмерном пространстве.

Означает ли «покой» каждого ОПН на любом расстоянии от черной дыры, что он остается неподвижным и по отношению к удаленным звездам? Вовсе нет: вращающееся гравитационное поле увлекает за собой и «абсолютное пространство». Вблизи Земли этот эффект оказывается ничтожно малым, тогда как вблизи вращающейся черной дыры он становится очень сильным. Черная дыра увлекает в движение пространство, а вместе с ним и ОПН — точно так же, как шар для игры в гольф, вращающийся в кленовом сиропе, увлек бы за собой соседние слои сиропа. По этой аналогии ОПН остается в сиропе (абсолютном пространстве), но сам сироп вращается относительно стен кухни (удаленных звезд). В непосредственной близости к горизонту ОПН и пространство, в котором они находятся, вращаются почти так же быстро, как черная дыра (один оборот за 90 мин для быстровращающейся черной дыры с массой 100 млн. солнечных). Вдали от горизонта ОПН почти неподвижны по отношению к удаленным звездам.

Чтобы говорить о скоростях вращения подобным образом, нужно предположить существование универсального стандарта времени. Но с точки зрения удаленного наблюдателя часы ОПН идут в различном темпе. Чем ближе ОПН к горизонту, тем медленнее идущими кажутся его часы. Часы ОПН, расположенного сколь угодно близко к горизонту, идут сколь угодно медленно. Это явление, получившее название гравитационного замедления времени, имеет место также в поле тяготения Земли, но здесь оно очень мало: различие в темпе хода часов на Земле и на геостационарном спутнике составляет одну миллиардную часть.

Время, отсчитываемое по часам

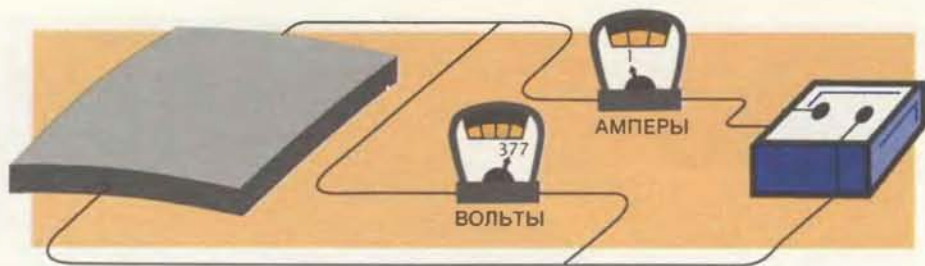


СОГЛАСНО МЕМБРАННОМУ ПОДХОДУ, поверхностные заряды и токи возникают на растянутом горизонте подобно тому, как они появлялись бы на мембране из электропроводящего материала. В ответ на действие компоненты электрического поля, перпендикулярной поверхности, на мембране, как на настоящем проводнике, образуются поверхностные заряды. Аналогично возникают поверхностные токи (синие) в ответ на действие компоненты магнитного поля, параллельной поверхности (вверху). Плотность зарядов и величина токов становятся как раз такими, чтобы экранировать мембрану от проникновения внутри нее внешних полей. Когда заряженные частицы падают на черную дыру (внизу), они представляются как бы собранными на мембране. В силу закона сохранения электрического заряда это приводит к его перераспределению по мембране с помощью поверхностных токов.

определенного ОПН, может служить для описания физических процессов в этой точке. Чтобы применить мембранный подход к описанию крупномасштабных физических процессов, происходящих в обширной области пространства вблизи черной дыры, мы определяем второй тип времени, а именно: представим себе, что ход часов и начало отсчета в каждой точке корректируются так, что близкие к горизонту часы повторяют ход удаленных часов, несмотря на сильное гравитационное поле. Подкорректи-

рованные таким образом часы определяют «универсальное» время, текущее везде с одинаковой скоростью, — так течет время в классической физике, и это соответствует нашим (нерелятивистским) интуитивным представлениям.

РАССМАТРИВАЕМОЕ семейство ОПН обладает одним большим недостатком: ни один ОПН не имеет возможности стабильно существовать на горизонте или внутри него. На горизонте гравитационное поле



МЕМБРАНА ОБЛАДАЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ подобно большинству проводящих материалов. Точная величина этого сопротивления 377 Ом означает, что необходимо приложить напряжение 377 В для возникновения тока величиной 1 А через квадратное сечение мембраны. Материал с таким относительно высоким сопротивлением способен поглощать все попадающие на него электромагнитные сигналы. Вещество мембраны, таким образом, отражает способность истинного горизонта поглощать любые излучения.

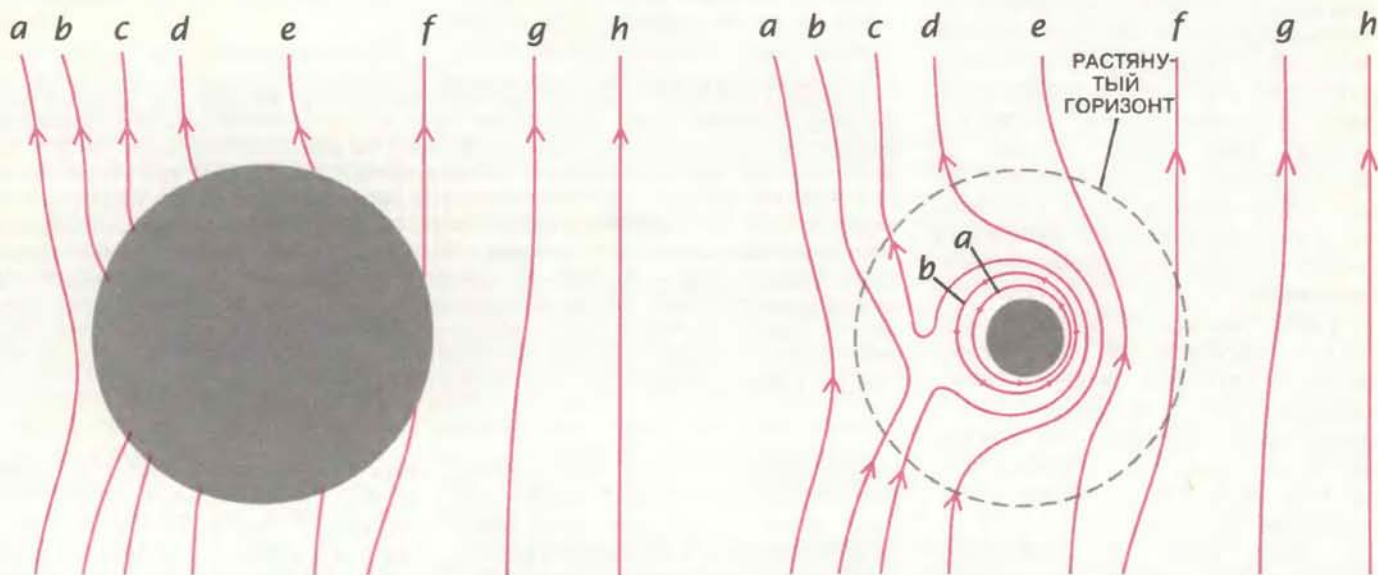
такое сильное, что только движущиеся со скоростью света фотоны могут проникать в эти окрестности, не «сваливаясь» под горизонт (т. е. как бы «висеть» над горизонтом). Поскольку ОПН является наблюдателем, имеющим массу, он движется медленнее света. Если бы какой-нибудь наблюдатель обнаружил, что он находится на горизонте или под ним, он должен был падать к центру черной дыры, т. е. его расстояние от горизонта обязательно изменялось бы, следовательно, он нарушил бы наши правила выбора ОПН. Так как мы не можем поместить ОПН на горизонт, абсолютное пространство в мембранном подходе, основанном на таких ОПН, должно обрываться непосредственно перед горизонтом.

Этот недостаток выглядит менее

существенным, когда рассматриваются физические процессы, протекающие сколь угодно близко к горизонту. Если наблюдатель следит с больших расстояний за физическими часами, приближающимися к горизонту, он заметит, как они постепенно замедляют свой ход. Соответственно на горизонте бесконечно замедлится и любой физический процесс. Например, если стеклянный шарик падает в черную дыру и за его падением следит удаленный ОПН, ему кажется, что сначала шарик быстро падает, а затем по мере приближения к горизонту замедляется. Шарик как бы «наматывается» на горизонт, двигаясь внутрь с экспоненциально падающей скоростью и при этом все быстрее вращаясь вокруг черной дыры, увлекаемый ее собственным вращением.

С точки зрения ОПН, «висящего» непосредственно над горизонтом, падение шарика, наоборот, ускоряется почти до скорости света. Наблюдателю, кроме того, кажется, что шарик испытывает «лоренц-фитцджеральдовское» сокращение, которому подвергаются любые объекты, движущиеся с релятивистскими скоростями. Этот ОПН замечает, что в момент пролета мимо него шарик становится сжатым до бесконечно малой толщины. (С точки зрения третьего наблюдателя, падающего вместе с шариком в черную дыру, он «ныряет» под горизонт без всяких замедлений и сокращений. Такова особенность времени и пространства в ОТО!)

Таким образом, согласно рассматриваемому мембранному подходу, горизонт буквально загромождается «следами» прошлого, собранными в бесконечно тонком слое, подобно отложениям на океанском дне. Эта словесная структура, обреченная на приближение с экспоненциально падающей скоростью все ближе и ближе к горизонту, не имеет никакого значения для остальной Вселенной. Поскольку мембранный подход предназначен для наглядного представления астрофизики черных дыр, невозможность с его помощью описать процессы на горизонте или внутри его не является недостатком. Такие процессы мы как бы «заметаем под ковер», строя новый, так называемый растянутый горизонт снаружи истинного горизонта и исключая из рассмотрения все внутри его.



МЫСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ, в котором черная дыра пересекает сильное магнитное поле, служит тестом мембранного подхода. В этом подходе утверждается, что растянутый горизонт действует как проводящая сфера с поверхностным сопротивлением 377 Ом (слева). Силовые линии магнитного поля, «скользя» через такую сферу, возбудили бы поверхностные вихревые токи. Эти токи в свою очередь исказили бы первоначальную картину силовых линий магнитного поля. В то же время сфера испытала бы не-

большое торможение. Внутри растянутого горизонта (справа) обнаруживается, что на самом деле силовые линии не пересекают горизонт — они закручиваются вокруг него и в конце концов стягиваются в петли. Такая сложная структура скрыта растянутым горизонтом (который изображен на гораздо большем расстоянии от истинного горизонта, чем на самом деле), и не оказывает никакого влияния на астрофизические процессы взаимодействия черной дыры с окружающей средой.



**Е**СЛИ мы намерены отказаться от изучения всего вещества и полей внутри растянутого горизонта, то описание влияния черной дыры на ее окружение должно рассматриваться с точки зрения этой новой поверхности, а именно: взаимное влияние магнитных и электрических полей, наблюдаемых ОПН на растянутом горизонте, должно имитировать влияние истинного горизонта на электромагнитное поле — эффект, который выводится из парадигмы искривленного пространства-времени. Поэтому мы определяем свойства построенного нами растянутого горизонта так: его влияние на измеряемые ОПН поля совпадает с предсказаниями парадигмы искривленного пространства-времени.

В 1978 г. Знаек и независимо Т. Дамур из Парижского университета показали, что в уравнениях, которые описывают электромагнитное поле на горизонте и электрические и магнитные поля в электропроводящем веществе, имеется сходство. Это сходство было использовано в мембранном подходе. Мы представляем растянутый горизонт в виде сферической или сплюснутой (если черная дыра вращается) мембраны из электропроводящего материала.

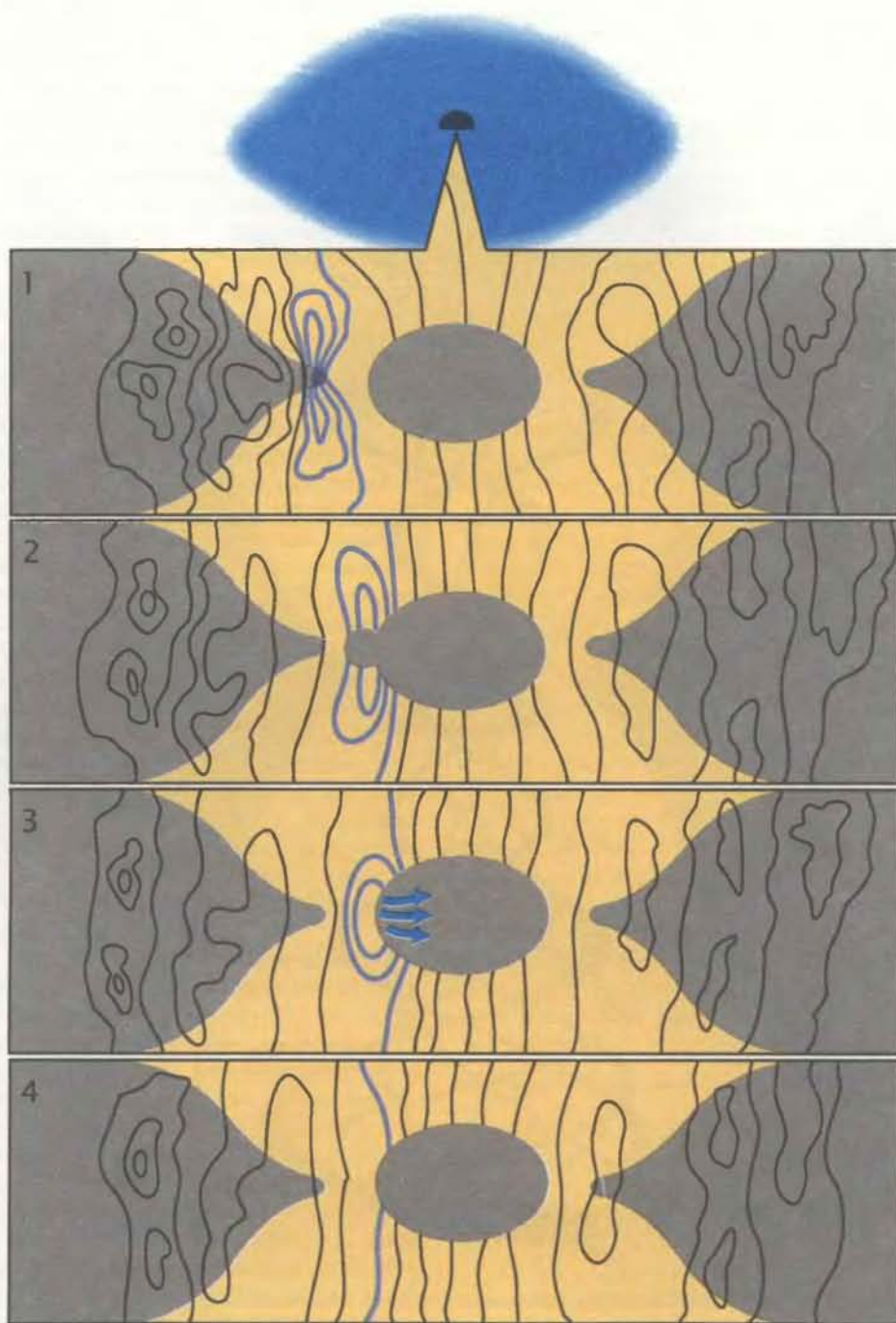
Подобно любому другому проводнику, в ответ на действие внешнего перпендикулярного электрического поля мембрана растянутого горизонта приобретает поверхностные заряды. Распределение и концентрация этих зарядов таковы, чтобы оборвать линии нормального электрического поля и предотвратить их проникновение внутрь проводника. Эта электростатическая защита соответствует закону Гаусса, согласно которому линии электрического поля могут начинаться и заканчиваться только на электрических зарядах. В ответ на действие внешнего параллельного магнитного поля на мембране также возникают поверхностные токи — в соответствии с законом Ампера, который устанавливает соотношение между магнитными полями и электрическим током. В мембране поверхностные токи приобретают именно такую величину, чтобы не допустить проникновения магнитного поля внутрь ее.

Оказывается, что релятивистское описание электромагнитного поля на горизонте достаточно хорошо и просто выражается с помощью мембранных зарядов и токов. Первое важное требование к этому описанию предъявляется законом сохранения заряда. Когда реальный электрический заряд, переносимый, например, электронами или позитронами, падает на черную дыру, он может рас-

сматриваться как изменение поверхностного заряда мембраны в момент достижения реальным зарядом растянутого горизонта. Затем заряды могут передвигаться по мембране в форме мембранных поверхностных токов, поэтому заряд на мембране не возникает и не исчезает. Сумма реальных зарядов в окрестностях черной

дыры и фиктивных (но, как интуитивно ясно, сильно воздействующих на окружение) мембранных зарядов должна оставаться постоянной.

Второе важное требование к этому описанию также сводится к простому закону Ома, который устанавливает зависимость между электрическими токами и вызывающими их электри-

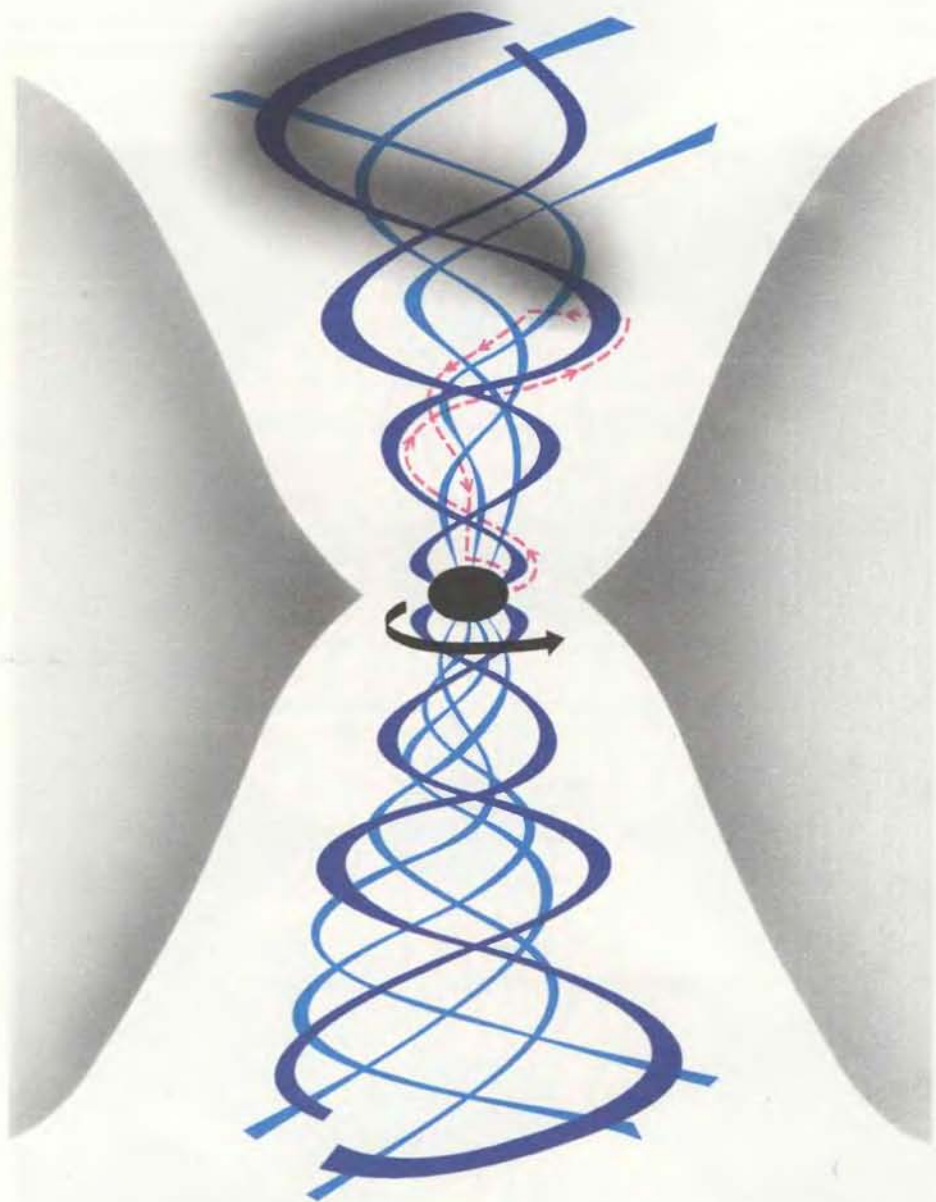


**УПОРЯДОЧЕННОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ** может возникнуть на растянутом горизонте черной дыры в центре квазара. Черная дыра окружена аккреционным диском в виде «пончика», состоящего из горячего ионизованного газа (*вверху*). Когда плазменная капля с внутреннего края диска «ныряет» под растянутый горизонт (1, 2), она движется по касательной к силовым линиям хаотического магнитного поля (*показано цветом*). По мере того как хаотическое поле опускается глубже и глубже, оно вызывает вихревые токи на мембране (*изображены стрелками*), которые рассеивают энергию этого клубка, протекая через мембрану с высоким сопротивлением (3). Сохраняется только нормальная компонента поля, образуя «выпрямленную» силовую линию, выходящую за пределы черной дыры; такая силовая линия присоединяется к другим силовым линиям, попавшим на растянутый горизонт ранее (4).

ческими полями. Почти каждый проводник оказывает некоторое сопротивление протекающему по нему току. Для тонкой проводящей пленки это сопротивление характеризуется поверхностным сопротивлением. Математический аппарат ОТО, переведенный на язык мембранного подхода, позволяет определить точную величину поверхностного сопротивле-

ния мембраны. Оно составляет 377 Ом, т. е. электрическое поле напряжением 377 В вызвало бы ток величиной 1 А через малое квадратное сечение мембраны. Это сопротивление очень высокое по сравнению, например, с сопротивлением медного листа (медный лист миллиметровой толщины имеет поверхностное сопротивление 0,000018 Ом). Это обстоя-

тельство имеет особое значение: такое высокое сопротивление соответствует поверхностному сопротивлению идеального поглотителя электромагнитного излучения. В рамках мембранного подхода сопротивление 377 Ом есть проявление того факта, что излучение может идти только в черную дыру и никогда не может ее покинуть.



**ВРАЩАЮЩАЯСЯ ЧЕРНАЯ ДЫРА** может служить источником энергии в квазаре, закручивая силовые линии магнитного поля, пронизывающего растянутый горизонт. «Вмороженная» в силовые линии плазма вдали от черной дыры тормозит их и закручивает поле. Механизм, посредством которого силовые линии передают вращательную энергию черной дыры удаленной плазме, можно рассматривать с точки зрения гигантской цепи постоянного тока. Вращающееся магнитное поле вызывает огромную разность потенциалов между полюсами и экватором растянутого горизонта. Ток (красный цвет) течет от полюса к экватору, а затем наружу вдоль силовых линий поля на большое расстояние, где он пересекается с полярными силовыми линиями и по ним возвращается. Пересекая эти линии, ток отдает энергию находящейся там плазме и ускоряет ее поток, истекающий наружу. Этот гипотетический, но правдоподобный механизм мог бы объяснить светимость квазаров и выбросы газа, которые часто наблюдаются из их центра.

**С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ** астрофизики основной нашей задачей было рассмотреть не взаимодействие черной дыры с излучением (быстропеременными электромагнитными полями), а ее взаимодействие с крупномасштабным относительно медленно меняющимся магнитным полем. Чтобы показать, как описание черной дыры в виде проводящей мембраны помогает представить картину такого взаимодействия, рассмотрим простую мысленную задачу. Допустим, что где-то очень далеко в Галактике существует магнитное поле, подобное тому, какое существует в зазоре лабораторного магнита. Пусть черная дыра входит в это сильное поле поперек его силовых линий. Каким образом черная дыра будет влиять на поле и как поле будет действовать на движение черной дыры?

Мембранный подход предполагает, что черная дыра будет взаимодействовать с полем приблизительно так же, как взаимодействовала бы с ним сферическая мембрана из проводящего вещества того же размера, что и горизонт черной дыры, и поверхностным сопротивлением 377 Ом. Согласно электромагнитной теории, когда проводящая поверхность входит в магнитное поле, индуцированные поверхностные токи («вихревые токи») добавляют новую компоненту к магнитному полю, искажая первоначальную картину силовых линий. В то же время внешнее поле оказывает влияние на индуцированные токи, затормаживая движение проводника.

Таким образом, мембранный подход дает картину, в которой силовые линии магнитного поля слегка искажаются в момент касания растянутого горизонта. В то же время черная дыра испытывает небольшое торможение со стороны внешнего поля; величина этого торможения может быть точно вычислена путем решения уравнений в рамках мембранного подхода. Следует подчеркнуть, что математические формулы парадигмы искривленного пространства-времени дают абсолютно такой же результат. Преимущество мембранного подхода заключается в том, что физическая картина протекающих процессов становится очевидной и интуитивно по-

нятной. До математических расчетов этот подход дает представление о природе процессов, позволяет оценить величину искажения магнитного поля и торможения черной дыры.

Так примерно и поступают, если не обращать внимания на некоторые незначительные тонкости. Если на мгновение отвлечься от аналогии с мембраной и заглянуть внутрь растянутого горизонта, то обнаружится, что из-за гравитационного замедления времени силовые линии поля никогда не пересекут горизонт. Вместо этого они закручиваются вокруг черной дыры и в конце концов сжимаются, образуя петли, витки которых все плотнее располагаются друг к другу в направлении горизонта. Эти туго закрученные линии могут служить примером наложенных «остатков» прошлого, которые скрыты растянутым горизонтом. С точки зрения астрофизики важно лишь слабое искажение силовых линий, и именно оно наблюдается с «видимой» наружной стороны растянутого горизонта.

**КАК** МЕМБРАННЫЙ подход помогает понять более сложное взаимодействие вращающейся черной дыры с магнитным полем, которое может служить источником энергии в квазарах? В этом подходе подчеркивается, что черные дыры не могут иметь собственного магнитного поля в отличие от замагниченных нейтронных звезд, обуславливающих существование пульсаров. Токи внутри нейтронной звезды не встречают сопротивления и могут поддерживать ее магнитное поле бесконечно долго. Однако мембрана черной дыры обладает высоким сопротивлением, а это означает, что подобные токи прекратились бы в течение нескольких минут и магнитное поле исчезло бы. Таким образом, чтобы играть определенную роль в энерговыделении квазаров, магнитное поле должно пронизывать растянутый горизонт на протяжении всего времени жизни квазара.

Действительно, внешний источник такого поля в квазаре существует — это межзвездный газ, который втягивается в черную дыру. В любом межзвездном газе есть магнитные поля. Силовые линии поля становятся «вмороженными» в газ, по мере того как он разогревается и ионизируется вблизи черной дыры. Вращение и турбулентность в этой аккрецирующей плазме запутывают эти силовые линии, превращая их в хаотический клубок, части которого попадают на растянутый горизонт вместе со сгустками плазмы. Вихревые токи, текущие через мембрану, непрерывно рассеивают энергию хаотического поля,

оставляя упорядоченные, «выпрямленные» силовые линии, входящие в мембрану в области южного магнитного полюса и выходящие в области северного.

Если такая выпрямленная силовая линия попала на черную дыру, то она не может исчезнуть: плазма в аккреционном диске и магнитное поле поддерживают ее существование до тех пор, пока сам диск не рассеется в пространство или не будет полностью поглощен черной дырой. Таким путем черная дыра может приобрести магнитное поле величиной вплоть до 10 000 Гс (что более чем в 10 000 раз сильнее магнитного поля Земли).

Как это упорядоченное магнитное поле вращается? Если мембрана, подобно нейтронной звезде, имела бы нулевое сопротивление, то силовые линии магнитного поля были бы «вморожены» в мембрану и вращались синхронно с ней. Напротив, в случае бесконечно большого сопротивления силовые линии могли бы свободно проскальзывать через мембрану и ее вращение на них никак не влияло бы. Существующее сопротивление 377 Ом означает, что силовые линии будут иметь лишь тенденцию вращаться вместе с мембраной, но с некоторым «проскальзыванием». Тем не менее общая картина переноса энергии в пульсарах применима в равной степени и к квазарам: вращающиеся силовые линии магнитного поля, несмотря на «проскальзывание», действуют в качестве рычагов, которые отбрасывают плазму с большими скоростями, перерабатывая энергию вращения черной дыры в энергию быстрого потока истекающей плазмы.

Мембранный подход предлагает и другой, столь же обоснованный путь объяснения тех же процессов. Этот способ дает как качественное, так и количественное описание переноса энергии. Известно, что всякое движущееся магнитное поле генерирует электрическое поле. В случае быстрого вращения замагниченной черной дыры рожденное вблизи растянутого горизонта электрическое поле может создать огромную разность потенциалов между полюсами и экваториальными областями мембраны — более  $10^{20}$  В. Это все равно как если бы растянутый горизонт был гигантской электрической батареей.

Силовые линии магнитного поля переносят токи, обусловленные разностью потенциалов на мембране, к удаленным областям квазара, связывая таким образом мембрану с ее окружением в гигантскую цепь постоянного тока. Положительный заряд течет по силовым линиям из экваториальной области мембраны в виде

избытка отрицательно заряженных частиц, падающих на черную дыру. Этот ток течет назад по другим силовым линиям в полярные области в виде избытка положительно заряженных частиц. Ток течет из полярных в экваториальные области на растянутом горизонте и замыкает цепь с одного конца. На другом конце вдали от черной дыры ток переходит от экваториальных к полярным силовым линиям, проходя при этом через находящуюся там плазму.

Можно считать, что величина сопротивления нагрузки этой удаленной области одного порядка с сопротивлением самой мембраны. Как и в любой лабораторной цепи, такой «согласованный импеданс» генератора и нагрузки ведет к огромным возможностям для передачи энергии. Около половины энергии цепи отдается удаленной плазме, а другая половина рассеивается в форме «потерь тепла» растянутого горизонта.

Окончательным результатом является то, что плазма в области нагрузки начинает истекать наружу в соответствии с оригинальными расчетами Блэндфорда и Знаека. В результате сложных процессов часть кинетической энергии этой плазмы может впоследствии перейти в мощное излучение квазара. Ускоренная плазма может также собираться в направленные струи (джеты), которые часто наблюдаются в виде выбросов из ядер многих квазаров и простираются в пространстве на огромные расстояния (см. статью: Р. Блэндфорд, М. Беджелен, М. Рис. Космические выбросы, «В мире науки», 1983, № 2, с. 30). Вероятно, многие квазары «черпают» энергию именно этим путем. Таким образом, мембранный подход позволил нам построить картину некоторых процессов, которые связывают черные дыры с остальной Вселенной.

#### НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

121019 Москва,  
просп. Калинина, 26, п/я 42,  
магазин № 200  
«Московский дом книги»

125315 Москва,  
Ленинградский просп., 78,  
магазин № 19 «Мир»

630091 Новосибирск,  
Красный просп., 60,  
магазин № 7 «Техническая книга»



# Энергоэкономичные здания

*Сбережение энергетических ресурсов и общее экономическое развитие тесно связаны друг с другом. Строительство жилых и административных зданий, эффективных с точки зрения экономии различных видов энергии, позволит высвободить дополнительные средства, снизить капитальные затраты и сократить сооружение дорогостоящих тепло- и электростанций*

АРТУР Г. РОЗЕНФЕЛЬД, ДЕЙВИД ХАФМЕЙСТЕР

ИЗВЕСТНО, что национальная политика, проводимая нынешним президентом Рональдом Рейганом, отличается от той, которой в свое время придерживался Джими Картер, однако в вопросах разрешения энергетического кризиса взгляды обоих президентов совпали: и тот и другой считают, что сбережение энергоресурсов — это мера, которая неизбежно вынудит американцев пойти на некоторое ущемление их благополучия. В одной из своих речей, которая подорвала его авторитет как политика, Картер призвал американский народ пойти на жертвы ради того, чтобы положить конец «обременительной зависимости от нефти, закупаемой у стран—членов ОПЕК». Полтора года спустя новый президент Рейган высмеял призыв к сбережению энергии, которое по его мнению обещает американцам холод зимой и жару летом. Если не вдаваться в подробности, то можно сказать, что оба они были неправы. С момента первых проявлений нефтяного кризиса в начале 70-х годов объем валового национального продукта в США вырос на 35% без увеличения потребления энергетических ресурсов. Основная причина этого в том, что энергия для сервиса, т. е. расходуемая на создание комфортных условий в жилых и служебных помещениях, передвижение на всех видах транспорта и даже на охлаждение пива в жаркую погоду, в настоящее время потребляется в гораздо меньших размерах, чем в 1973 г.

Сокращение энергопотребления в основном достигается более экономичным расходом энергии в жилых и административных зданиях. В результате их оснащения новыми техническими устройствами и улучшения эксплуатации систем освещения, отопления и вентиляции общая сумма счетов за расход различных видов энергии в целом по стране сократилась на 45 млрд. долл. в год. Для

большой наглядности укажем, что, несмотря на то что количество квартир-съемщиков увеличилось на 20 млн., а прирост жилой и служебной площади составил 1,7 млрд. м<sup>2</sup>, ежедневное потребление горючих продуктов на обогрев в пересчете на нефть снизилось почти на 200 тыс. т, что эквивалентно 2/3 общего объема нефти, поставляемого по трубопроводу с Аляски. (Всего по этому трубопроводу ежедневно подается 300 тыс. т нефти; далее в статье этот объем нефти будем просто называть «Аляска».) Находящиеся сейчас в эксплуатации 125 млн. домашних холодильников и камер низкотемпературной заморозки потребляют столько электроэнергии, сколько вырабатывают 30 электростанций мощностью 1000 МВт каждая. Если бы эти холодильники были столь же неэкономичными, как и те, что выпускались в 1975 г., то они потребляли бы электроэнергию, вырабатываемую 50 электростанциями той же мощности.

Размеры такой экономии не должны удивлять. Следует учесть, что здания являются крупнейшим потребителем энергии в США, на долю которых приходится 40% всей потребляемой в стране энергии (больше, чем потребляют все виды транспорта). Большая часть вырабатываемой в стране электроэнергии идет на обеспечение зданий: в общей сумме счетов за электроэнергию, которая равна 150 млрд. долл., 75% составляют счета на оплату электроэнергии, использованной в зданиях.

В общей сложности экономия, обеспечиваемая за счет применения энергосберегающих технологий у конечного потребителя, оказывается значительной. Если бы в США потреблялось сегодня столько же энергии на единицу валового национального продукта, сколько в 1973 г., то стране потребовалось бы сжигать горючего на 35% больше, чем его реально расходуется сейчас. Данные об эко-

номии нефти и газа (эти горючие взаимозаменяемы) говорят о том, что она эквивалентна примерно 2 млн. т нефти в день, т. е. половине суточного объема производства этого горючего всеми странами — членами ОПЕК. В денежном выражении эта экономия в целом по стране составляет 150 млрд. долл. в год, что близко к размеру дефицита федерального бюджета или внешнеторгового дефицита США.

Однако в результате резкого падения цен на нефть в последние годы экономное отношение к потреблению энергии перестало быть общегосударственной заботой. Это в высшей степени недальновидно. Во-первых, расходы на нефть составляют всего лишь 3% общих расходов на производство электроэнергии, самого дорогого вида энергии. Во-вторых, избыток нефти не будет вечным. США уже перешли через максимальный рубеж по добыче нефти еще в 1970 г., и, как ожидается, в начале следующего столетия начнет снижаться объем мировой добычи этого горючего, и прежде всего это будет наблюдаться в странах, которые являются наиболее стабильными и надежными экспортерами нефти в США: в Канаде резкий спад начнется примерно через 15 лет, а в Великобритании через 20 лет. К тому времени ОПЕК будет объединять меньшую и более сплоченную группу стран, роль которых в обеспечении нефтью других государств возрастет.

Независимо от того, произойдут эти изменения в ближайшие 10 или 30 лет, нет никакого сомнения в том, что эпохе дешевой нефти придет конец. Когда это наступит, экономика страны и обеспечение ее безопасности могут оказаться перед лицом серьезной угрозы. К счастью, у США имеется немало возможностей уже сейчас предпринять экономически эффективные шаги, чтобы предотвратить надвигающуюся катастрофу. В этой статье мы рассмотрим энергосберега-



**СВЕТОВОЙ ФОНАРЬ** в новом здании аэровокзала в аэропорте Олбани-Каунти в Колони (шт. Нью-Йорк) обеспечивает 40% освещенности и 20% теплотребности за счет поступления солнечного излучения. Микрокомпьютер, запрограммированный до 2000 г., регулирует положение жалюзи в зависимости от высоты солнцестояния и осуществляет постоянный контроль параметров воздуха внутри помещения и снаружи. Темная каменная стена, несущая световой фонарь, аккумулирует тепловую солнечную энергию.

Каменный пол создает дополнительную теплоаккумулирующую массу. При ярком дневном свете фотоэлектрические регуляторы уменьшают искусственное освещение, создаваемое экономичными люминесцентными и ртутными лампами. Здание аэровокзала построено по проекту Е. Пресскотта; консультационные услуги по вопросам энергообеспечения оказывала фирма W.S. Fleming & Associates, Inc.



**ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ**, как считалось, тесно связано с величиной валового национального продукта (ВВП), что собственно и было до введения эмбарго на нефть. Однако с тех пор потребление энергии стабилизировалось на уровне  $77,1 \cdot 10^{15}$  кДж в год, несмотря на то что ВВП вырос на 35%. Разница между прогнозируемым потреблением энергии в соответствие с ростом ВВП и фактическим составляет  $26,4 \cdot 10^{15}$  кДж. Экономия нефти и газа позволила снизить импорт нефти более чем на 2 млн. т в день, т. е. примерно на половину суточного производства всех стран — членов ОПЕК.

ющие технологии, меры и методы сооружения энергоэкономичных зданий, которые позволят еще больше сократить потребление энергии — по меньшей мере на 50 млрд. долл. в год. Реализация этих мер не терпит отлагательства: в предстоящие 50—100 лет, пока будут существовать здания, построенные в 80-е годы, стране придется расплачиваться за принимаемые сегодня решения в области строительства.

### Выгоды от сбережения энергии

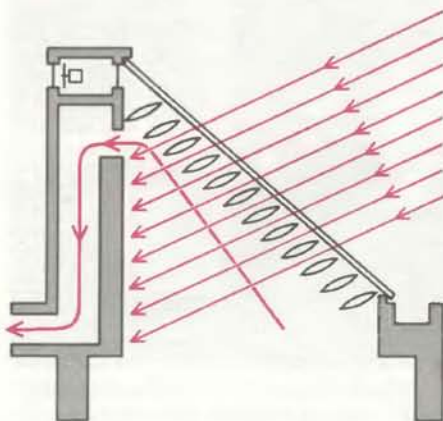
За счет экономии энергии американская экономика уже получает допол-

нительных энергоресурсов больше, чем от какого-либо другого источника. Но и здесь имеются еще немалые резервы. В 1985 г. затраты США на производство энергии достигли 440 млрд. долл., что в среднем составляет 5 тыс. долл. на каждую семью, или 11% валового национального продукта. Если бы в стране были приняты все экономически эффективные меры по бережному использованию энергетических ресурсов и если бы в США энергия расходовалась столь же экономно, как, скажем, в Японии, то потребление ее было бы вдвое меньше, а экономия составила бы 220 млрд. долл. в год. Ежегодные затраты на реализацию всех этих мер составили бы не более 50 млрд. долл.

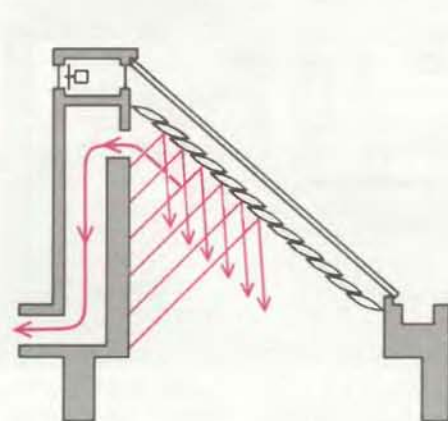
Кроме того, за счет снижения потребности в строительстве новых энергетических объектов можно было бы высвободить 10% инвестиционного капитала в промышленности США и направить эти средства на другие цели. Объем капитальных вложений в строительство новых электростанций уже резко сократился благодаря мерам по энергосбережению. В 1982 г. в США затраты коммунальных предприятий составили 50 млрд. долл., т. е. 14% общих капитальных вложений в развитие промышленных предприятий и на обновление оборудования. В 1985 г. затраты на эти цели уже снизились до 30 млрд. долл. Предполагается, что к 1991 г. они снизятся до 17 млрд. долл. Как считают специалисты, инвестиции в электроэнергетику в конце концов вновь возрастут до 45 млрд. долл., однако если рассматриваемые в данной статье меры по энергосбережению будут повсеместно приняты до 1990 г., то потребность в дополнительных мощностях снизится, и строительство новых электростанций можно отсрочить.

Многие специалисты по оценке состояния дел на энергетическом рынке — от предпринимателей нефтяных компаний до чиновников, осуществляющих политику в области энергетики в стране, — теперь признают важность вложения средств в мероприятия, направленные на повышение эффективности использования энергоресурсов конечными потребителями. Но так было не всегда. В 1975 г., например, коммунальные службы Калифорнии предсказывали, что темпы ежегодного прироста потребления электроэнергии составят 5%, хотя один из нас (Розенфельд) предупреждал, что рост расходов на

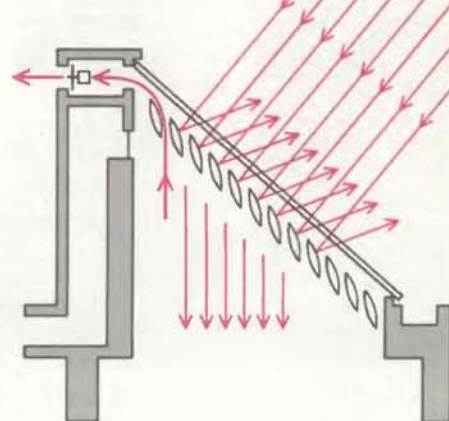
ЗИМОЙ ДНЕМ



ЗИМОЙ НОЧЬЮ



ЛЕТОМ ДНЕМ



**ЖАЛЮЗИ**, управляемые компьютером, в здании аэровокзала Олбани-Каунти регулируют поступление солнечного света через световой фонарь (см. рисунок на с. 35). В ясный зимний день солнечная энергия нагревает заднюю стенку. Нагретый воздух прогоняется через пространство за стеной и циркулирует по всему зданию. В ночное время

жалюзи, заполненные пенным теплоизолирующим материалом, закрываются, чтобы сохранять тепло. Летом жалюзи отражают прямые солнечные лучи, но пропускают рассеянный свет. Теплый воздух собирается под световым фонарем и выводится наружу вентиляционной системой.

энергообеспечение заставит потребителей позаботиться о более эффективном использовании энергии, и потому темпы роста ее потребления в действительности будут ниже, около 2%. В настоящее время разница между двумя этими предсказаниями выражается величиной в 15 000 МВт, что равно мощности 15 крупных электростанций.

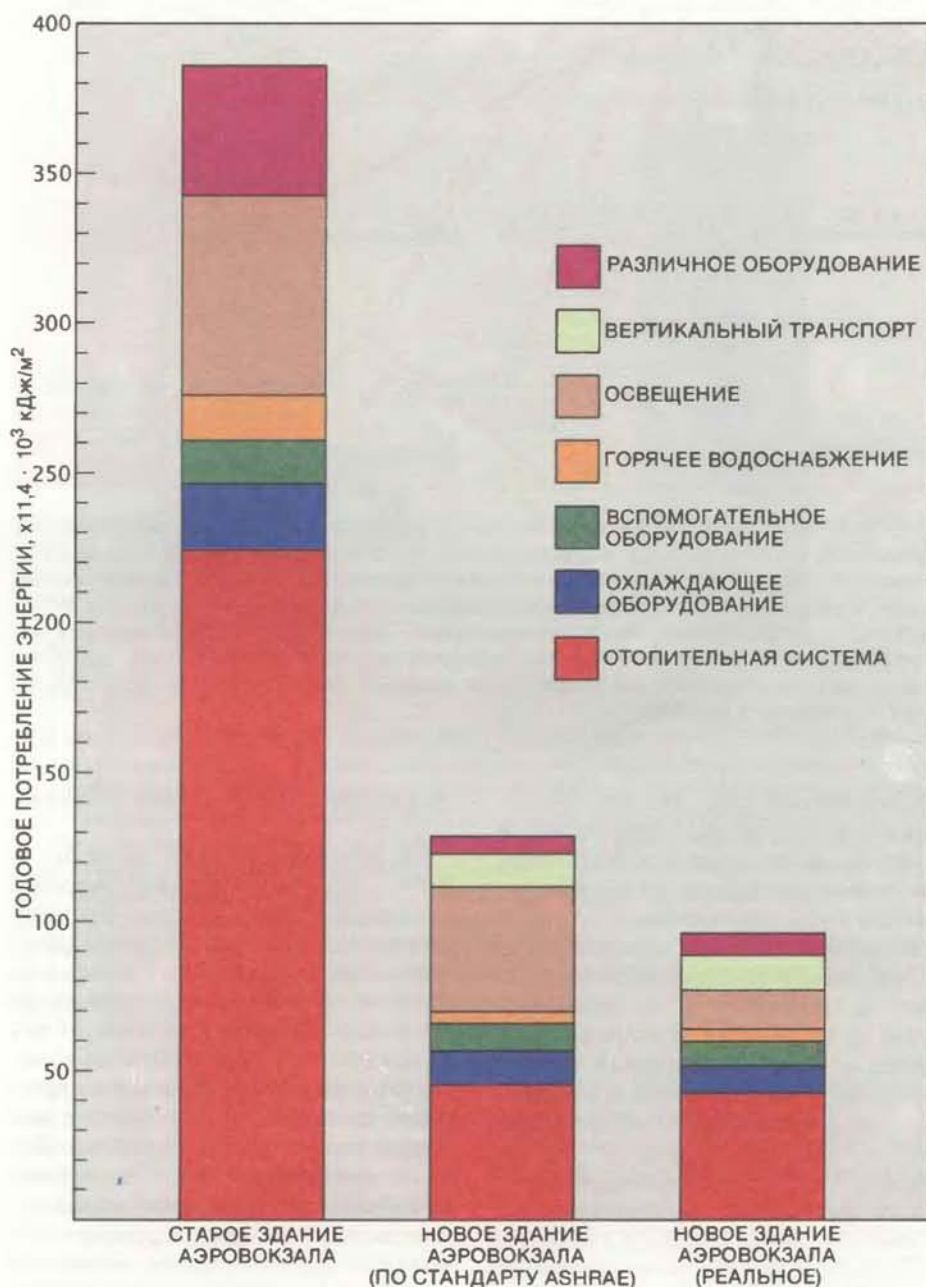
Как оказалось, прирост потребности действительно составил 2% и строить 15 электростанций не пришлось. Это свидетельствует о том, что рост цен заставил людей эффективнее использовать энергию, а также о том, что лица, ответственные за энергетическую политику в стране, которые содействовали введению новых стандартов на электроприборы и здания и рекомендовали воздержаться от сооружения новых электростанций, в своих предвидениях оказались правы. Под влиянием роста расходов, отсрочки планов строительства энергообъектов на долгий период, обременительных долговых обязательств и конкуренции с системами энергообеспечения, являющимися собственностью крупных потребителей, коммунальные службы Калифорнии отложили строительство новых электростанций для централизованного снабжения электроэнергией на неопределенный срок.

В настоящее время многие коммунальные предприятия признают, что им намного дешевле обходится создание условий для более экономного расхода энергии у своих потребителей, поскольку сэкономленную энергию они могут продать другим потребителям. Фирма Pacific Gas and Electric Co., например, сообщает: «Энергосберегающие меры позволят нам сэкономить 5—7 млрд. долл. на строительстве новых энергообъектов, которые в противном случае пришлось бы возводить в следующем десятилетии. Производство 1 кВт·ч электроэнергии на новой электростанции обходится в семь раз дороже по сравнению с затратами на экономию 1 кВт·ч по программе сбережения энергии, осуществляемой фирмой».

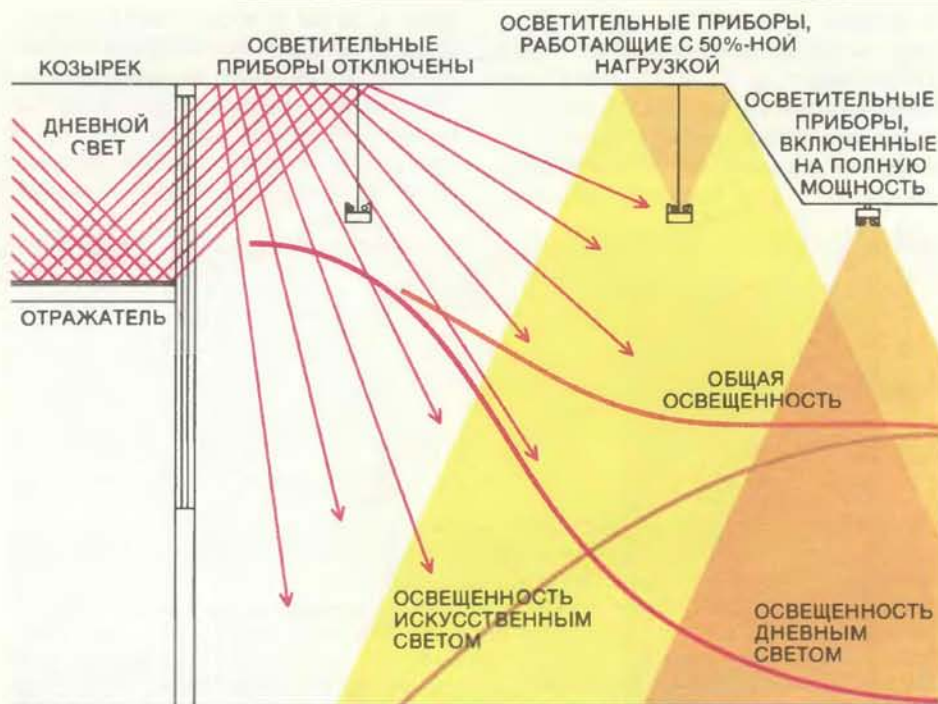
Если учесть, что экономия энергии — дело выгодное, то возникает вопрос: чем отдельные потребители и общество в целом должны руководствоваться при выборе способов ее сбережения? Потребитель обычно учитывает срок окупаемости, или время, которое потребуется на то, чтобы годовая экономия, полученная за счет сбережения энергии, окупилась начальные затраты на эти цели. Средства, вложенные в эффективные мероприятия по экономному использованию энергии, могут окупиться за год, а то

и меньше. Если же средства затрачиваются на малозффективные меры, то они могут не окупиться и за 10 лет. Однако общество нуждается в другом критерии эффективности вложений, который позволял бы рассматривать дополнительные расходы (как, ска-

жем, в случае приобретения более дорогого, но более экономичного холодильника) как плату за новый источник энергии, т. е. их можно было бы сравнить с расходами, связанными с поставкой дополнительной энергии. Этот критерий есть «стоимость эконо-



КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА DOE-2, используемая при проектировании энергоэкономичных зданий. Здесь приведены результаты сделанного с помощью этой программы анализа энергетических потребностей на год в старом и новом зданиях аэровокзала в аэропорте Олбани-Каунти. Моделирование выполнялось на основе учета местного климата и теплоинерционности здания, количества тепла, поступающего внутрь здания за счет солнечной радиации и внутренних источников (кроме отопительной системы), а также наличия систем кондиционирования воздуха и вентиляции. Старое здание вокзала отапливалось котельной, работающей на газе. В 1975 г. Американское общество инженеров по отоплению, холодоснабжению и кондиционированию воздуха (ASHRAE) ввело стандарты на материалы, осветительное, вентиляционное и другие виды оборудования. Соблюдение этих стандартов позволило сделать новое здание аэровокзала значительно более экономичным с точки зрения потребления энергии. Фактически окончательный проект здания по экономичности оказался даже лучше, чем ожидалось на основе новых стандартов. Программа DOE-2 была разработана по заказу министерства энергетики Лоуренсовской лаборатории в Беркли. Сейчас она широко используется в США для анализа эффективности потребления энергии в зданиях.



**ДНЕВНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ** при рациональном его использовании в коммерческих зданиях может снизить расходы на оплату счетов за электроэнергию на 15%. Навесы и экраны защищают окна от прямых солнечных лучей в жаркое летнее время и увеличивают естественную освещенность в рабочем помещении. Фотоэлементы, управляемые микропроцессорами, приглушают искусственные источники света в зависимости от интенсивности дневного освещения. Такие системы автоматического регулирования создают равномерное освещение во всех помещениях здания.

номленной энергии»; обычно он выражается в центах, отнесенных к 1 кВт·ч сэкономленной электроэнергии (или в долларах на одну сэкономленную тонну горючего).

Предположим, что новая модель экономичного холодильника потребляет на 1000 кВт·ч в год меньше, а стоит он на 100 долл. дороже по сравнению с менее эффективной старой моделью. Если учесть, что этот холодильник проработает 20 лет, то тогда дополнительные затраты (с учетом 7%-ной ежегодной коррекции стоимости денег вследствие инфляции) составят 10 долл. в год. Стоимость сэкономленной этим холодильником энергии, стало быть, равна 10 долл. на 1000 кВт·ч, т. е. 1 цент/кВт·ч. В США плата за 1 кВт·ч в среднем составляет 7,5 центов, так что чистая экономия равна 6,5 цента на 1 кВт·ч. Если имеющиеся в США 125 млн. холодильников заменить на новые модели, каждая из которых экономит 1000 кВт·ч в год, то общая экономия энергии составит 125 млрд. кВт·ч. При экономии 6,5 цента на 1 кВт·ч суммарная экономия в целом по стране будет около 8 млрд. долл. Такой анализ позволяет выявить реальные выгоды и затраты, связанные с переходом на энергосберегающие мероприятия, которые мы рассмотрим далее.

### Административные здания

До введения эмбарго на нефть в 1973 г. снабжение дешевой энергией порождало чудовищную расточительность в ее использовании в административных зданиях. Тысячи квадратных метров стекла в окнах с одинарным остеклением высотой от пола до потолка уносили тепло из помещений в зимнее время, а летом чрезмерно нагревали их, беспрепятственно пропуская солнечную энергию. Дополнительное тепло поступало вследствие интенсивного освещения помещений малоэффективными лампами и от другого электрооборудования. Неэффективное с точки зрения энергосбережения проектирование зданий означало, что 5—10% общей полезной площади нужно было отводить под установку кондиционеров воздуха.

В 1979 г. «возраст» среднего коммерческого здания составлял 20 лет; ежегодно оно потребляло более  $3 \cdot 10^6$  кДж первичной энергии (т. е. общего количества топлива, необходимого для производства тепловой и электрической энергии) в пересчете на 1 м<sup>2</sup> площади пола. При современных тарифах стоимость всех видов энергии, расходуемой в таком здании, составляла бы колоссальную сумму — 16 долл. в пересчете на каждый ква-

дратный метр площади. В некоторых зданиях положение было еще хуже; плата за потребляемую в них энергию доходила до 30 долл./м<sup>2</sup> в год. Такая расточительность означала, что за 50-летний срок существования здания общая сумма по счетам за энергию в два, а то и в три раза превышала расходы на его строительство. Введение эмбарго заставило строительные фирмы признать остроту сложившейся ситуации и при разработке проекта учитывать расходы на эксплуатацию здания на протяжении всего срока его существования. С момента введения эмбарго потребление энергии коммерческими зданиями сократилось почти на 0,5 «Аляски», и оно продолжает падать, хотя и не так быстро. При дальнейшем повышении эффективности источников освещения, установки систем автоматического регулирования, а также улучшении теплоизоляции расход энергии в размере  $1,1 \cdot 10^6$  кДж/м<sup>2</sup> станет стандартным.

Проектирование энергоэкономичных зданий оказало особо сильное влияние на потребность в тепловой энергии. Поскольку тепло в больших зданиях в основном поступает от внутренних источников — от находящихся в них людей, электроприборов, бытовой техники, осветительной арматуры и т. п., — создаются благоприятные возможности для регулирования расхода тепловой энергии за счет использования теплоемкости ограждающих конструкций здания, т. е. путем аккумуляции излишней тепловой энергии в дневное время и последующего ее использования ночью. Для обогрева самых неэкономичных зданий постройки начала 70-х годов требовалось около  $2 \cdot 10^6$  кДж/м<sup>2</sup> тепловой энергии. Более экономичные здания постройки 1979 г. потребляли примерно  $8,2 \cdot 10^5$  кДж/м<sup>2</sup>. Теплопотребность зданий, которые будут построены по проектам, предусматривающим еще большую экономичность, снизится почти до  $1 \cdot 10^5$  кДж/м<sup>2</sup>, или в денежном выражении до 6 центов на 1 м<sup>2</sup>.

Снижение расхода электроэнергии не столь заметно, поскольку на разработку и установку нового электрооборудования повышенной экономичности потребуется немало времени. Что касается расхода электроэнергии на кондиционирование воздуха, то он может быть снижен за счет применения простых систем аккумуляции тепла, которые позволяют снизить потребность в электроэнергии в часы внепиковой нагрузки на 40—50%. В 1979 г. годовое потребление электроэнергии составило примерно 300 кВт·ч на 1 м<sup>2</sup> в наиболее неэконо-

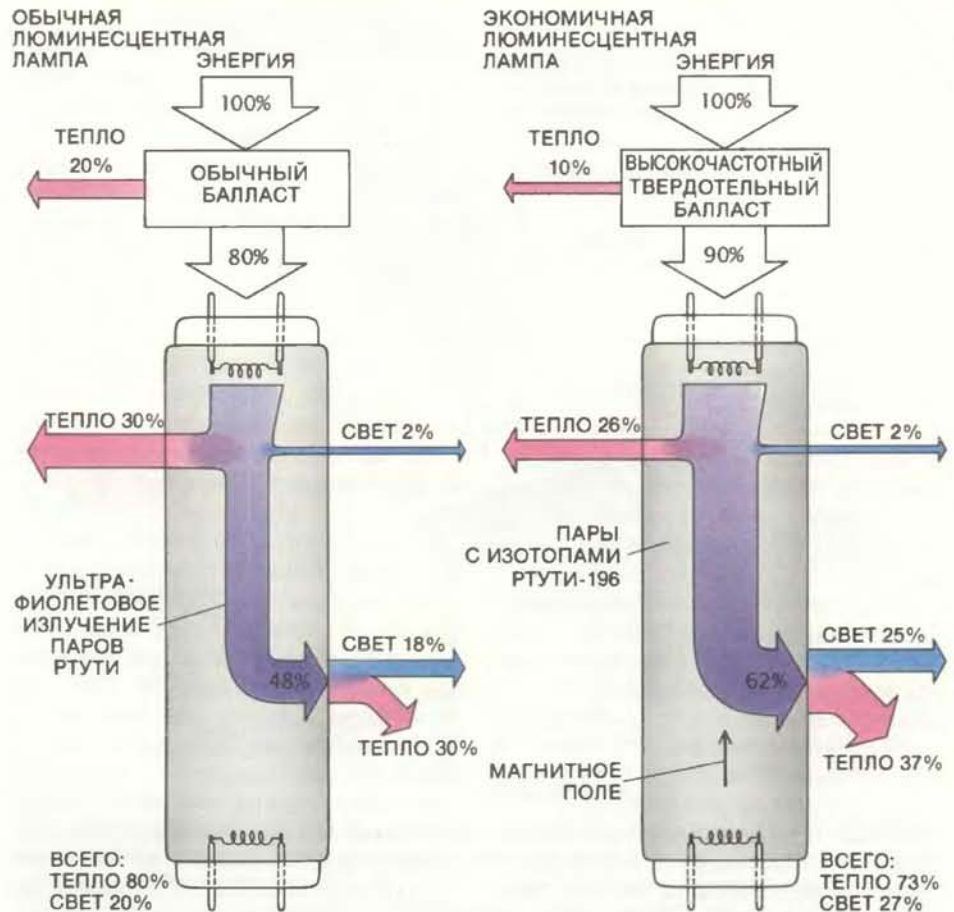


мичных административных зданиях и около 200 кВт·ч на 1 м<sup>2</sup> в обычных зданиях. Потребление электроэнергии в новых административных зданиях с повышенной экономичностью составляет 10—15 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Следует отметить, что затраты на строительство энергоэкономичных административных зданий не превышают расходы на сооружение обычного здания, не отличающегося повышенной экономичностью. Причина в том, что за счет снижения размеров кондиционеров и отказа от окон с одинарным остеклением и излишнего освещения можно больше средств пустить на дополнительную теплоизоляцию, уменьшение размеров окон, использование двойного остекления и установку устройств автоматического регулирования в системах отопления и освещения. Через 50 лет, когда все эти усовершенствования будут полностью внедрены в коммерческих зданиях (при той же общей полезной площади, что и сегодня), США смогут отказаться от эксплуатации 85 электростанций стоимостью 2—3 млрд. долл. каждая и снизить потребность в топливе в количестве, эквивалентном двум «Аляскам» — не так уж плохо при нулевых инвестициях непосредственно в повышение эффективности использования энергоресурсов.

### Здания с суперусиленной теплоизоляцией

С того времени когда было введено эмбарго на нефть, потребление топлива на отопление жилых зданий в экономически развитых странах снизилось примерно на 30%. Новые здания с «суперусиленной» теплоизоляцией обеспечили еще больший эффект: потребление топлива для их обогрева снижается более чем на 75%. Эти дома имеют особую теплоизоляцию стен и межэтажных перекрытий, плотно прилегающие друг к другу строительные элементы здания и часто оснащаются вентиляционными системами, обеспечивающими рекуперацию тепла, содержащегося в удаляемом воздухе. Стены и перекрытия характеризуются исключительно высоким показателем сопротивления теплопередаче R. (Значение R является мерой сопротивления прохождению тепла; стандартными являются теплоизолированная стена толщиной 10 см, значение R которой равно 11 и чердачное перекрытие, у которого R = 19.) В здании с суперусиленной теплоизоляцией используются стены и перекрытия, имеющие соответственно R = 30 и R = 60. Если дополнительно затратить от 2000 до 7000



ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ЛАМПЫ новой конструкции почти на 35% экономичнее. В обычной лампе балласт создает напряжение, необходимое для начала ионизации паров ртути, а затем стабилизирует ток разряда. Ионизированные атомы ртути излучают видимый свет и большое число ультрафиолетовых фотонов, которые диффундируют через пары и возбуждают молекулы фосфора в слое, покрывающем внутреннюю поверхность колбы. Возбужденные молекулы излучают видимый свет. На каждой из этих стадий энергетические потери можно снизить. Твердотельные балласты уменьшают тепловые потери как в самом балласте, так и в катод. Обогащение паров изотопами ртути-196 или создание магнитного поля, параллельного оси лампы, повышает интенсивность ультрафиолетового излучения, действующего на фосфорное покрытие.

долл. на усиление теплоизоляции здания, ежегодные расходы на его отопление в денежном выражении можно снизить на 20—300 долл. даже в таких холодных районах, как штат Миннесота в США и провинция Саскачеван в Канаде.

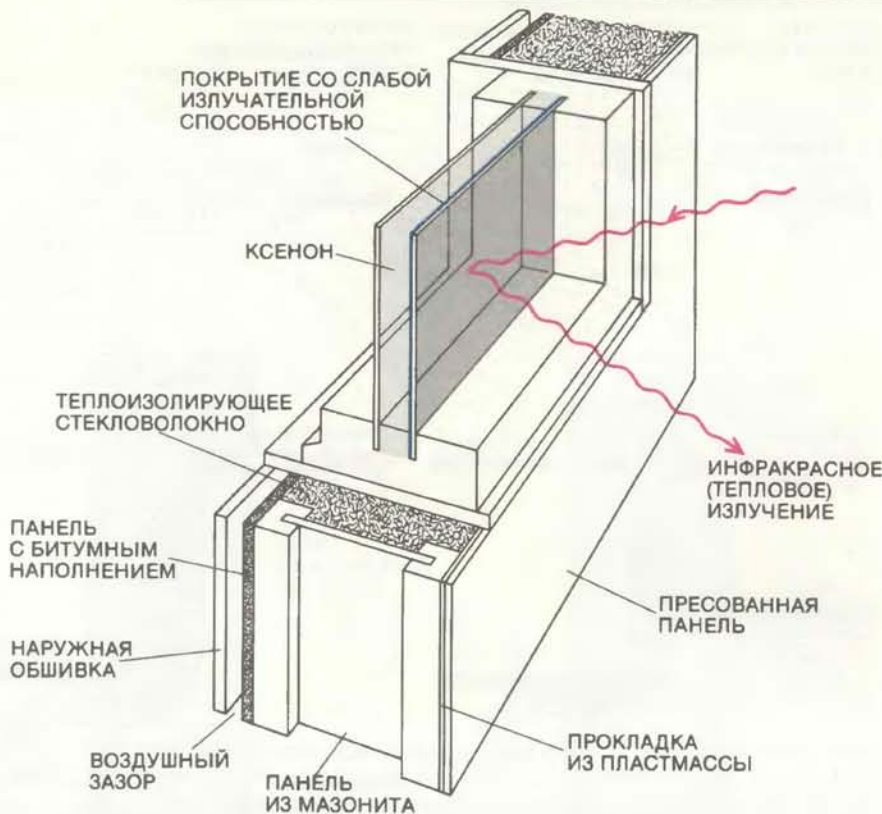
Крайне низкие денежные расходы на отопление зданий с суперусиленной теплоизоляцией объясняются тем, что в них сохраняется «свободное» тепло, выделяемое людьми, осветительными и другими бытовыми электроприборами, а также тепловая солнечная энергия, поступающая через окна. Даже в обычных зданиях за счет этих источников температура внутри помещения всегда на 2,8 °C выше, чем снаружи. Следовательно, когда терморегулятор в обычном здании установлен на 21 °C, отопительная система не будет работать до тех пор, пока наружная температура не опустится ниже 18 °C, «температурного баланса» здания. Разница в 2,8°

называется свободным превышением температуры в здании.

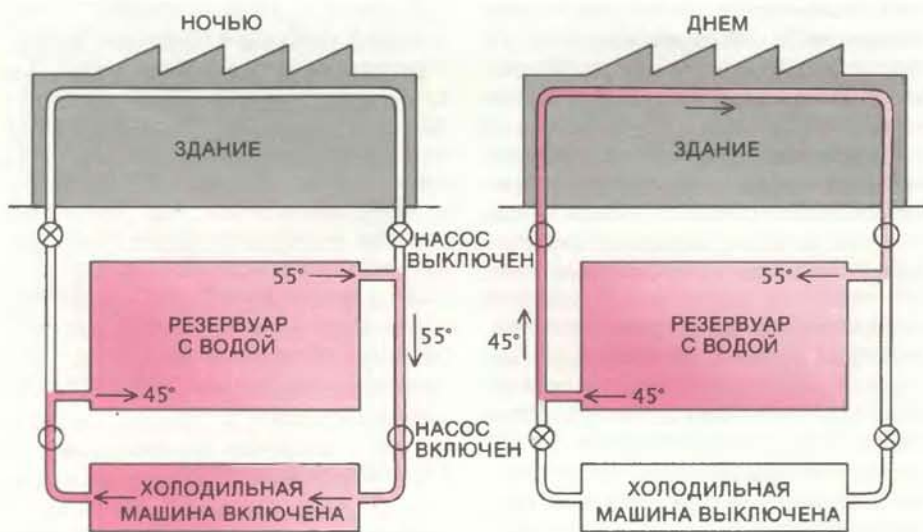
В здании с суперусиленной теплоизоляцией свободное превышение температуры может достигать 16,5 °C, т. е., если терморегулятор установлен на 21 °C, отопительная система не включится, пока температура снаружи не понизится до 4,5°; более того, при температуре 4,5 °C и ниже топлива на обогрев здания будет потребоваться меньше. В типичной для США климатической зоне, например в Нью-Йорке, двойная по сравнению с обычной теплоизоляция здания обеспечивает снижение потребления топлива на две трети в год.

### Освещение и окна

В прошлом году на освещение всех домов в США было израсходовано 500 млрд. кВт·ч, или 20% всей вырабатываемой в стране электроэнергии. Такое количество энергии вырабаты-



СТЕНЫ И ОКНА с суперусиленной теплоизоляцией могут снизить потребление тепловой энергии более чем на 75% по сравнению с той, которая использовалась в жилых зданиях, построенных до 1973 г. В стенах с обычной теплоизоляцией тепло выходит наружу через деревянные стойки между внутренней и наружной панелями. В стенах шведской конструкции этот недостаток устраняется использованием прокладок из мазонита между двумя основными брусками. Стены с суперусиленной теплоизоляцией с внутренней стороны герметизируются с помощью пластмассовых мембран в целях предотвращения конденсирования влаги внутри помещения на холодной стене. Тепловые потери через окна с двойным остеклением можно снизить наполовину, если одну из внутренних поверхностей стекла покрыть веществом со слабой излучающей способностью, например оксидом олова, а пространство между стеклами заполнить инертным газом — ксеноном или аргоном. Само по себе слабоизлучающее покрытие уже обеспечивает экономию энергии при затратах в размере 4 долл. на экономию каждого миллиона килоджоулей при сжигании природного газа; ожидается, что эти затраты снизятся до 2 долл. Когда будет налажено массовое производство окон со слабой излучательной способностью, их повсеместное применение в строительстве обеспечит экономию энергии в целом по стране в количестве, эквивалентном 1/6 «Аляски».



РЕЗЕРВУАР с холодной водой, установленный в системе кондиционирования воздуха, позволяет снизить потребление энергии в часы максимальной нагрузки. Ночью холодильная машина остужает воду в резервуаре; днем она отключается и охлажденная за ночь вода циркулирует по всему зданию.

вают примерно 100 электростанций средней мощности. Энергия сорока из них потребляется лампами накаливания, сорока других — люминесцентными и двадцати остальных — высокоэффективными газоразрядными лампами. Технические усовершенствования люминесцентных ламп и их арматуры позволяют снизить потребление ими энергии до количества, вырабатываемого лишь 20 станциями, а малогабаритные люминесцентные лампы смогут заменить столько ламп накаливания, сколько питаются от других 20 электростанций; таким образом общее количество сэкономленной энергии будет эквивалентно мощности 40 электростанций. Кроме того, поскольку осветительные лампы нового типа излучают меньше тепловой энергии, то дополнительная экономия будет обеспечена за счет снижения потребности в кондиционировании воздуха.

«Твердотельные балласты», без которых не могут работать лампы на высоких частотах, представляют собой главный резерв экономии энергии. В люминесцентных лампах балласт создает высокое напряжение, необходимое для начала процесса ионизации паров ртути в трубке и затем стабилизирует ток для нормальной работы лампы. Более совершенные балласты нового типа рассеивают меньше энергии и, кроме того, позволяют регулировать световую отдачу лампы в широком диапазоне, что делает ее более экономичной при установке светорегуляторов, с помощью которых можно снижать интенсивность свечения при наличии естественного света или на период ухода с рабочего места. Все эти достоинства позволят снизить потребление энергии на 25—70%, или в стоимостном выражении примерно на два цента на каждый киловатт-час.

К 1995 г. люминесцентные лампы с высокочастотным балластом должны составлять 50% общего рынка осветительных приборов. Следует отметить, что новые типы балластов были разработаны совместными усилиями Лоуренсовской лаборатории в Беркли в соответствии с программой исследовательских работ по совершенствованию осветительных приборов под руководством С. Бермана и небольших частных фирм. Лишь только после успешных результатов эксплуатации первых образцов такие крупные компании, как Norelco и General Electric Co., освоили производство аналогичных приборов.

Новые малогабаритные люминесцентные лампы также уже начинают активно вытеснять обычные лампы накаливания. Эти приборы потребляют в три, а то и в четыре раза меньше

энергии, чем лампы накаливания с той же световой отдачей, а срок их службы в 10 раз больше. Например, люминесцентная лампа типа SL-18 мощностью 18 Вт производства фирмы Phillips стоит 20 долл. и потребляет энергии на 10 долл. в течение 7500 ч работы. В то же время обычная лампа накаливания мощностью 75 Вт, имеющая ту же световую отдачу, стоит 50 центов, но срок ее службы не превышает 750 ч, в течение которого она потребляет энергии на 4 долл. Таким образом при использовании лампы SL-18 в течение 7500 ч общая сумма расходов будет равна 30 долл., а при использовании десяти ламп накаливания в течение того же времени — 45 долл. Кроме того, применение одной лампы SL-18 исключает необходимость в девяти лампах накаливания, для производства которых потребовалась бы электроэнергия, получаемая при сжигании около 200 кг угля на электростанции.

Окна — еще один резерв экономии энергии. В настоящее время через них в американских зданиях уходит наружу около трети тепловой энергии, что эквивалентно 0,5 «Аляски». Для того чтобы снизить эти потери необходимо увеличить показатель R окон. Обычно окно с одинарным остеклением имеет  $R = 1$ , в то время как для стены с обычной тепловой изоляцией

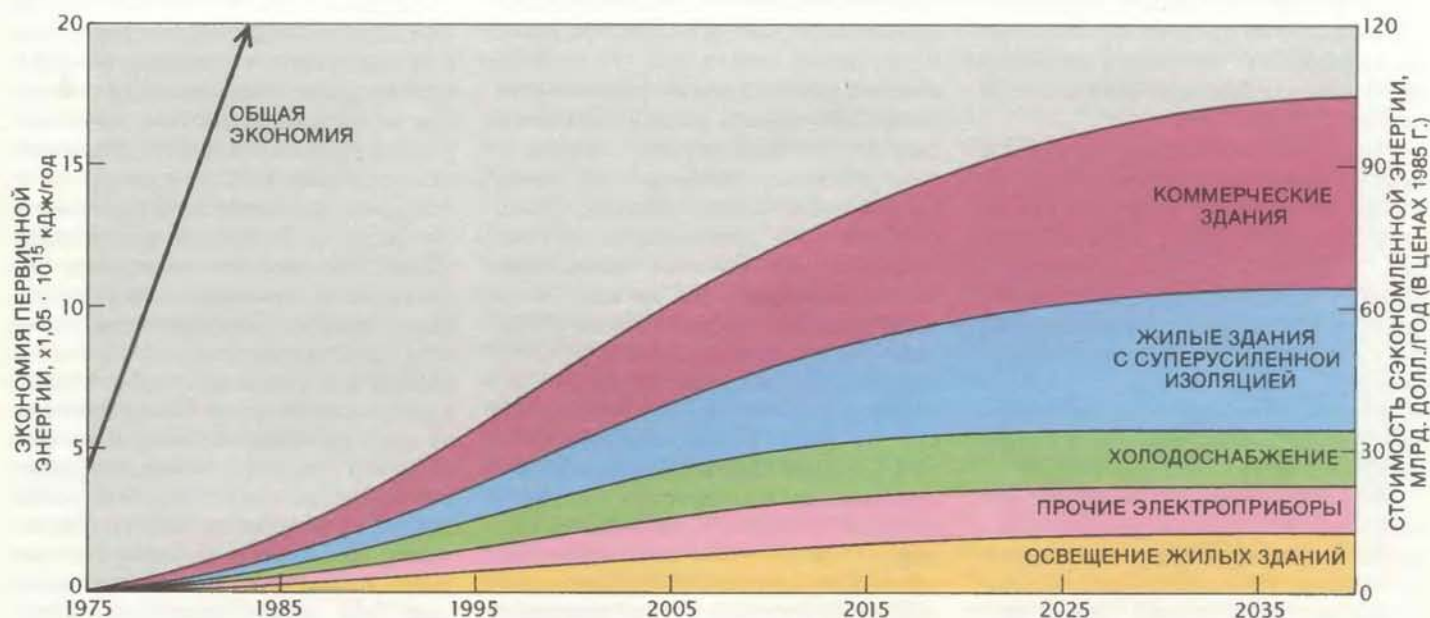
$R = 11$  и больше. С помощью некоторых мер значение показателя R окон можно увеличить с 1 до 11. Половину тепла, уходящего через окно с одинарным остеклением можно сохранить, если окно сделать с двумя стеклами. Уменьшение тепловых потерь в этом случае достигается благодаря наличию воздушной прослойки между стеклами. Показатель R у таких окон равен 2. Его можно увеличить до 3, если внутреннюю поверхность одного стекла покрыть тонкой пленкой прозрачного материала с низкой излучательной способностью, например оксидом олова, который отражает тепловое излучение обратно в помещение.

Показатель R окон можно поднять и до 6, если пространство между стеклами заполнить ксеноном или аргоном, инертными газами, теплопроводность которых хуже, чем у воздуха. Того же значения R можно достичь, если пространство между стеклами заполнить так называемым аэрогелем — материалом, отличающимся высокими теплоизоляционными свойствами. (Этот материал используется физиками — специалистами в области элементарных частиц — в качестве детектора радиации.) Аэрогель представляет собой пористую структуру из мельчайших частиц стекла, прозрачную для видимо-

го света и рассеивающую инфракрасные лучи. Если воздух в аэрогеле заменить на ксенон или создать в его порах слабый вакуум, то теплоизоляция заполненного таким аэрогелем окна становится такой же как и стены.

## Бытовые электроприборы

Примерно треть электроэнергии, потребляемой в зданиях, расходуется бытовыми электроприборами: холодильниками, камерами низкотемпературной заморозки, водонагревателями и кондиционерами. В энергетическом балансе страны расход потребляемой ими энергии составляет 12%, или 2,3 «Аляски», а в денежном выражении это равно 50 млрд. долл. в год. Холодильники, которые фактически имеются в каждом доме и работают 24 ч в сутки, представляют собой один из объектов для изучения возможности экономии электроэнергии. В 1977 г. фирма Arthur D. Little Inc. проведя анализ различных вариантов улучшения теплоизоляции холодильников, усовершенствования конструкции их компрессоров и уплотняющих прокладок, пришла к выводу, что при увеличении розничной цены на холодильник на 100 долл. можно сделать более экономичную



ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ за счет пяти факторов из шести, рассмотренных в статье, позволяет сегодня сберечь лишь несколько миллиардов долларов в год, но через 50—100 лет, когда промышленность освоит массовый выпуск энергосберегающей продукции, ее повсеместное использование обеспечит экономию более 100 млрд. долл. в год. Данные о размерах экономии, приведенные на рисунке, относятся к коммерческим зданиям (включая большую часть экономии за счет использования более экономичных систем освещения), жилым зданиям с суперусиленной тепло-

изоляцией (включая окна), холодильной технике, прочим бытовым электроприборам и освещению в жилых домах. Здесь не учтен фактор аккумулирования тепла, поскольку он снижает только пиковую нагрузку, а не дает экономии энергии. Линия общей экономии учитывает суммарные энергетические сбережения в целом по США (изменение потребления см. на верхнем рисунке на с. 36). Расчеты выполнены на основе данных за 1985 г. с учетом общего числа квартиросъемщиков и всей нежилой площади в США.

модель, которая будет потреблять в три раза меньше энергии, чем в среднем потребляет холодильник выпуска 1977 г.

Спустя 10 лет эти прогнозы реализовались в утверждении новых государственных стандартов, первый из которых был введен в шт. Калифорния. В 1977 г. холодильник с автоматическим размораживанием с емкостью холодильной камеры от 480 до 540 дм<sup>3</sup> потреблял 1900 кВт·ч электроэнергии в год. В соответствии с принятым в Калифорнии стандартом этот показатель был снижен в 1979 г. до 1500 кВт·ч, а в 1987 г. до 1000 кВт·ч; к 1993 г. потребление электроэнергии одним холодильником снизится до 700 кВт·ч в год. За счет усовершенствования конструкции розничная цена холодильников возросла менее чем на 150 долл., а время окупаемости разницы в ценах между моделью, отвечающей требованиям стандарта 1993 г., и моделью 1977 г. составляет всего лишь 1 год. Если в США все 125 млн. холодильников и камер низкотемпературной заморозки заменить на более экономичные новые модели, общая экономия будет эквивалентна энергии, вырабатываемой 30 электростанциями. Другими словами, капитальные затраты на освоение производства новых холодильников в размере 12,5 млрд. долл. исключают необходимость в затратах 60 млрд. долл. на строительство 30 электростанций, расходах, связанных с их эксплуатацией, а также предохранят атмосферу от дополнительного выброса загрязняющих ее веществ.

Повышение эффективности работы других бытовых электроприборов также может дать заметную экономию энергии. В 1975 г. конгресс обязал Управление по исследованиям в области энергетики разработать обязательные стандарты, которые свели бы к минимуму энергопотребление 13 основных видов бытовых электроприборов, но администрация Рейгана выступила против этой концепции и отложила ее рассмотрение.

Неудовлетворенные этой отсрочкой, некоторые штаты разработали и ввели в действие свои собственные стандарты. Недостаточная их унификация доставила немало хлопот производителям бытовых электроприборов, которые в 1986 г. вместе с заинтересованными общественными организациями разработали новые стандарты, впоследствии принятые конгрессом и ставшие обязательными для всех штатов. Президент Рейган наложил на этот законопроект косвенное вето, но в прошлом году законопроект был вновь рассмотрен

конгрессом и на правах закона вступил в силу.

По оценкам его составителей все проданные до 2000 г. бытовые электроприборы, отвечающие новым стандартам, снизят нагрузку в часы пик в масштабах всей страны на 22 ГВт, а экономия в денежном выражении составит 25 млрд. долл.

### *Снижение потребления в часы пиковой нагрузки*

Повышение эффективности использования энергии ее конечным потребителем — один из путей экономии энергоресурсов и как следствие исключения необходимости в строительстве новых электростанций. Другой способ заключается в разработке коммунальными службами более совершенной системы взимания платы за пользование энергией, которая содействовала бы снижению пика потребления в определенное время суток. Максимальное потребление энергии в вечернее время летом нередко в 2—3 раза выше, чем ночью. Из 500 ГВт электроэнергии, потребляемой в часы пик, одна треть расходуется на кондиционирование воздуха.

Здравый смысл и экономические соображения подсказывают, что коммунальные службы должны взимать максимальную плату за электроэнергию, используемую в дневное и вечернее время, и делать скидку при ее использовании ночью, как это практикуется в других отраслях, скажем в телевидении, связи и гражданской авиации. Но до недавних пор электрические счетчики, учитывающие время потребления электроэнергии, были относительно дорогими, и поэтому коммунальные службы распространяли времязависимую систему оплаты в основном на крупных потребителей — здания и промышленные предприятия, расход электроэнергии в которых составлял 500 кВт и более, несмотря на то что на долю жилых домов и небольших коммерческих зданий приходилось две трети мощности пиковой нагрузки. В течение следующих 10—20 лет с появлением дешевых счетчиков, оснащенных встроенными микропроцессорами, коммунальные службы распространят времязависимые расценки и на эту группу потребителей электроэнергии.

Времязависимые расценки стимулируют потребителей аккумулировать электроэнергию в часы внепиковой нагрузки. В 1977 г., например, администрация Станфордского университета признавала, что потребность в охлаждении помещений в дневное

время возрастала и что для этого предусматривался дополнительный расход 3 МВт электроэнергии в часы пиковой нагрузки. Затраты на оплату этого дополнительного расхода энергии на кондиционирование воздуха должны были составить 1,5 млн. долл. в год. Чтобы избежать этих расходов, университет, затратив всего лишь 1 млн. долл., установил резервуар для холодной воды вместимостью 15 млн. л и подсоединил к нему имеющуюся систему кондиционирования. В часы внепиковой нагрузки воду в резервуаре охлаждали, а затем в часы пик ее использовали для охлаждения помещений. За счет внедрения этой системы университет снизил потребление электроэнергии в самое напряженное время на 3,5 МВт, что обеспечило ему экономию в размере 200 тыс. долл. в год.

### *Сдерживающие факторы*

Ясно, что имеется немало возможностей для повышения эффективности энергоиспользования в зданиях. Однако требуемые для этого усовершенствования внедряются не так быстро, как хотелось бы. Причины следует искать в недостатках действующей системы стимулов. Главная из них заключается в том, что поставщики и потребители энергии при принятии решений ориентируются на разные сроки окупаемости вложенных ими средств. Капитальные вложения в развитие системы энергоснабжения производят коммунальные службы и другие крупные компании, ежегодно расходующие миллиарды долларов на грандиозные проекты, в расчете на то, что эти затраты окупятся через 10—20 лет. В противоположность этому большинство владельцев домов не заинтересованы в повышении эффективности энергопотребления, если срок окупаемости затрачиваемых на эти цели средств превышает 2,5 года, несмотря на то что прибыль на инвестированный капитал составляет 40% в год и к тому же не облагается налогом. Крупные организации, такие как правительственные учреждения, университеты и корпорации редко соглашаются на инвестиции, если срок окупаемости превышает три года; их также не соблазняет 30%-ная прибыль с суммы, вложенной ими самими или налогоплательщиками.

Цены, действующие в системе коммунального обслуживания, также не стимулируют повышение эффективности энергоиспользования. Компании, поставляющие электроэнергию, действуют в рамках установленных

правил и могут компенсировать свои издержки (получая дополнительно 10—15% прибыли на инвестированный капитал) только путем взимания платы за поставляемую ими энергию — примерно 7 центов за 1 кВт·ч. В то же время издержки, связанные с замещением выбытия основного капитала в расчете на 1 кВт·ч, значительно выше, скажем 10 центов, в зависимости от того, какие новые источники электроэнергии введены в строй. Потребители, следовательно, могут отказываться от мер, направленных на повышение экономии энергии, поскольку при действующих ценах они не видят в этом для себя никакой выгоды, хотя на самом деле эти меры могли бы оказаться выгодными и для них, если учесть, что поставляющая им энергию компания может повысить расценки, когда ее заставят построить новую электростанцию.

### Пути преодоления препятствий

К счастью, для того чтобы противостоять всем сдерживающим факторам в решении рассматриваемой проблемы, можно принять специальные меры. Одна из наиболее перспективных мер заключается в том, чтобы коммунальным службам предоставить право самим проводить всю работу по энергосбережению. Они могут прибегнуть к различным стимулирующим акциям, например выдавать ссуды под невысокий процент, делать различные скидки, предоставлять безвозмездные субсидии с тем, чтобы поощрять стремление своих потребителей строить энергосберегающие здания и предпринимать различные меры по экономии энергии. В Калифорнии, например, компании, предоставляющие коммунальные услуги, выплачивают коммерческим потребителям по 300 долл. за каждый сэкономленный киловатт электроэнергии в часы пиковой нагрузки. В северо-западных штатах коммунальные службы выплачивают компаниям, осуществляющим строительство жилых зданий, от 3200 до 3800 долл. за досрочное соблюдение новых стандартов на строительство, которые должны стать обязательными только с 1990 г. В Далласе в прошлом году введенная коммунальными службами программа по предоставлению скидок побудила предпринимателей установить в 40% новых крупных служебных зданий теплосберегающие системы.

Некоторые компании, предоставляющие коммунальные услуги, также

перешли на новую прогрессивную систему взимания платы за пользование энергоресурсами. До того как нефть в США стали поставлять страны — члены ОПЕК, действовала система, при которой оплата была пропорциональной количеству потребленной энергии — чем больше потребитель расходовал энергии, тем дешевле ему обходился 1 кВт·ч. В Калифорнии и в других штатах теперь введена обратная система — первые несколько сотен киловатт-часов, израсходованные в каждом месяце, оплачиваются по низким расценкам, а затем по мере роста потребления расценки увеличиваются. По самым высоким расценкам потребители должны оплачивать энергию, вырабатываемую новыми электростанциями, которые коммунальные предприятия вынуждены строить в связи с ростом потребности в электроэнергии. При такой системе расценок потребитель всегда задумается, что ему выгоднее — экономить энергию или безудержно ее расходовать. Дальнейшее усовершенствование этой системы могло бы предусматривать обязательную покупку облигаций коммунальных предприятий при строительстве новых зданий; это компенсировало бы затраты, связанные с производством и поставкой дополнительной энергии, требующейся для обеспечения этого здания, и создавало бы у строителей и потребителей более полное представление об издержках, связанных с удовлетворением потребности в электроэнергии.

Федеральное правительство своей политикой также не способствует экономному использованию энергии, финансируя исследования и разработки в области производства энергии (в частности, атомными электростанциями) в значительно больших размерах, чем исследования и разработки в области ее эффективного использования. Правительство должно либо отказаться от мер, поощряющих увеличение производства энергии, либо создать условия, при которых ее сбережение стимулировалось бы не меньше.

Новые разработки, связанные с повышением эффективности использования энергоресурсов их конечным потребителем, уже внесли ощутимый вклад в снижение уровня энергопотребления в масштабах всей страны. Например, по нашим оценкам выделение правительством средств на разработку высокочастотных балластов для люминесцентных ламп ускорило освоение их серийного производства на 5 лет. За этот срок экономия электроэнергии в денежном выражении в целом по стране за счет использова-

ния новых осветительных приборов составит 25 млрд. долл. Расходы же на осуществление этой правительственной программы не превысили 3 млн. долл., причем половину из них взяли на себя промышленные компании. Отсюда видно, что каждый доллар, вложенный в производство этого энергосберегающего оборудования, приносит 8 тыс. долл. прибыли. Кроме того, результаты исследования помогли американской промышленности удержать прочные позиции на международном рынке в конкуренции с европейскими странами и с Японией, где независимо друг от друга были разработаны свои высокочастотные балласты. И несмотря на это, каждый год правительственная администрация настаивает на 50%-ном сокращении средств на исследования в области повышения эффективности использования энергии. При этих условиях потребуются несколько десятилетий для того, чтобы насытить рынок новой энергосберегающей техникой. Здравый смысл подсказывает, что необходимо увеличить финансирование исследований в рассматриваемой области.

Наконец, положительный пример Калифорнии показывает, что необходимо повсеместно ввести обоснованные стандарты на бытовые электроприборы и строительные объекты. Это способствовало бы прекращению производства неэкономичной бытовой техники, а затраты, связанные с переходом на выпуск новых видов продукции, окупились бы за 5 лет.

В США имеются все возможности для того, чтобы снизить энергозатраты на сумму 220 млрд. долл. в дополнение к тем 150 млрд. долл., которые страна уже ежегодно экономит в результате принятых мер по энергосбережению. Потенциальная экономия за счет строительства энергосберегающих зданий может составить 50—100 млрд. долл. в год. Для достижения этого необходимо устранить те барьеры, о которых шла речь, что в свою очередь потребует совместных усилий коммунальных служб и правительственных органов. Отказ от этого обойдется недешево: деньги будут и дальше выбрасываться на ветер, имеющиеся резервы использования дешевой энергии по-прежнему будут оставаться не задействованными, США будут уступать свои позиции в конкуренции с европейскими странами и с Японией, страна сохранит свою зависимость от иностранных источников, а окружающая среда будет все больше загрязняться. Государство должно безотлагательно воспользоваться имеющимися у нее возможностями.

# Световые переключатели генов у растений

*Каким образом солнечный свет влияет на развивающийся проросток? Обнаружены участки ДНК, которые в ответ на световую энергию приводят в действие гены, необходимые для развития растения*

ФИЛИС Б. МОЗЕС, НАМ ХАЙ ЧУА

**З**ЕЛЕНое растение — это своего рода машина, работающая на энергии солнца. Свет служит движущей силой фотосинтеза — процесса, в результате которого растение превращает углекислый газ и воду в сахара, крахмал и кислород. Таким образом растение улавливает энергию солнца и превращает ее в вещества, которые прямо или косвенно обеспечивают существование многих других форм жизни на Земле.

Однако ошибочно считать, что свет для растения — это всего лишь горячее. Еще до того, как растущий побег разрывает семенную оболочку, наличие или отсутствие света определяет жизнь растения. От света зависят высота растения, количество листьев, время цветения, плодоношения и, наконец, старения. Свет является не просто источником энергии для фотосинтеза — он влияет на саму форму растения посредством процесса, который носит название фотоморфогенез.

Для того чтобы управлять развитием растения, свет должен как-то влиять на программу этого развития, т. е. на гены. В то время как биохимические реакции, составляющие процесс фотосинтеза, детально описаны, остается неясным, каким образом свет влияет на экспрессию генов растения. Шесть лет назад мы взялись выяснить биохимические основы фотоморфогенеза, начав непосредственно с генов, реагирующих на свет. Мы хотели точно идентифицировать последовательности ДНК, которые регулируются светом. С помощью методов генетической инженерии нам удалось обнаружить такие последовательности; их назвали светорегулируемыми элементами, или СРЭ.

Наша группа в лаборатории молекулярной биологии растений в Рокфеллеровском университете — лишь один из целого ряда научно-исследовательских коллективов, изучающих регуляцию, осуществляемую СРЭ. В

своей работе мы использовали подходы и информацию, собранную за последнее десятилетие множеством других ученых. Нам «достались в наследство» ферменты, разрезающие и сшивающие ДНК, векторы для переноса генов в растительные клетки и гормоны, способствующие регенерации целого растения из отдельных клеток.

С помощью всех этих средств и методов мы сконструировали гены, включавшие в себя ДНК из бактерий и из растений, а также соединили элементы генетического материала гороха, петунии и табака. Наши эксперименты — типичный пример современной работы по молекулярной биологии растений. Эти исследования особенно интересны сложностью и изяществом биохимических манипуляций, но мы надеемся, что сведения, полученные в нашей лаборатории, в конечном счете принесут также и практическую пользу, воплотившись в более здоровых, более продуктивных и более питательных растениях.

**Ф**ОТОМОРФОГЕНЕЗ условно можно разбить на три стадии: рецепция света с помощью пигментов, передача светового сигнала от пигмента к гену и индукция развития путем генетической регуляции (см. иллюстрацию на с. 46). Из этих стадий передача сигнала оказалась наиболее недоступной для изучения. Мало что известно о том, какую форму принимает световой сигнал внутри растения для того, чтобы напрямую или через какие-то молекулы-посредники воздействовать на генетический регуляторный аппарат.

Более изучена стадия рецепции света. При фотосинтезе энергию света улавливает зеленый пигмент хлорофилл; при фотоморфогенезе фоторецептором является сине-зеленый пигмент фитохром. Фитохром содержится в растениях в намного меньшем количестве, чем хлорофилл. Он

существует в двух взаимопревращаемых формах, одна из которых поглощает красный свет с длинами волн около 660 нм, а другая — «дальний» красный свет с длинами волн около 730 нм. Эти формы обозначают Pr и Pfr соответственно.

Фитохром является своего рода переключателем. Когда одна форма пигмента поглощает свет подходящей длины волны, она переходит в другую: дальний красный свет превращает Pfr в Pr, а красный — Pr в Pfr. В форме Pfr фитохром инициирует цепь реакций, завершающихся фотоморфогенезом. Поэтому свет в красной области спектра ответствен за индукцию экспрессии некоторых генов, управляющих развитием.

Гены проявляют себя через белки, которые они кодируют. В результате индукции происходит транскрипция ДНК, составляющей ген: синтезируется молекула односпиральной РНК, последовательность нуклеотидов которой является копией последовательности одной из цепей этой двуспиральной ДНК. Образовавшаяся мРНК транслируется: по ней как по матрице, синтезируется соответствующий белок. Этот белок может быть частью какой-либо структуры или выполнять функцию, способствующую процессам формообразования растения.

Многие гены регулируются участками ДНК, расположенными непосредственно рядом с этими генами. Такие регуляторные области управляют экспрессией гена, модулируя его транскрипцию. Именно эти области были объектом наших исследований.

**РАСТЕНИЕ ТАБАКА** широко используется для изучения световой регуляции генов. Клетки табака поддаются воздействию методами генной инженерии. Из культур генетически модифицированных клеток могут регенерировать цельные растения (см. иллюстрацию на с. 48).



Ближайшей задачей было узнать, какие последовательности ДНК, соседствующие с генами, регулируемые светом, нужны для управления активностью этих генов в процессе развития. В итоге мы надеялись выяснить ход событий, в результате которых свет, действующий через такие фоторецепторы, как фитохром, в сочетании, вероятно, с рядом различных белков, дает сигнал регуляторным участкам ДНК.

**Д**ЛЯ ТОГО чтобы идентифицировать реагирующие на свет регуляторные последовательности, сначала нужно было установить локализацию реагирующих на свет генов. Известно, что свет влияет на множество генов растений и многие из них регулируются с помощью фитохрома. Часто количество мРНК, транскрибируемой с таких генов, меняется непосредственно в ответ на действие света. В некоторых случаях красный свет уменьшает уровень экспрессии гена. Например, экспрессия гена самого фитохрома угнетается красным светом; таким образом, пигмент модулирует активность своего собственного гена по типу отрицательной обратной связи.

Напротив, гены важного фермента фотосинтеза рибулозо-1,5-бисфосфат—карбоксилазы (сокращенно РУБИСКО) «включаются» под действием красного света. Будучи основным участником одного из фундаментальных процессов жизни на Земле — фиксации  $CO_2$  из атмосферы, — РУБИСКО является, вероятно, самым распространенным ферментом в

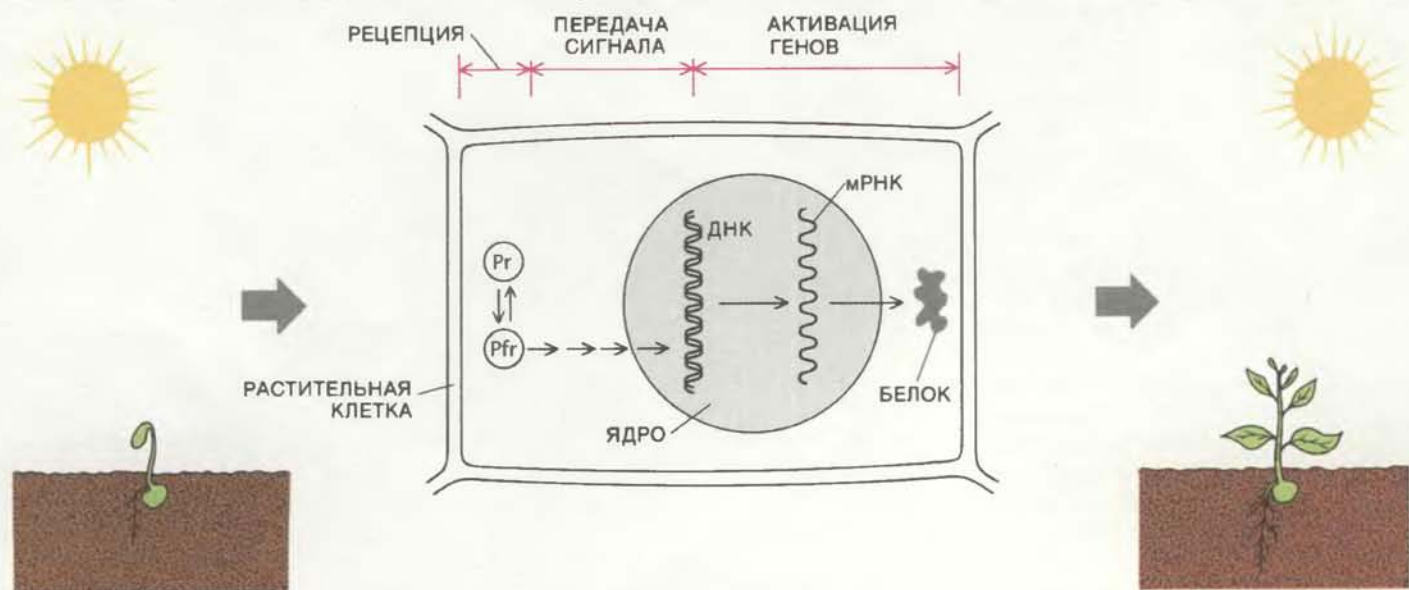
мире. Активная молекула РУБИСКО состоит из субъединиц двух типов, которые кодируются разными генами.

Меньшая субъединица РУБИСКО, обозначаемая *gbcS*, идеально подходила для наших исследований. Во-первых, и сам этот белок и его мРНК легко обнаружить в нормальном зеленом растении, так как в листьях они образуются в очень больших количествах. Во-вторых, реакция гена *gbcS* на свет весьма значительная (растения, выращенные в темноте, содержат мРНК *gbcS* в двадцать раз меньше, чем растения, выращенные на свету), а это является признаком того, что регуляторные последовательности данного гена сильно контролируют его транскрипцию. Кроме того, так как эта ферментная субъединица, как правило, жизненно необходима растению, ген *gbcS* есть у всех видов высших растений, даже у тех, которые принадлежат к существенно различным линиям эволюционного развития. Такая общность была для нас очень важна, так как мы намеревались осуществлять перенос генов между различными видами растений и хотели, чтобы чужеродные гены были способны нормально функционировать в новом организме-хозяине.

В качестве средства для переноса генов в растения наиболее широко используется почвенная бактерия *Agrobacterium tumefaciens* (см. статью: М. Хилтон. Перенос новых генов в клетки растений, «В мире науки», 1983, № 8). Этот микроб является, так сказать, природным генным инженером: в естественных условиях *A. tumefaciens* вставляет небольшие

сегменты своей ДНК в хромосомы растительных клеток, что приводит к образованию у пораженного растения нароста опухоловой ткани, называемого корончатым галлом. Внутри бактерии переносимые гены входят в состав плазмиды — небольшой кольцевой молекулы ДНК, отдельной от бактериальной хромосомы. Перенос осуществляется благодаря последовательностям ДНК, которые граничат с генами, индуцирующими образование опухоли. Молекулярно-биологические методы позволяют заменять в плазмиде гены, вызывающие опухоль, на другие гены, выбранные экспериментатором по своему усмотрению. Оставшиеся последовательности ДНК, граничившие с изъятыми генами, обеспечивают встраивание этих чужеродных генов в хромосомы растений так же успешно, как в обычной ситуации — генов, индуцирующих опухоль (см. иллюстрацию на с. 47).

В начале 1980-х годов, чтобы ввести такую составную плазмиду в растительные клетки, чаще всего просто смешивали бактерий, содержащих эту плазмиду, с изолированными клетками в культуре. В настоящее время обычно микробов втирают в разрезы, сделанные в листе нужного растения, и культивируют сам этот лист. В любом случае при делении клеток, получивших новый ген, он передается клеткам-потомкам. Цельные растения, регенерировавшие из таких клеток, в каждой своей клетке имеют по крайней мере одну копию нового гена. Если не считать присутствия этого так называемого трансгена, такие растения нормаль-



**ФОТОМОРФОГЕНЕЗ** — процесс воздействия света на форму растения — протекает в три стадии. Здесь этот процесс схематично изображен для клетки растения гороха. На первой стадии, которая называется рецепцией, свет вызывает обратимый переход пигмента, называемого фитохромом, из одной формы (Pr) и другую (Pfr). Появление Pfr ини-

цирует вторую стадию — передачу светового сигнала через ряд молекул-посредников к генам в клеточном ядре. На третьей стадии некоторые гены активируются световым сигналом: происходит их транскрипция (образование мРНК) и синтез кодируемых ими белков, которые формируют развивающееся растение.



ные; семена, которые они дают, тоже содержат трансген.

Экспрессию трансгена можно оценить, измеряя количество транскрибируемой с него мРНК. Количество мРНК определяют с помощью метода, называемого гибридизацией. Он основан на том, что молекула мРНК будет связываться с одноцепочечным участком ДНК, если их последовательности нуклеотидов комплементарны. Для того чтобы выявить мРНК, образовавшуюся в результате транскрипции трансгена, синтезируют зонд — комплементарную ей цепочку ДНК, меченную радиоактивным изотопом. Когда зонд связывается со своей мишенью, та выявляется благодаря радиоактивной метке. Количественно определяя радиоактивность связанного зонда, тем самым определяют количество мРНК, образовавшейся в результате активности трансгена.

Метод гибридизации может быть очень чувствительным: при определенных условиях, для того чтобы произошло связывание двух отдельных цепей, их последовательности должны быть точно комплементарны. Хотя белки *gbcS* у всех растений очень похожи, соответствующие им мРНК у разных видов различаются между собой настолько, что с помощью метода гибридизации можно отличить мРНК трансгена от «родной». Такая возможность имела большое значение для наших экспериментов, поскольку позволяла надежно количественно оценить экспрессию трансгена в растении-хозяине. В конечном счете, манипулируя последовательностями ДНК, расположенными рядом с трансгеном, и измеряя количество транскрибируемой с него мРНК, мы надеялись найти участки, осуществляющие контроль над генами, т. е. регуляторные последовательности.

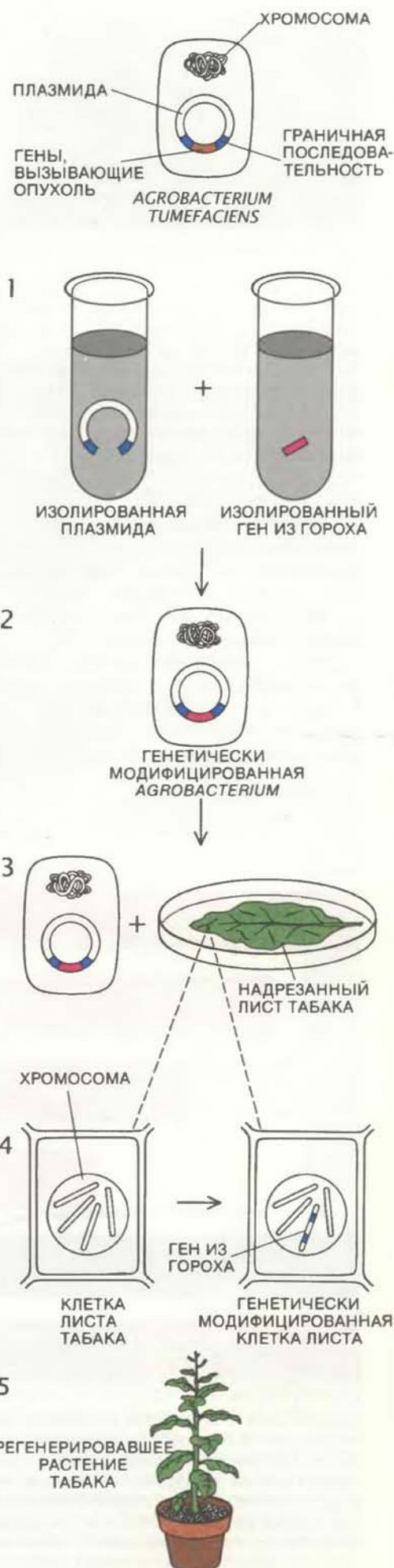
**НАЧАЛЬНЫЕ** эксперименты по переносу генов мы провели с клетками культурных растений. В нашей лаборатории Р. Брогли и Г. Коруцци выделили ген *gbcS* из растения гороха и затем в сотрудничестве с Р. Фрэли, С. Роджерсом и Р. Хоршем из фирмы Monsanto Company ввели этот ген в клетки петунии. В таких клетках происходила нормальная экспрессия чужеродного гена: синтезировались мРНК *gbcS* и сам белок *gbcS*. Субъединица *gbcS* гороха даже объединялась с собственными субъединицами РУБИСКО петунии, образуя фермент РУБИСКО. Э. Кэшмор в Рокфеллеровском университете, Л. Херрера-Эстрелла в Гентском государственном университете (Бель-

гия) и их коллеги получили сходные результаты, перенеся ген *gbcS* из гороха в клетки табака.

Позже в нашей лаборатории были изучены последовательности, расположенные в цепи хромосомной ДНК «выше» гена *gbcS* гороха, т. е. предшествующие этому гену в направлении транскрипции. Именно в участках некодирующей ДНК такой локализации часто находятся регуляторные последовательности. Эти последовательности, называемые промоторами, обычно содержат два отдельных сегмента. Один из них представляет собой короткую последовательность, определяющую точку начала транскрипции. Эта последовательность сходна в геномах и бактерий, и животных, и растений; она называется ТАТА-боксом, так как содержит ряд повторяющихся нуклеотидов, обозначаемых Т и А. Еще «выше» располагается более сложно устроенная последовательность, контролирующая условия, при которых осуществляется транскрипция, и количество синтезируемой мРНК.

Дж. Морелли и Ф. Нейджи, стремясь точно охарактеризовать промотор гена *gbcS*, получили серию делеционных мутантов гороха, т. е. ряд вариантов генома, в которых отсутствовали участки последовательности возрастающей длины «вверх» от гена *gbcS*, и проверяли активность данного гена в этих вариантах в культуре клеток петунии. Им удалось показать, что короткая последовательность поблизости от ТАТА-бокса участвует в световой регуляции. Кэшмор и Херрера-Эстрелла с коллегами

**ПЕРЕНОС ГЕНОВ** между растениями разных видов осуществляется при помощи бактерии *Agrobacterium tumefaciens*. Бактерия несет плазмиду (короткую кольцевую ДНК, содержащую гены, которые включаются в геном растения (что обеспечивается последовательностями, граничащими с этими генами) и вызывают образование опухоли. Из плазмиды можно изъять последовательности, индуцирующие опухоль, и заменить их на какой-либо другой ген, скажем, из растения гороха (1). Такую плазмиду вводят в клетки *Agrobacterium* (2) и генетически модифицированными бактериями заражают клетки растения другого вида, в данном случае табака, через надрезы на листе (3). Клетки, в которые проникли бактерии, приобретают ген гороха (4). Среда, в которую погружен лист, способствует размножению клеток, содержащих «трансген», и убивает те клетки, где его нет. Через несколько недель регенерировавшие из этих трансгенных клеток растения пересаживают в почву (5).





**РЕГЕНЕРАЦИЯ РАСТЕНИЙ** позволяет наблюдать физиологические эффекты трансгенов на цельных растениях, а не просто на клетках. Лист растения (в данном случае табака) помещают в агар, надрезают в нескольких местах и в ранки вносят бактерий, содержащих плазмиду с нужным геном и, кроме того, с геном устойчивости к антибиотику (1). Агар содержит этот антибиотик, поэтому выживают только те клетки растения, которые приобрели гены из бактерий (2). Питательные вещества и гормоны, присутствующие в агаре, обеспечивают рост молодых побегов из генетически модифицированных клеток (3). Позже регенерировавшие растения рассаживают, чтобы дать им больше места (4). Приблизительно 6 недель спустя после начала эксперимента растения дают корни и их можно пересаживать в почву.

подтвердили эти результаты и, более того, продемонстрировали, что вышележащий от ТАТА-бокса район также принимает участие в реакции на свет. Для обозначения этого района мы предложили термин СРЭ.

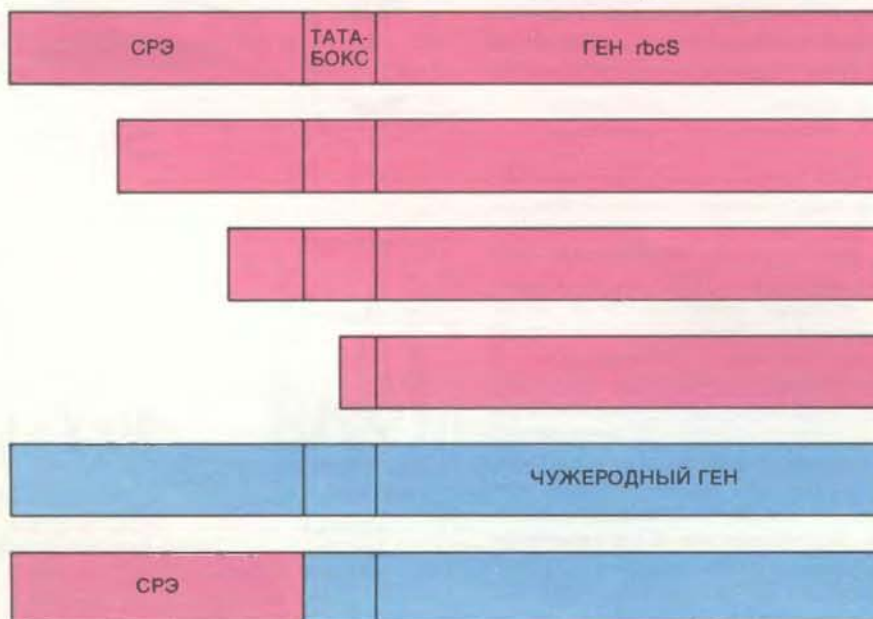
Чтобы получить необходимую физиологическую информацию, Р. Флур и К. Кюльмейер в Рокфеллеровском университете осуществили регенерацию цельных растений пету-

нии и табака из листьев, содержавших гены *gbcS* гороха. У трансгенных растений наблюдалась поразительно явная экспрессия трансгена в различных органах и в различных условиях освещенности, причем распределение его экспрессии по органам растения (т. е. уровни экспрессии в листьях, стеблях и корнях) было таким же, как у нормальных растений: в листьях содержалось большое количество соот-

ветствующей мРНК, в стеблях значительно меньшее, а в корнях она практически не обнаруживалась. Красный свет стимулировал транскрипцию чужеродного гена, а последующее облучение «дальним» красным светом прекращало эту стимуляцию. Растения, выращенные в темноте, содержали мало мРНК трансгена.

Эта правильность экспрессии особенно удивительна, если принять во

НАПРАВЛЕНИЕ ТРАНСКРИПЦИИ



СВЕТ			ТЕМНОТА		
ЛИСТЬЯ	СТЕБЕЛЬ	КОРНИ	ЛИСТЬЯ	СТЕБЕЛЬ	КОРНИ
+++	+	-	-	-	-
+++	+	-	-	-	-
+	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
+++	+++	+++	+++	+++	+++
+++	+	-	-	-	-

**РЕГУЛЯЦИЯ** светочувствительного гена осуществляется участками ДНК, расположенными «выше» его (т. е. предшествующими гену в направлении транскрипции). Вверху схематически изображен ген *rbcS* и его регуляторный участок, включающий светорегулируемый элемент (СРЭ) и так называемый ТАТА-бокс, и показаны нормальные уровни его экспрессии в листьях, стеблях и корнях на свету и в темноте. Ниже — три мутанта, у которых в регуляторном

участке отсутствуют последовательности возрастающей длины. Так как в этом районе генетическая информация дублирована, у большинства растений СРЭ может быть сокращен наполовину без влияния на экспрессию. Как продемонстрировано в экспериментах, в которых СРЭ помещали выше чужеродного гена, этот регуляторный участок придает чувствительность к свету и органоспецифичность даже генам, которым в норме они не свойственны.

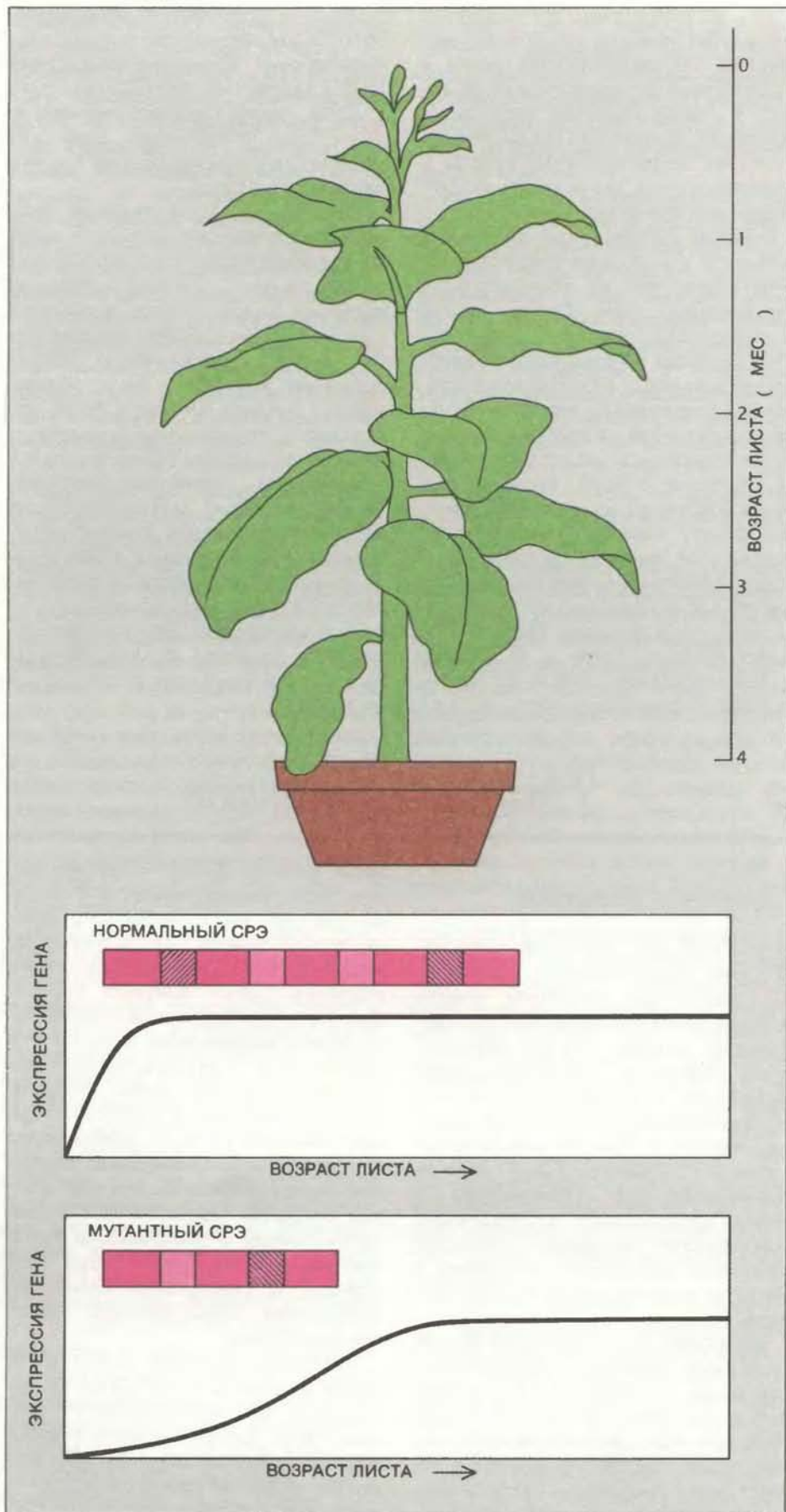
внимание, что растение-источник гена и его новый хозяин эволюционно довольно далеки друг от друга: линии эволюционного развития, ведущие к гороху и к табаку, разошлись 70 млн. лет назад. Функциональная целостность трансгена необычна также потому, что вектор — *Agrobacterium tumefaciens* — вставляет чужеродный ген в геном растительной клетки случайным образом. Следовательно, точность регуляции в основном обеспечивается, вероятно, СРЭ, фланкирующими трансген.

Более сложные манипуляции с СРЭ гена *gbcS* показали, что этот элемент может придавать чувствительность к свету «чужим» ТАТА-боксам, помещенным в его сферу влияния: ТАТА-боксы генов, которые в норме работали в любых условиях, становились зависимыми от света, когда их присоединяли к СРЭ гена *gbcS*. Кроме того, СРЭ может регулировать «чужие» гены, помещенные под его контроль. В экспериментах, в которых «чужой» ген сцепляли с СРЭ гена *gbcS*, выяснилось, что помимо чувствительности к свету эта регуляторная последовательность определяет органоспецифичность: устанавливается высокий уровень экспрессии «приставленного» гена в листьях, низкий в стеблях и нулевой в корнях.

Последние два года наша лаборатория занимается расшифровкой точной структуры последовательностей ДНК, составляющих СРЭ гена *gbcS*. П. Грин и М. Куоццо совместно с Кюльмейером определили, что этот элемент состоит из двух более коротких участков ДНК, каждый из которых сам по себе может придавать генам способность реагировать на свет и органоспецифичность. Другими словами, генетическая информация, заключенная в СРЭ, дублирована.

Зачем регуляторная последовательность в геноме растения содержит лишние элементы? Мы предполагаем, что в некоторые периоды жизненного цикла растения множественные копии светорегулируемых элементов могут быть нужны для фотоморфогенеза. Действительно, Кюльмейер недавно обнаружил, что оба участка СРЭ требуются для полной экспрессии гена *gbcS* в самых молодых, только что распустившихся листьях растений табака (см. иллюстрацию справа). Если это открытие о чем-то говорит, то роль СРЭ в развитии растения, должно быть, весьма сложна.

Другие указания на сложность действия СРЭ следуют из того, что известно о подобных участках в генах животных. Эти участки тоже контролируют развитие, хотя реагируют на совсем другие сигналы. Как и их ана-



СОКРАЩЕНИЕ НАПОЛОВИНУ СРЭ светочувствительного гена *gbcS* нарушает его экспрессию в самых молодых листьях растения табака. В нормальном СРЭ гена *gbcS* (вверху) имеются два одинаковых участка, каждый из которых содержит два сайта связывания белка (темные и заштрихованные клетки). С таким СРЭ максимум экспрессии гена *gbcS* достигается почти во всех листьях растения. Когда же присутствует только один участок (внизу), в более молодых листьях полной экспрессии не наблюдается. Предполагается, что генетическая избыточность может играть важную роль в развитии организма.

логи у растений, такие регуляторные последовательности влияют на экспрессию соответствующих генов в разной степени в зависимости от органа и стадии развития животного. Например, экспрессия гена инсулина в  $\beta$ -клетках поджелудочной железы у млекопитающих управляется регуляторной последовательностью ДНК.

В целом регуляторные последовательности у животных кажутся более понятными, чем их эквиваленты в растительном мире. Сейчас многие исследователи изучают структуру СРЭ растений в мельчайших подробностях в надежде разобраться в том, как эти генетические элементы функционируют и как их действие изменяется в зависимости от количества света, от органа и стадии развития растения. Много существенной информации дадут, наверное, исследования механизмов передачи светового сигнала. Вероятно, что фитохром активирует какие-то молекулы-посредники, которые и передают сигнал СРЭ. Действительно, Грин и ее коллега С. Кэй уже обнаружили в ядре растительной клетки белок, который мог

бы играть роль такого посредника. Этот белок связывается с двумя специфическими последовательностями ДНК в каждом участке СРЭ; мутации в СРЭ, уменьшающие связывание этого белка «в пробирке», также ослабляют экспрессию гена *gbcS* в мутантных растениях.

Имеющиеся на сегодняшний день сведения позволяют составить лишь первое представление о том, как свет влияет на рост, развитие и старение растений. Более глубокое знакомство с процессом фотоморфогенеза могло бы принести неоценимую пользу сельскому хозяйству. Быть может, удастся создать растения, более эффективно утилизирующие солнечную энергию или менее требовательные в потреблении почвенных ресурсов. Однако изучение фотоморфогенеза представляет интерес помимо практического использования. Связь между светом и растениями, формирующая этот первичный источник кислорода и самое первое звено пищевой цепи, является одной из наиболее важных и захватывающих сторон жизни на Земле.

следователям потребовалось также оценить вязкость твердого железа в условиях, существующих во внутреннем ядре: при давлении в несколько миллионов атмосфер и температуре, вероятно, 6600 К. Полученное число Рэлея в 100 раз превысило значение, при котором должна начинаться конвекция в таком сферическом теле, как внутреннее ядро.

Предсказывая, как конвективная циркуляция могла бы повлиять на ориентацию кристалликов, ученые приняли простейшую возможную схему конвекции: горячий материал поднимается у одного полюса, теряет тепло, двигаясь к другому полюсу, и там погружается. Скорость латерального потока должна изменяться с глубиной, порождая в железе напряжения сдвига.

Теоретические расчеты в сочетании с данными о поведении металлов, которые имеют гексагональную кристаллическую структуру при обычных давлениях, навели на мысль, что напряжения сдвига могут сориентировать кристаллики железа с плотнейшей гексагональной упаковкой в такой степени, чтобы создались условия для наблюдаемых сейсмических явлений. Таким образом, продольные волны, бегущие от полюса к полюсу, будут в основном проходить через кристаллики параллельно их шестигранным граням — в направлении их наименьшей сжимаемости.

Джинлоз и Венк признают, что их гипотеза объясняет данные сейсмологических наблюдений только в том случае, если поток во внутреннем ядре ориентирован в целом вдоль оси вращения Земли, а это предположение само по себе нуждается в подтверждении. Впрочем, даже если их анализ не даст окончательного решения сейсмологической загадки, он по крайней мере заставляет серьезно усомниться в том, что в геологических масштабах времени внутреннее ядро можно считать твердым.

### Самоуничтожение

**НАЙДЕН** способ направлять метаболизм у насекомых против них самих. Это может дать целый класс дешевых, разрушаемых биологическим путем инсектицидов, к которым не вырабатывается устойчивость. Таково мнение авторов открытия — Константина А. Ребейца, Джона А. Джавика и Кароля К. Ребейца из Иллинойского университета в Эрбана—Шампейн. «Большинство имеющихся в продаже инсектицидов поражает нервную систему, а новый действует по совершенно иному принципу», — говорит Константин Ребейц.

## Наука и общество

### Глубинные движения

**В** ЗЕМЛЕ все находится в движении. Перемещаются континенты, происходит медленное течение пород в подстилающей мантии, циркулирует жидкий металл внешнего ядра, порождая магнитное поле. Внутреннее ядро Земли, по-видимому, также может течь. В статье, опубликованной в «*Geophysical Research Letters*», Р. Джинлоз и Х.-Р. Венк из Калифорнийского университета в Беркли предполагают, что некоторые сейсмические аномалии являются признаком медленной циркуляции в богатом железом сплаве внутреннего ядра.

Немногим более года назад другие геофизики сообщили, что продольные волны, вызванные землетрясениями и колебаниями Земли в целом, проходят через внутреннее ядро, по-видимому, быстрее от полюса к полюсу, чем в поперечном направлении, т. е. в плоскости экватора. Таким образом, вещество внутреннего ядра, судя по всему, несколько менее сжимаемо в направлении, параллельном оси вращения Земли, чем в плоскости экватора. Джинлоз и Венк попытались объяснить это явление кристаллической структурой железа, входящего в состав внутреннего ядра. При

очень высоких давлениях атомы железа перегруппировываются и слагают плотную гексагональную упаковку, образуя кристаллики, которые напоминают небольшие шестигранные плиточки. Такую плиточку труднее сжать в ее плоскости, чем в перпендикулярном направлении. Если бы эти кристаллики во внутреннем ядре были ориентированы таким образом, чтобы в своей массе их шестигранные поверхности были параллельны оси Земли, то их совокупные физические свойства могли бы объяснить новые открытия сейсмологов. Специалисты спорят о возможности такой преимущественной ориентации. Они считают ее результатом сдвиговых напряжений, обусловленных тепловой конвекцией.

Тенденция вещества терять тепло путем конвекции (а не путем теплопроводности) характеризуется числом Рэлея, которое отчасти показывает способность нагретой частицы внутри вещества перемещаться к поверхности, где она отдает тепло. Рассчитывая число Рэлея для внутреннего ядра, Джинлоз и Венк учитывали такие факторы, как радиус ядра (1200 км), теплопроводность и коэффициент теплового расширения железа, а также количество тепла, которое может выделяться во внутреннем ядре при радиоактивном распаде. Ис-

Основным компонентом нового инсектицида является  $\delta$ -аминолевулиновая кислота. Эта нетоксичная аминокислота, поддающаяся биологической деградации, входит в состав протопорфирина — сложного органического соединения, необходимого в энергетическом обмене живого организма. Другой компонент — синтетическое соединение, играющее роль модулятора: оно ускоряет образование протопорфирина. Когда эти два вещества попадают на тело насекомого или в его пищеварительный тракт, происходит синтез протопорфирина в таких количествах, что метаболизм животного катастрофически нарушается.

Пробные препараты такого инсектицида при проверке в лабораторных условиях оказались эффективными против двух наиболее злостных вредителей — хлопковой совки и капустной совки. Действие инсектицида смертельно, если насекомые находятся на свету. Свет вызывает образование свободных радикалов (молекул, имеющих неспаренный электрон), в первую очередь радикальных форм кислорода, которые токсичны. Большинство насекомых умирают в пределах 10 секунд после воздействия света. В темноте для летального эффекта требуется обычно 48 часов.

В качестве модуляторов с успехом испытаны два синтетических органических соединения — 2,2'-дипиридил и 1,10-фенантролин. Исследователи пока не выяснили, токсичны ли они для человека и животных, и сейчас экспериментируют с такими модуляторами, которые, подобно  $\delta$ -аминолевулиновой кислоте, являются природными соединениями и заведомо нетоксичны. Испытываются также вещества-модуляторы, действующие только на определенных насекомых. Ребейц придерживается мнения, что насекомое может стать устойчивым к инсектициду, основанному на  $\delta$ -аминолевулиновой кислоте, только если его метаболизм изменится таким образом, что для него не нужен будет протопорфирин, а это очень маловероятно.

### *Нужна ли благотворительность*

**Б**ЛАГОТВОРИТЕЛЬНОСТЬ часто подвергается критике со стороны политических деятелей всех направлений. В 1935 г. Франклин Д. Рузвельт, демократ, придерживавшийся по-прежнему либеральных взглядов, назвал благотворительность «наркотиком, который исподволь лишает человека воли». В этом году президент Рональд Рейган в своем послании «О по-

ложении в стране» назвал благотворительность «западней нищеты, которая несет разорение ... семье». Благотворительность, по мнению ее критиков, не только не облегчает положения неимущих, но, наоборот, усугубляет его, приучая их полагаться на помощь со стороны государства; тем, кто привык надеяться лишь на благотворительность, и даже их детям никогда уже не суждено обрести экономической самостоятельности. Тем не менее, как утверждают Грег Дж. Дункан и Марта С. Хилл из Института социальных исследований, а также Сол Д. Хоффман из Делаварского университета, этого нельзя сказать в отношении «наиболее широко известной и подвергающейся самой острой критике» федеральной благотворительной программы по оказанию помощи нуждающимся семьям с малолетними детьми. Эта программа, отмечает Хоффман, начала осуществляться по инициативе Рузвельта и первоначально имела целью оказание помощи вдовам, оказавшимся в трудном материальном положении из-за того, что их мужья не делали в свое время достаточных отчислений в фонд социального обеспечения. В конце 60-х годов программа была значительно расширена; она стала охватывать более широкие слои населения, одновременно были увеличены размеры ассигнований на эти цели. В 1986 г. (данные за 1987 г. пока не получены) министерство здравоохранения и социального обеспечения выделило штатам в рамках осуществления вышеуказанной программы сумму в 18 млрд. долл., которая была затем распределена между 3,8 млн. семей нуждающихся, в большинстве случаев между семьями матерей-одиночек.

В результате специально проведенного исследования выяснилось, что с середины 60-х до конца 70-х годов лишь небольшая часть семей, имеющих право на пособие по этой программе, получала его в течение длительного времени; при этом 30% семей пользовались пособием в течение двух и менее лет, а 70% семей — в течение семи и менее лет. Результаты этого исследования, опубликованные в журнале «Science», показывают, что программа «не приучает нуждающиеся семьи целиком полагаться на благотворительность, а, скорее, лишь подстраховывает их на случай временных неудач».

Как видно из результатов исследования, отмечает Хоффман, данной программой охвачены разнообразные категории лиц, с различным образованием и неодинаковыми потребностями. Например, пособие по этой программе может выплачиваться женщинам после потери ими рабоче-

го места, после развода или при каком-то продолжительном заболевании. Замужние женщины, имеющие среднее образование и опыт работы в какой-либо области, состоят в списках получающих пособие относительно недолго.

Молодые же матери-одиночки без среднего образования и опыта работы получают пособие, как правило, в течение продолжительного периода. Как указывает Дункан, женщины именно этой категории составляют значительную часть от 30% лиц, которым в период с середины 60-х до конца 70-х годов выплачивалось пособие по указанной программе в течение более семи лет. «Именно они вызвали споры о роли благотворительности, — считает Дункан. — И как это ни печально, такой стереотип у нас прочно укоренился».

Для сокращения числа получающих пособие в течение длительного времени Дункан предлагает уделить больше внимания мерам по оказанию помощи матерям-одиночкам в возрасте до 19 лет. «Главная наша задача прежде всего в том, чтобы помочь им получить среднее образование», — считает он. Организация курсов профессиональной подготовки, несмотря на связанные с этим затраты, также могла бы помочь этой категории женщин найти работу, хотя бы с неполным рабочим днем. Между тем, как отмечает Хилл, в некоторых штатах существует практика, по которой каждый доллар, заработанный матерями-одиночками, компенсируется вычетом одного доллара из получаемого ими пособия. Если, например, мать-одиночка устраивается на работу и ей приходится платить за то, чтобы ее ребенок находился под присмотром, ее доход неизбежно уменьшается. Хилл настаивает на том, что необходимо либо прекратить подобную практику, либо государству следует подумать об организации на этот случай специальных детских учреждений.

Пожалуй, наиболее оптимистическим можно считать вывод исследователей о том, что даже если все попытки долгосрочной помощи матерям-одиночкам окажутся безуспешными, их детям вовсе не уготована «западная» благотворительности. Как следует из результатов исследования, лишь 1 из 15 женщин из семей, существующих на пособие, по достижении 25-летнего возраста попадает в полную зависимость от такого пособия. Таким образом, результаты проведенного исследования «опровергают стереотипное представление о том, что зависимость от пособия как источника существования неизбежно переходит от матери к ребенку».

# Спиновые эффекты в газах

Атомное ядро может иметь спин, подобно крошечному волчку.  
Как такой спин, изолированный от внешнего мира, может  
приводить к резкому изменению свойств газа,  
например способности проводить тепло?

ФРЭНК ЛАЛЁ, ДЖЕК Х. ФРИД

**РАЗРЕЖЕННЫЕ** газы, в которых атомы находятся на больших расстояниях, издавна представляли излюбленную «игрушку» для физиков. Удовольствие физикам доставляла в основном простота этой системы: поскольку в ней атомы лишь изредка сталкиваются между собой, можно легко описать теоретически макроскопические свойства таких газов. Современный уровень знаний в этой области в значительной степени основан на работах, выполненных в конце XIX в. Джеймсом Клерком Максвеллом и Людвигом Больцманом. В то же время многие свойства жидкостей и твердых тел, состоящих из большого числа близко расположенных и одновременно взаимодействующих частиц, продолжали оставаться загадкой вплоть до разработки квантовой теории в первые десятилетия XX в., а объяснение некоторых из этих свойств до сих пор не найдено.

Казалось бы, такие простые системы как разреженные газы уже не представляют интереса для физиков, однако последние работы ряда исследователей, включая авторов данной статьи, показали, что это не так. Разреженные газы продолжают служить

богатым источником разнообразных явлений и преподносить сюрпризы. В частности, макроскопические свойства газа, состоящего из отдельных атомов водорода или гелия, в некоторых специфических условиях могут резко меняться за счет квантовых эффектов.

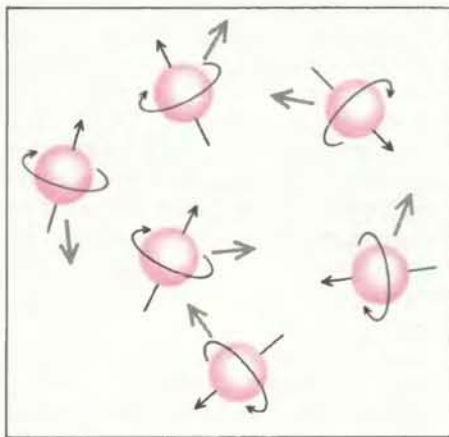
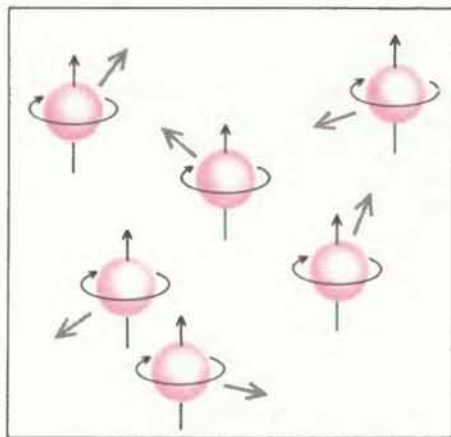
Согласно квантовой теории, атомное ядро ведет себя подобно вращающемуся волчку, который обладает собственным моментом количества движения относительно оси вращения — спином (точнее спиновым угловым моментом). Если атомы газа поляризованы по спину, т. е. спины их ядер направлены в одну сторону, это может привести к значительному изменению вязкости газа, а также его способности проводить тепло. Кроме того, могут возникать квантовомеханические корреляции между ядрами, называемые спиновыми волнами, которые до настоящего времени наблюдались только в некоторых жидкостях и твердых телах, подобных ферромагнетикам. Происходящие изменения достаточно велики, поэтому можно утверждать, что газ за счет квантовых эффектов приобретает совершенно новые свойства.

С точки зрения здравого смысла по-

разительно, что поляризация ядерных спинов может оказывать какое-то влияние на макроскопические свойства газа, так как ядерные спины в очень малой степени взаимодействуют с внешним миром. Однако наблюдаемые явления находятся в полном согласии с теорией. Более того, поскольку спин-поляризованные газы представляют собой довольно простые системы, для них можно провести точные расчеты на основе фундаментальных принципов, что до сих пор не удавалось для жидкостей и твердых тел.

**В НАШИХ** исследованиях мы использовали два типа газов: атомарный водород и гелий-3 ( $^3\text{He}$ ). Атом водорода состоит из одного электрона, связанного с ядром (протоном). В природе газообразный водород встречается обычно в виде двухатомных молекул из связанных между собой двух атомов водорода ( $\text{H}_2$ ). В последние годы было обнаружено, что можно предотвратить соединение атомов водорода в молекулы и получить образцы газообразного атомарного водорода с помощью эффектов, обусловленных спиновой поляризацией (см. Isaac F. Silvera, Jook Walraven. The Stabilization of Atomic Hydrogen, "Scientific American", January 1982\*). Подобные образцы демонстрируют еще один примечательный способ проявления квантовых эффектов на макроскопическом уровне. Как конкретно проявляются эти эффекты, станет ясным по мере общего обсуждения явлений, связанных со спином.

Другой используемый нами газ, гелий-3, образован атомами, ядра которых состоят из двух протонов и нейтрона; с ядром связано два электрона. Атомы гелия не вступают в химические реакции, поэтому двухатомные молекулы гелия-3 никогда не образуются. При достаточно низких темпе-



ГАЗ, СОСТОЯЩИЙ ИЗ АТОМОВ, называется спин-поляризованным, когда спины (спиновые моменты количества движения) атомных ядер направлены в одну сторону (слева); спины показаны стрелками, направленными вверх. Если газ не-поляризован, то спины имеют произвольное направление (справа).

\*) Имеется перевод: А. Сильвер, Ю. Валравен. Стабилизация атомарного водорода. — Успехи физических наук, 1983, т. 139, № 4, с. 701 — Прим. перев.

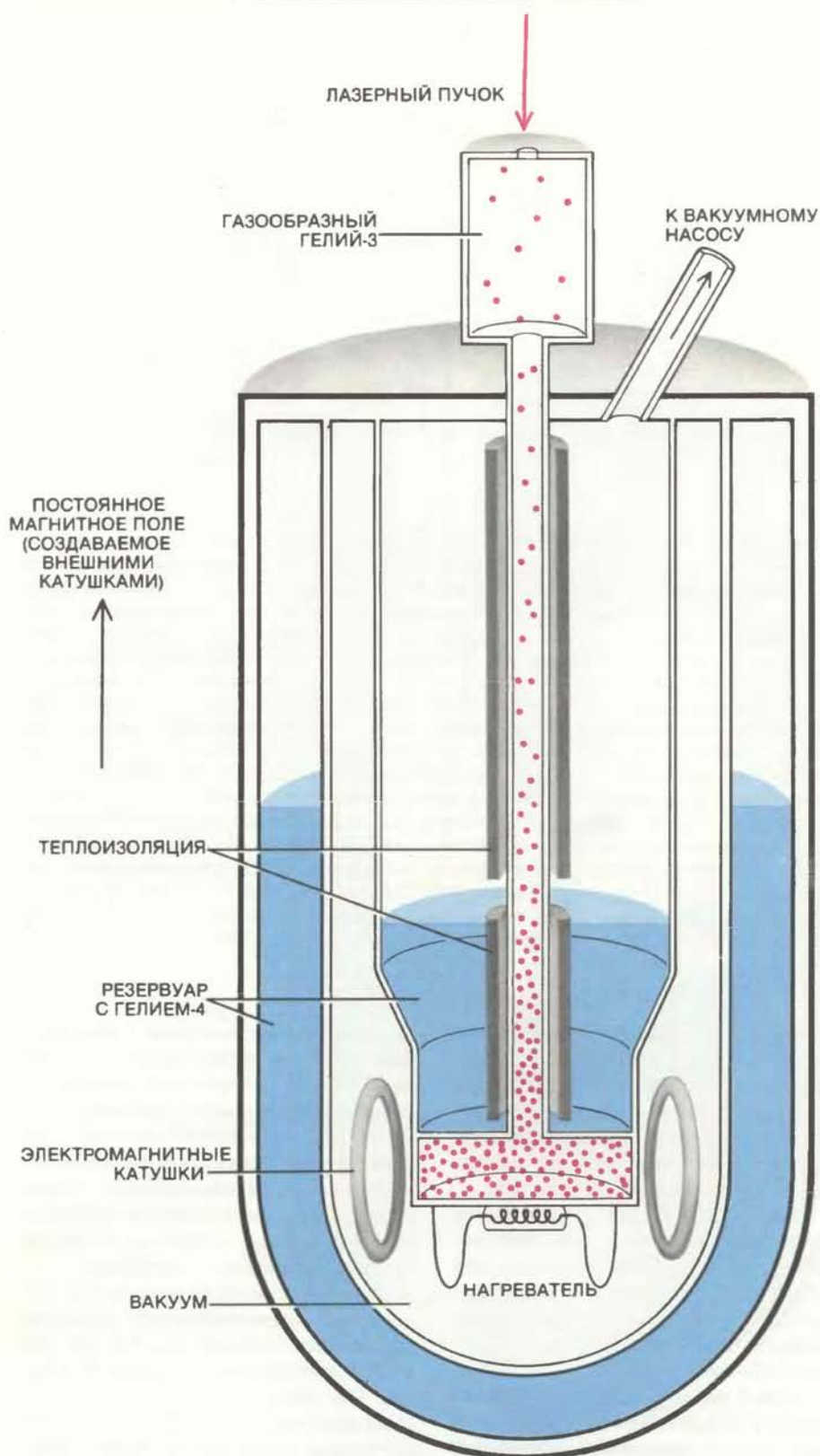
ратурах (около 3,2 К) и атмосферном давлении, газ из атомов гелия-3 конденсируется в жидкость. Атомарный водород, напротив, является единственным веществом, которое, по-видимому, остается газообразным даже при температуре абсолютного нуля.

Согласно квантовой теории, в поведении атомарного водорода и гелия-3 имеются существенные различия. Считают, что атом водорода принадлежит к классу частиц, называемых бозонами, а атом гелия-3 — к классу частиц, называемых фермионами. Разница между бозонами и фермионами значительна. При определенных условиях, которые будут рассмотрены ниже, бозоны легко сближаются между собой, а фермионы стремятся избегать друг друга. Такое поведение обуславливает удивительные эффекты, наблюдаемые в спин-поляризованных газах.

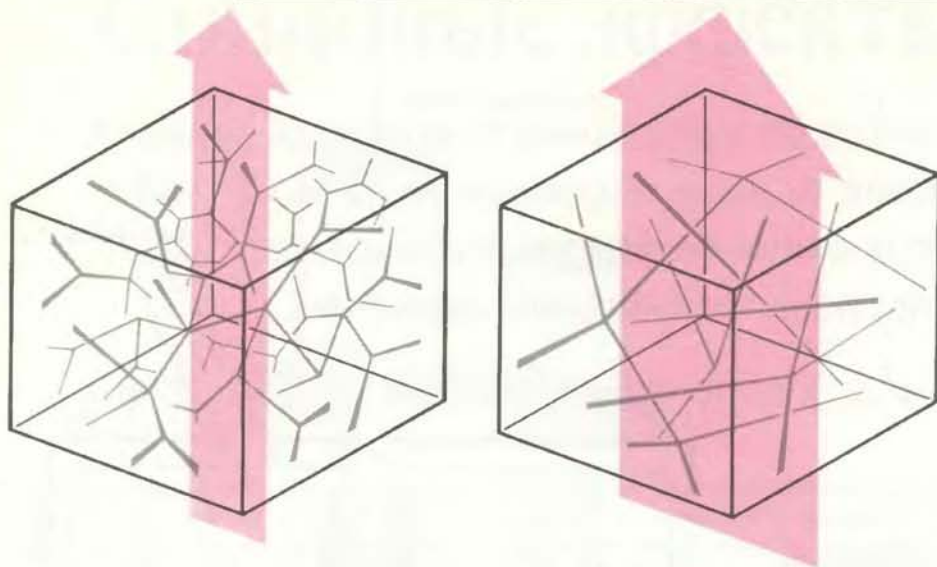
Является ли частица бозоном или фермионом, зависит от ее спина. Мы уже упоминали, что ядра атомов имеют спин. Оказывается, что спин представляет собой «внутреннее» свойство каждой частицы. Поскольку любой атом — это составной объект, включающий ядро и один или большее число электронов, его спин, вообще говоря, также должен быть составным.

Частица со спином в какой-то степени напоминает вращающийся шарик, однако есть и существенное различие. Направление спина шарика дается правилом правой руки, согласно которому при сгибании всех пальцев, кроме большого, в соответствии с вращением шарика, большой палец будет указывать направление спина. Квантовая частица имеет спин, но его нельзя представлять как результат обычного вращения в пространстве. Кроме того, в отличие от вращения шарика, которому может отвечать любое значение момента количества движения, спин атома или субатомной частицы квантован: величина спина может принимать значение, равное фундаментальной единице момента количества движения, называемой постоянной Планка, умноженной на целое или полуцелое число. Например, протон, нейтрон и электрон имеют в этих единицах спин 1/2. Фотон (квант электромагнитного излучения) имеет спин, равный 1. Частица, имеющая полуцелое значение спина (1/2, 3/2, 5/2 и т. д.), называется фермионом в честь итальянского физика Э. Ферми. Частица с целым значением спина (0, 1, 2, 3, и т. д.), называется бозоном в честь индийского физика Ш. Бозе.

Для определения спина составного объекта, например ядра или атома, необходимо знать векторную сумму



**ВЛИЯНИЕ СПИНОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ** на теплопроводность газа исследовалось группой сотрудников из Высшей нормальной школы в Париже, в которую входил и один из авторов данной статьи (Лалё). Спины атомов газообразного гелия-3 поляризуют пучком лазерного света с круговой поляризацией, передающим образцу момент количества движения. Спин-поляризованные атомы двигаются по трубке длиной около 1 м в измерительную камеру, где поддерживается температура несколько кельвинов. На нижнюю поверхность камеры прикреплен нагреватель. При пропускании через него электрического тока известной величины можно обеспечить прохождение через газ заданного теплового потока. Когда газ спин-поляризован, разность температур между верхней и нижней поверхностями камеры оказывается меньше, чем для неполяризованного газа, т. е. при наличии спиновой поляризации гелий-3 проводит тепло лучше, чем в ее отсутствие. Электромагнитные катушки по обе стороны от камеры используются для создания короткого импульса переменного магнитного поля, разрушающего поляризацию при проведении сравнительных измерений.



**ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ** при спиновой поляризации гелия-3 можно объяснить на основе законов квантовой механики. В обычном неполяризованном гелии-3 атомы сталкиваются часто и длина свободного пробега (среднее расстояние, проходимое атомом между двумя последовательными столкновениями) невелика (слева). В результате система плохо проводит тепло (цветная стрелка). Повышенная теплопроводность спин-поляризованного гелия-3 возникает вследствие того, что его атомы принадлежат к классу частиц, называемых фермионами; согласно квантовой механике, если один фермион находится в некотором состоянии, то все другие тождественные ему фермионы не могут находиться в этом же состоянии. (Состояние частицы — это полный набор ее характеристик, таких как энергия, координата или импульс, а также спин.) Если два атома гелия-3 имеют одинаковые спины, то их нельзя обнаружить в одной точке пространства, и они стремятся избегать взаимных столкновений. Следовательно, в спин-поляризованном газообразном гелии-3 атомы не «замечают» друг друга и длина свободного пробега стремится к бесконечности (справа). Чем больше длина свободного пробега, тем выше эффективность переноса тепла «горячими», т. е. быстрыми, атомами от теплой к холодной части газа, поэтому теплопроводность резко возрастает.

спинов его компонент. (Вектор характеризуется как величиной, так и направлением.) Поскольку ядро атома водорода представляет собой протон, его спин равен  $1/2$ . Полный спин ядра гелия-3, состоящего из трех частиц со спином  $1/2$ , также оказывается равным  $1/2$ . Полный спин атома водорода принимает целое значение (либо 0, либо 1), поскольку спин ядра ( $1/2$ ) и спин электрона ( $1/2$ ) «складываются» подобно векторам и следует ожидать, что атом водорода будет вести себя как составной бозон. В атоме гелия-3 имеются два электрона со спином  $1/2$ , поэтому его полный спин будет всегда принимать полуцелые значения (либо  $1/2$ , либо  $3/2$ ), и можно ожидать, что гелий-3 будет вести себя как составной фермион.

**О**дно из наиболее интригующих свойств бозонов и фермионов состоит в возможности отклонения их поведения от некоторых предсказаний классической физики. Основной недостаток классической теории заключается в неправильном предположении о том, что отдельные частицы всегда можно отличить друг от друга. Однако, согласно квантовой механи-

ке, идентичные частицы с одинаковым спином неразличимы: нельзя осуществить никакого измерения, позволяющего определить, «кто есть кто». Неразличимые частицы демонстрируют важные неклассические эффекты при столкновениях между собой. Природа подобных эффектов зависит от того, являются ли частицы фермионами или бозонами.

Основой поведения фермионов служит квантовомеханическое правило, называемое принципом Паули (по имени швейцарского физика В. Паули). Согласно этому принципу, если один фермион находится в некотором состоянии, то все другие тождественные ему фермионы не могут в нем находиться. Состояние частицы — это полный набор ее характеристик, таких как энергия, координата или импульс, а также спин. Важное следствие принципа Паули заключается в том, что два электрона, имеющих, например, одинаковые спиновые состояния, нельзя обнаружить в одной точке пространства. При таких условиях электроны, как отмечалось выше, стремятся избегать друг друга. (Этому способствует также электростатическое отталкивание, которое

здесь не рассматривается.) Именно принцип Паули в применении к электронам в атоме ответствен за свойства всех химических элементов, каждый из которых имеет определенную и устойчивую электронную конфигурацию.

Следует уточнить, что мы имеем в виду, говоря о неразличимости двух сталкивающихся фермионов. В принципе можно наблюдать за траекторией каждого из фермионов по мере их приближения друг к другу. При столкновении направление их движения изменяется, и затем можно вести наблюдение за траекториями фермионов, удаляющихся друг от друга. Если обе частицы находятся в одном и том же спиновом состоянии, то различить их между собой невозможно. Если же они находятся в разных спиновых состояниях, то, по-видимому, существует возможность выявить между ними отличие, измеряя направление спина. Это позволило бы определить полную траекторию обоих фермионов, точнее проследить за ориентацией спина. (Аналогичное утверждение применимо и для столкновения двух бозонов.) Известно, что стремление двух неразличимых фермионов избегать друг друга влияет на их взаимодействие при столкновении.

Однако бозоны не подчиняются принципу Паули. Для них отсутствуют какие-либо ограничения на число частиц, которые могут находиться в одинаковом квантовом состоянии. Если два простых бозона, например два фотона, имеют одинаковые спины, оказываясь таким образом неразличимыми, то они более стремятся сблизиться друг с другом, чем две различимые частицы. У составных бозонов, подобных атому водорода и обладающих одинаковыми электронными спинами, аналогичные эффекты проявляются, когда спины их ядер также совпадают.

Принцип Паули можно использовать, чтобы предотвратить объединение отдельных атомов водорода в молекулярный водород ( $H_2$ ) при их столкновениях. Несмотря на то что атом водорода — составной бозон, его протон и электрон являются фермионами и поэтому подчиняются принципу Паули. В обычном неполяризованном газообразном водороде спины электронов в атомах направлены произвольным образом во все стороны. (Если приложить внешнее магнитное поле, то их спины могут быть направлены только «вверх» или «вниз».) Два электрона с одинаковыми спиновыми состояниями неразличимы, поэтому они будут стремиться избегать друг друга. Если каждый электрон входит в состав атома водорода, то это должно препятствовать

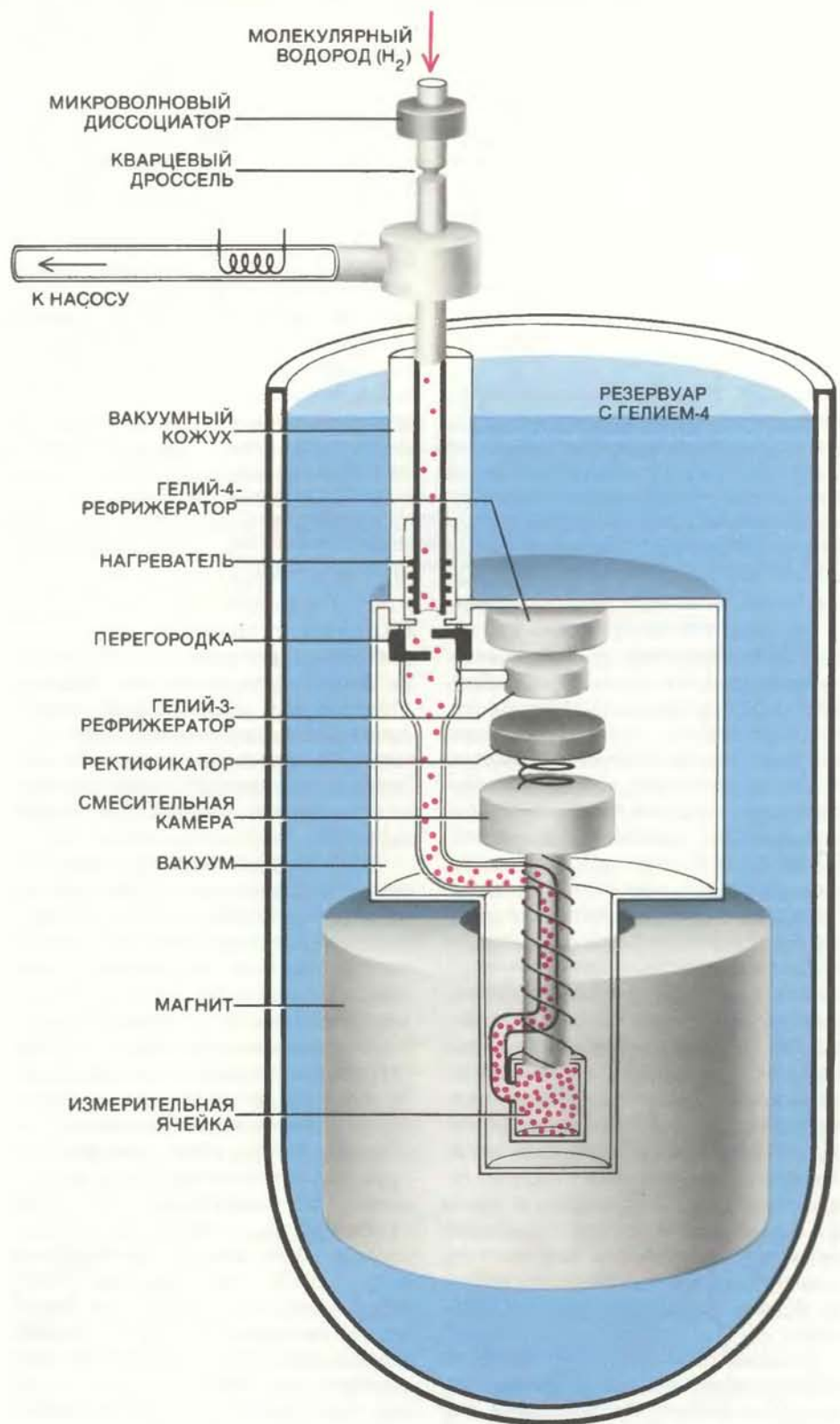


образованию химической связи между атомами. Если же спины электронов направлены в разные стороны, то эти электроны различимы и никакой квантовый принцип не мешает им оказаться одновременно в одном и том же положении. Когда такие электроны входят в состав атомов водорода, двум атомам энергетически выгоднее образовать между собой химическую связь, чем существовать независимо друг от друга. В итоге образуется молекулярный водород.

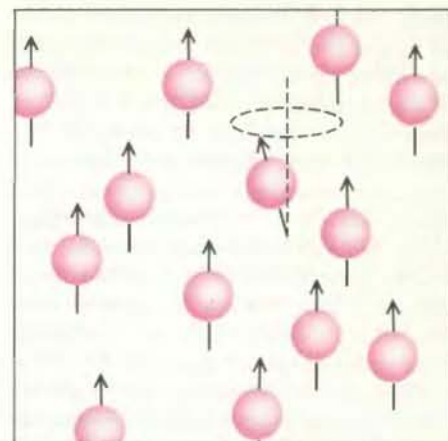
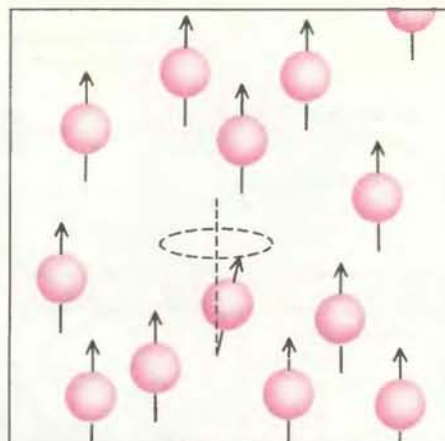
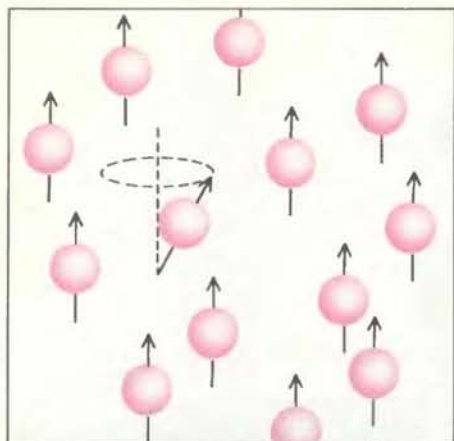
Предположим теперь, что образец газообразного водорода поляризован и, следовательно, спины всех электронов направлены в одну сторону. В этом случае электроны неразличимы и стремятся избегать друг друга. Поэтому при столкновении атомы водорода не будут сильно сближаться и объединяться в пары. В таких условиях атомарный водород остается устойчивым, и молекулярный водород не образуется. В последние годы в ряде лабораторий разных стран был получен стабилизированный атомарный водород в газообразном состоянии путем спиновой поляризации электронов.

**В** СВОИХ экспериментах мы пытались установить, что произойдет, если спины ядер в атомарном водороде и в гелии-3 будут поляризованы. При этом атом водорода «дважды поляризован»: спины и электрона, и ядра имеют определенную ориентацию. Поляризация электронов в основном состоянии гелия-3 не происходит: два электрона в атоме гелия имеют противоположно направленные спины, в результате чего их полный спин равен нулю.) Эффекты, обусловленные поляризацией ядерных спинов, поразительны, особенно в связи с тем, что крошечный магнитный волчок, соответствующий спину каждого ядра, практически нечувствителен к окружению данного атома. Причина изоляции ядерного спина от окружающего мира состоит в том, что сила, характеризующая его магнитное взаимодействие, примерно в 1000 раз слабее, чем соответствующая сила для спина электрона в атоме. Эффекты, обусловленные поляризацией ядерных спинов, возникают, конечно, не за счет связанных со спинами магнитных взаимодействий. Резкие изменения макроскопических свойств определяются принципами, заложенными в основу квантовомеханического описания систем, состоящих из тождественных частиц.

Важный аспект наших исследований состоит в том, что они проводились при очень низких температурах, не более чем на несколько градусов превышающих абсолютный нуль.



**ДРУГОЕ ЯВЛЕНИЕ, СВЯЗАННОЕ СО СПИНОМ** — спиновые волны, наблюдалось в Корнеллском университете группой исследователей, в которую входил один из авторов данной статьи (Фрид). Спиновая волна в поляризованном газе представляет собой коллективную колебательную моду системы ядерных спинов, соответствующую их прецессии. Сначала с помощью микроволнового излучения проводят диссоциацию молекул водорода ( $H_2$ ) на отдельные атомы. Затем водород охлаждается, подвергается спиновой поляризации и заполняет небольшую камеру, помещенную в сильное магнитное поле. Спиновые волны возбуждаются методом импульсного ЯМР, в котором короткий радиочастотный импульс используется для отклонения ядерных спинов на малый угол от их первоначальной ориентации, чтобы они прецессировали вокруг направления статического магнитного поля со скоростью, пропорциональной напряженности поля. Вращающиеся спины создают поперечную намагниченность (перпендикулярную основному направлению поляризации). Поперечная намагниченность индуцирует электрическое напряжение, которое усиливается и регистрируется, а затем проводится анализ его частотного спектра.



**ПРОИСХОЖДЕНИЕ СПИНОВЫХ ВОЛН**, как и резких изменений теплопроводности, можно объяснить на основе квантовой механики. Представим себе, что в систему атомов со спинами, направленными вверх, вносится пробный атом, имеющий слегка наклоненный ядерный спин (*слева*). При столкновении пробного атома с любым другим атомом угол наклона остается практически неизменным, однако

пробный спин слегка поворачивается вокруг вертикальной оси (*в середине*). Последующие столкновения почти совсем не отличаются друг от друга по влиянию на пробный спин. Поэтому случайные столкновения атомов приводят в конце концов к результирующему вращению пробного спина вокруг вертикальной оси (*справа*).

Низкие температуры необходимы из-за присущему материи корпускулярно-волновому дуализму. Частице ставится в соответствие некоторая волна, называемая волной де Бройля, длина которой обратно пропорциональна импульсу частицы. Чем ниже температура, тем больше длина волны де Бройля, поскольку частица замедляет движение и ее импульс уменьшается. В соответствии с принципом Паули два фермиона, находящихся в одном спиновом состоянии, не могут подойти друг к другу ближе, чем на расстояние порядка длины волны де Бройля. Чтобы квантовые эффекты, связанные с неразличимостью частиц, начали играть существенную роль при столкновении между двумя фермионами, длина волны де Бройля должна превысить то расстояние, на котором силы межатомного взаимодействия еще имеют заметную величину. Поэтому для максимального возможного увеличения длины волны де Бройля нужно понижать температуру.

Влияние спиновой поляризации на теплопроводность сравнительно легко можно понять. Предположим, что спины атомов в газообразном гелии-3 поляризованы, и исследуемый образец поддерживается при низкой температуре, например равной 1 К. Если обычный неполяризованный газообразный гелий-3 находится в таких условиях, то атомы, имеющие одинаковое спиновое состояние, будут избегать друг друга, поскольку гелий-3 — составной фермион, однако атомы в различных спиновых состояниях будут сталкиваться и взаимодействовать между собой. В отличие от этого в полностью поляризованном газооб-

разном гелии-3 атомы почти совсем не будут «замечать» друг друга и столкновения между ними станут происходить значительно реже. Создается впечатление, что полная поляризация ядерных спинов «выключает» любое взаимодействие между атомами.

«Выключение» межатомных взаимодействий приводит к существенному изменению такой важной физической величины, как длина свободного пробега (среднее расстояние, проходимое атомом в газе между двумя последовательными столкновениями). В идеальном газе вообще не должно быть никакого взаимодействия между атомами, поэтому длина свободного пробега для них стала бы бесконечной. Атомы, «не замечающие» друг друга, пролетали бы по прямолинейным траекториям от одной стенки сосуда с газом до другой. В реальных газах атомы сталкиваются между собой, и их поведение становится идеальным только для бесконечно разреженного газа. Однако именно поведение, свойственное идеальному газу, следует ожидать в случае газообразного поляризованного гелия при сверхнизких температурах. В этих условиях гелий-3 ведет себя как «искусственный» идеальный газ, и длина свободного пробега его атомов стремится к бесконечности. Подобные эффекты были предсказаны в 1977 г. двумя советскими физиками Е. П. Башкиным и А. Э. Мейеровичем из Института физических проблем им. С. И. Вавилова АН СССР применительно к разбавленным растворам жидкого гелия-3 в сверхтекучем гелии-4. Такая система в некоторых отношениях может быть весьма

близкой по свойствам к газу. (Ядро гелия-4, который более распространен в природе, чем гелий-3, состоит из двух протонов и двух нейтронов; сверхтекучая жидкость течет без всякого сопротивления.)

Среди физических свойств, зависящих от длины свободного пробега, можно назвать и способность газов проводить тепло. Если две стенки сосуда с газом поддерживаются при разных температурах, то поток тепла, проходящий через систему, оказывается пропорциональным длине свободного пробега: чем она больше, тем эффективнее «горячие», т. е. быстрые, атомы переносят свою энергию от теплой стенки к холодной. Таким образом, газ, состоящий из поляризованных атомов гелия-3, должен иметь значительно более высокую теплопроводность, чем неполяризованный аналог: теплопроводность стремится к бесконечности по мере увеличения длины свободного пробега. По аналогичным причинам должна расти и вязкость такого газа, однако это явление труднее объяснить столь же наглядно.

Эффекты, связанные с поляризацией ядер атомов водорода, должны иметь прямо противоположный характер. Это обусловлено тем, что атомы водорода являются бозонами (точнее составными бозонами, образованными двумя фермионами) и, следовательно, как тождественные частицы они легче сближаются друг с другом. Поляризация спинов должна приводить к уменьшению средней длины свободного пробега, а это вызовет снижение вязкости и теплопроводности. Однако даже в неполяризованном газе бозоны обладают боль-

шей свободой для взаимодействия между собой, поэтому эффекты, связанные с поляризацией, в этом случае не столь ярко выражены, как для фермионов, и не столь интересны для экспериментального исследования.

**ВЛИЯНИЕ** спиновой поляризации на теплопроводность газообразного гелия-3 наблюдалось и количественно исследовалось в Высшей нормальной школе в Париже группой ученых в составе Р.-Ж. Нашера, Ж. Тастевен, М. Ледюк, С. Крамптона, Д. Беттса, Дж. Даньелза, а также одного из авторов данной статьи (Лалё). Во-первых, необходимо было поляризовать ядра. Для этого использовалась лазерная оптическая накачка. Метод оптической накачки был разработан в 1950 г. А. Кастлером, работавшим в то время в Высшей нормальной школе. Метод заключается в том, что пучок света с круговой поляризацией (т. е. света, в котором связанное с ним электрическое поле вращается вокруг направления распространения световой волны) применяется для передачи атомам газа момента количества движения и поляризации их спинов. Таким способом можно поляризовать многие атомы, однако в случае гелия появились специфические трудности, которые были устранены в 1963 г. Ф. Коулгроувом, Л. Ширером и Г. Уолтерзом из фирмы Texas Instruments; впоследствии их подход был усовершенствован М. Ледюк и ее коллегами из Высшей нормальной школы.

Во-вторых, задача состояла в достижении ядерной поляризации в холодном газе при температуре всего несколько кельвинов, когда становятся существенными квантовые эффек-

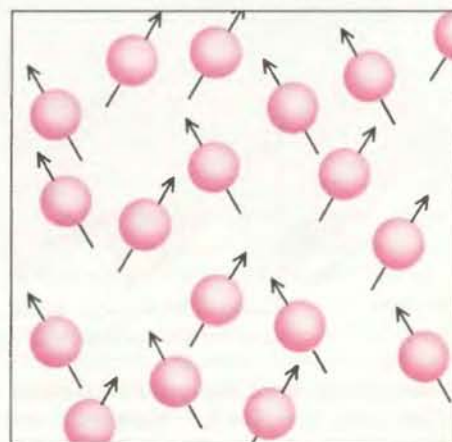
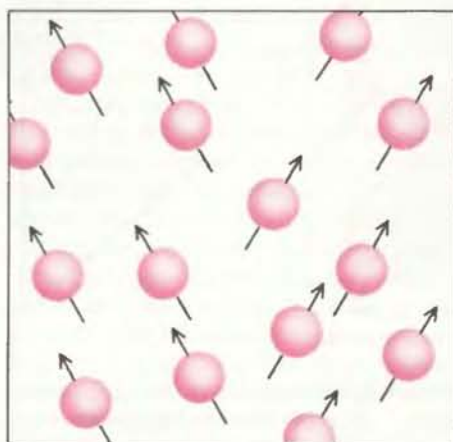
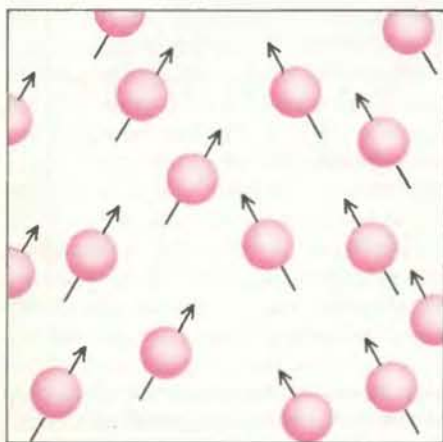
ты. В Высшей нормальной школе эта задача решалась с помощью специального сосуда, называемого двойной ячейкой. Сосуд состоит из двух камер, причем одна из них имеет комнатную температуру и в ней ядра гелия поляризованы путем оптической накачки, а другая камера, в которой проводятся измерения, поддерживается при низкой температуре. Две камеры соединяются трубкой длиной около 1 м, в которой атомы диффундируют за счет хаотического теплового движения. В результате диффузии происходит перенос поляризации газа от камеры, имеющей комнатную температуру, к газу в холодной измерительной камере. Чтобы минимально снизить адсорбцию и взаимодействие атомов со стенками холодной камеры, они покрываются твердым молекулярным водородом.

Измерительная камера имеет форму цилиндра высотой около 1 см и диаметром несколько сантиметров. Ее верхняя плоская поверхность находится в контакте с резервуаром, наполненным гелием-4, который служит в качестве охлаждающей жидкости. Температура резервуара может регулироваться в пределах 1 — 4 К. На нижней плоской поверхности камеры прикреплен нагреватель, а сама поверхность находится в контакте с вакуумом. При протекании через нагреватель электрического тока известной величины можно обеспечить прохождение через газ заданного теплового потока, тогда измерение разности температур между двумя плоскими поверхностями позволяет определить коэффициент теплопроводности газа.

Сначала разность температур регистрируют, когда камера заполнена

спин-поляризованным газообразным гелием-3, а затем прикладывается короткий импульс переменного магнитного поля для быстрого разрушения спиновой поляризации. Изменение ядерной поляризации приводит к макроскопическому тепловому эффекту — разность температур между верхней и нижней частями камеры оказывается меньшей, когда газ поляризован. Наблюдаемое изменение температуры согласуется с теоретическими предсказаниями квантовой теории.

**ВЫШЕ** отмечалось, что квантовые эффекты, связанные со спиновой поляризацией ядер в газе, не ограничиваются только изменением теплопроводности. Ранее наблюдалось еще одно явление — спиновые волны, которые возникают как результат коллективного взаимодействия частиц, имеющих спин; возможно, лучше всего они известны по той роли, которую играют в ферромагнетиках. В ферромагнетике спины большого числа электронов ориентированы в одном направлении. Поскольку спин каждого электрона ведет себя как крошечный магнит, их совместное действие приводит к появлению постоянной намагниченности. Предположим теперь, что все спины выстроены (если это необходимо, с помощью внешнего магнитного поля) в одном направлении, например вверх, кроме одного, который направлен вниз. Этот единственный спин можно рассматривать как «возбуждение с переворотом спина», которое быстро распространяется по ферромагнетику при взаимодействии со спинами окружающих электронов, «переворачивая» один за другим соседние спины. По-



**СПИНОВЫЕ ВОЛНЫ** в газообразном образце обычно возникают, когда ядерные спины в одной области образца наклонены несколько иначе, чем в другой (*слева*). Поперечная намагниченность, характерная для каждой из таких областей, может переноситься по образцу в неизменном виде благодаря суммарному эффекту последовательных столкновений атомов; такое поведение намагниченности

можно рассматривать как распространение спиновых волн (*в середине*). Хаотическое тепловое движение, которое способствует возникновению спиновых волн, может приводить и к их полному затуханию. При тепловом движении атомы случайным образом переходят из области, где поперечная намагниченность имеет одно направление, в область, где она направлена уже по-иному (*справа*).

добная делокализация «перевернутого» спина представляет собой простой пример спиновой волны.

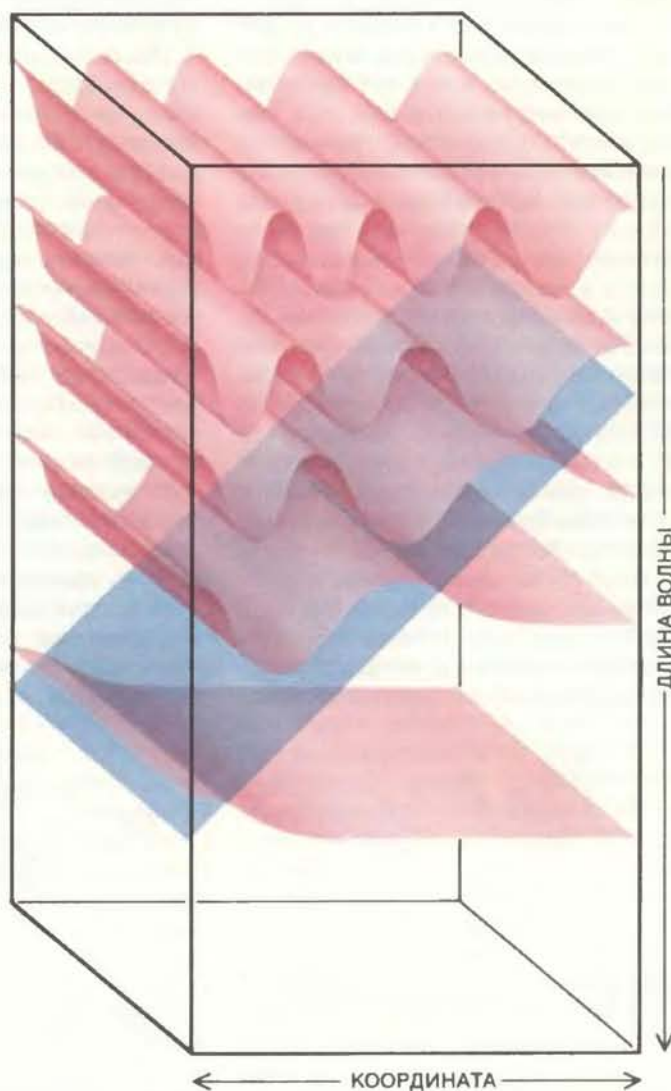
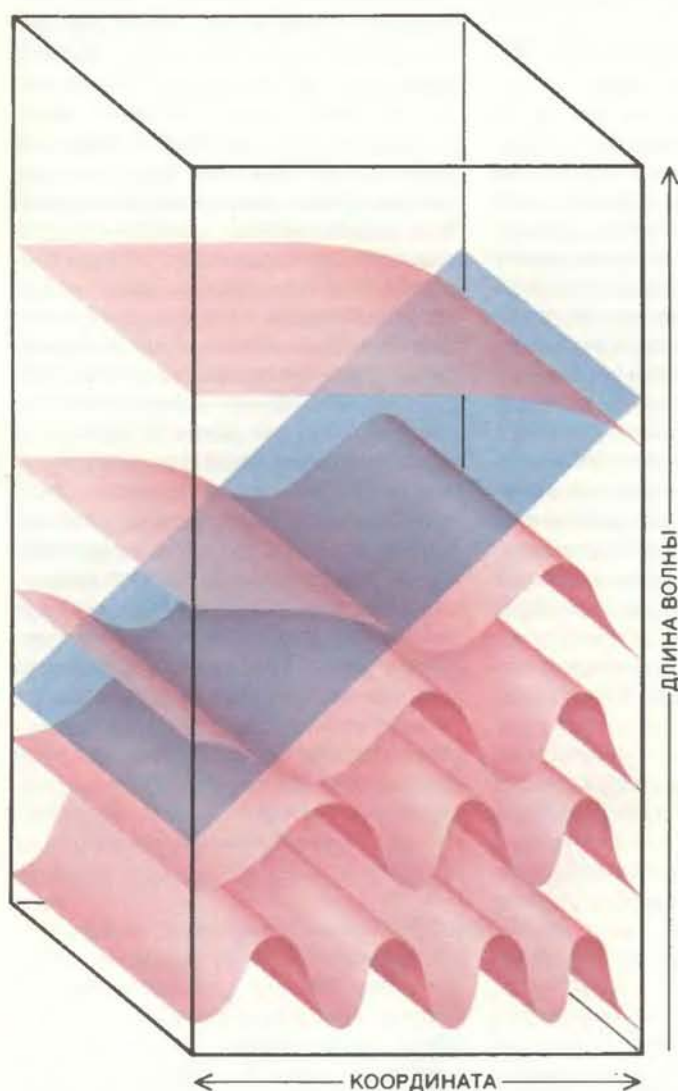
Природа спиновых волн в газе\* несколько иная, так как атомы в этом случае не фиксированы в пространстве, а постоянно движутся. Кроме того, в распространении наблюдавшихся спиновых волн участвовали спины атомных ядер, которые довольно хорошо экранированы от внешнего ми-

ра. Как же могут редкие случайные столкновения атомов в газе приводить к корреляции между спинами многих атомов, которая обуславливает существование спиновых волн?

Ответ снова следует искать в особенностях квантового поведения тождественных частиц. Как мы уже упоминали, результат столкновения между двумя одинаковыми атомами зависит от направления спинов их ядер, даже если силы межатомного взаимодействия не имеют никакого отношения к ядерным спинам. Предположим, например, что в набор тождественных атомов с направленными вверх спинами вносится пробный атом со спином ядра, слегка наклоненным по отношению к спинам всех

других ядер. (Такой спин можно представить как векторную сумму состояния со спином «вверх» и малой добавки, отвечающей противоположно направленному спину.) Когда пробный атом сталкивается с любым другим атомом, величина угла наклона остается практически неизменной, однако полный спин пробного атома поворачивается вокруг вертикальной оси. (Это происходит вследствие того, что направленная вверх компонента спина пробного атома ведет себя как неразличимая при столкновении с атомом, находящимся в состоянии со спином «вверх», а компонента, направленная вниз, участвует в столкновении различных между собой частиц.) Влияние последовательных

\* Впервые существование спиновых волн в газах было предсказано в 1981 г. советским физиком-теоретиком Е.П. Башкиным (см. Е.П. Башкин. Спиновые волны в поляризованных парамагнитных газах. — Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 33, с. 11.) — Прим. ред.



ЭФФЕКТ, АНАЛОГИЧНЫЙ ПРИНЦИПУ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГЕЙЗЕНБЕРГА, можно наблюдать в спин-поляризованном атомарном водороде. Согласно принципу неопределенности, нельзя одновременно измерить координату и импульс квантовой частицы: если попытаться измерить координату частицы, то сам процесс измерения вызывает такое изменение ее состояния, которое приведет к усилению ее локализации в пространстве. Аналогично спиновые волны локализуются при внесении измерительной ячейки в магнитное поле с постоянным градиентом, при этом напряженность поля на одной из сторон ячейки оказывается низкой, но, линейно возрастая вдоль

ячейки, достигает высокого значения на другой ее стороне. Градиент поля приводит к локализации спиновых волн на одной из двух сторон ячейки, а где именно это происходит, в некоторой степени зависит от того, с какими частицами связано появление спиновых волн: со спин-поляризованными фермионами или с частицами, называемыми бозонами. Спиновые волны в системе дважды спин-поляризованных атомов водорода, ведущих себя как составные бозоны, должны попасть в ловушку на той стороне ячейки, где напряженность поля выше (*слева*). Если же частицы ведут себя как фермионы, то захват спиновых волн произойдет там, где напряженность поля ниже (*справа*).

столкновений на пробный спин будет почти одинаково, поскольку он сталкивается только с атомами, спин которых направлен вверх, и, следовательно, суммарное действие случайных столкновений атомов ведет к вращению пробного спина вокруг вертикальной оси.

Пусть теперь спины ядер в одной части образца наклонены не так, как в других его частях. Макроскопическое проявление наклона ядерных спинов в некоторой области образца состоит главным образом в возникновении поперечной намагниченности (перпендикулярной основному направлению поляризации). Эта поперечная намагниченность в неизменном виде «переносится» по образцу благодаря суммарному действию последовательных межатомных столкновений. Спины стремятся повернуться вокруг направления средней намагниченности, причем частота их вращения зависит от степени поляризации. Подобная коллективная колебательная мода в газе и есть спиновая волна. Чем сильнее проявляются квантовые эффекты, тем интенсивнее оказываются такие осцилляции.

Спиновые волны в газе имеют ту интересную особенность, что тепловое движение, приводящее к их образованию за счет случайных межатомных столкновений, в то же время ответственно и за затухание этих волн. Обычно газообразный образец, в котором распространяются спиновые волны, имеет несколько областей с разными значениями поперечной намагниченности. В результате теплового движения атомы в процессе диффузии переносятся в конце концов из области, где поперечная намагниченность имеет одно направление, в область, где она направлена по-другому. С течением времени смешивание таких областей приведет к разупорядочиванию поперечной намагниченности, и преимущественное направление намагниченности в образце перестает существовать. Относительная эффективность переноса спиновых волн в газе по сравнению с разупорядочиванием поперечной намагниченности при тепловом движении прямо пропорциональна длине волны де Бройля для атомов и обратно пропорциональна радиусу межатомного взаимодействия (отношение этих двух расстояний следует еще умножить на величину поляризации ядерных спинов с учетом ее знака).

**НАБЛЮДЕНИЕ** спиновых волн в газе было осуществлено в Корнеллском университете Б. Джонсоном, Дж. Денкером, Н. Бигелоу, Л. Леви, Д. Ли и одним из авторов данной статьи (Фридом). В качестве объ-

екта исследования был выбран газообразный атомарный водород, поскольку он имеет самую малую атомную массу, и, следовательно, наибольшую длину волны де Бройля. В этом случае достигается максимальная эффективность переноса спиновых волн. Газ получают путем диссоциации молекулярного водорода под действием микроволнового излучения. Отдельные атомы водорода проходят через трубку, покрытую изнутри тефлоном — пластиком, препятствующим прилипанию, и попадают в ее низкотемпературную часть, покрытую пленкой из сверхтекучего гелия-4. Покрывают из тефлона и жидкого гелия используют, чтобы свести к минимуму рекомбинацию атомарного водорода в молекулярный на стенках трубки, поскольку атомарный водород прилипает к этим покрытиям в гораздо меньшей степени, чем к другим материалам.

Затем атомарный водород поступает в ячейку объемом  $0,3 \text{ см}^3$ , имеющую экстремально низкую температуру (всего на несколько десятых градуса выше абсолютного нуля). Измерительную ячейку помещают в сильное магнитное поле, притягивающее атомы, у которых спин электрона антипараллелен полю (со спином «вниз»), и отталкивающие атомы со спином электрона, параллельным полю (со спином «вверх»). В результате в ячейке остаются только атомы, имеющие электрон со спином «вниз». Другими словами, электроны в газе оказываются спин-поляризованными. Как отмечалось выше, при этом молекулярный водород не образуется. Таким образом обеспечивается стабильность газообразного атомарного водорода.

При этом спины ядер атомов водорода могут быть либо параллельны, либо антипараллельны спинам поляризованных электронов. Атомы с ядерными спинами, направленными антипараллельно спинам электронов, т. е. вверх, становятся слегка деполаризованными, рекомбинируют друг с другом и осаждаются на стенках ячейки, где постепенно образуется слой твердого молекулярного водорода. Через несколько минут в ячейке остаются только дважды поляризованные атомы, у которых спины ядер параллельны спинам электронов (и антипараллельны магнитному полю). Этот эффект был впервые продемонстрирован Т. Грейтеком и Д. Клеппнером из Массачусетского технологического института.

Спиновые волны в системе поляризованных атомных ядер удалось выявить с помощью метода импульсного ядерного магнитного резонанса (ЯМР) сотрудникам Корнеллского

университета. В этом методе короткий радиочастотный импульс используется для отклонения ядерных спинов на небольшой угол от их первоначальной ориентации, чтобы они прецессировали, т. е. вращались вокруг направления статического магнитного поля со скоростью, пропорциональной напряженности этого поля. Вращающиеся спины приводят к появлению вращающейся поперечной намагниченности, индуцирующей электрическое напряжение, которое усиливается и регистрируется, а затем проводится анализ его частотного спектра.

**ВАЖНАЯ** особенность эксперимента, проведенного в Корнеллском университете, состоит в том, что на статическое магнитное поле накладывается постоянный градиент магнитного поля; при этом полная напряженность поля невелика на одной стороне измерительной ячейки и, линейно возрастая вдоль ячейки, достигает высокого значения на другой ее стороне. В результате ядерные спины в различных частях измерительной ячейки прецессируют с разными скоростями вокруг направления поля. Обычно набор всевозможных частот вращения ядерных спинов, отвечающих разным частям измерительной ячейки, образует частотный спектр в виде широкой резонансной линии. С таким характерным спектром фактически имеют дело в других приложениях ЯМР при получении пространственных изображений различных материалов, а также в методе ЯМР-томографии, используемом в медицине. Однако уникальной особенностью экспериментальных результатов, полученных в Корнеллском университете, является наличие ряда резко выделяющихся узких резонансных пиков, наложенных на широкую резонансную линию. Эти пики отвечают спиновым модам, возбуждаемым в измерительной ячейке.

Градиент магнитного поля способствует проявлению также еще одного примечательного эффекта. Этот эффект представляет собой аналог принципа неопределенности Гейзенберга, согласно которому нельзя определить одновременно значения координаты и импульса квантовой частицы. Из принципа неопределенности следует, что при попытке измерения координаты частицы сам процесс измерения изменяет состояние частицы таким образом, что в результате она становится более локализованной в пространстве.

Аналогично спиновые волны в измерительной ячейке оказываются локализованными в пространстве при приложении градиента поля для опре-

деления их положения. В отсутствие градиента поля спиновые волны локализованы, однако при его появлении спин-волновые моды локализуются на одной из двух сторон измерительной ячейки. Градиент поля создает «ловушку» для спиновых волн и позволяет их обнаружить с помощью метода ЯМР.

Спиновые волны оказываются захваченными в ловушку либо на той стороне измерительной ячейки, где полная напряженность магнитного поля мала, либо на другой стороне, отвечающей большей напряженности поля. Это один из факторов, позволяющих определить, являются ли атомы газа фермионами или бозонами. Согласно теории, разработанной главным образом Л. Леви и А. Рукенштейном из Корнеллского университета, спиновые волны в системе дважды поляризованных атомов водорода, которые, вообще говоря, ведут себя как составные бозоны, должны оказаться в ловушке с той стороны, где напряженность поля более высокая. Экспериментальные данные согласуются с теорией и подтверждают тот факт, что при подходящих условиях атомы водорода действительно ведут себя как составные бозоны.

В заключение отметим, что существование спиновых волн было обнаружено и в газообразном гелии-3. Эта работа проводилась группой сотрудников Высшей нормальной школы. Хотя спиновые волны проявляются здесь не столь наглядно, как в атомарном водороде, их существование имеет не менее важное значение. Полученные результаты хорошо согласуются с теоретическими предсказаниями К. Люийе из Высшей нормальной школы в Париже и одного из авторов данной статьи (Лалё).

**В**ПОЛНЕ возможно, что по мере проведения все большего числа экспериментов со спин-поляризованными газами разработанные методы послужат источником для многих практических приложений. Уже сейчас некоторые из этих методов успешно применяются рядом исследовательских групп при разработке низкотемпературного лазера на атомарном водороде, который мог бы быть использован в качестве сверхточных атомных часов. Физики-ядерщики работают над применением спин-поляризованного гелия-3 в качестве мишени для рассеяния частиц. Однако в ближайшем будущем реальная значимость спин-поляризованных газов будет, по-видимому, состоять в возможности исследовать, исходя из первых принципов, разнообразные квантовые явления, в том числе интегральные гидродинамические эффекты.

## Компенсация ущерба

**У** БОЛЬНЫХ раком вследствие лучевой или химиотерапии часто уменьшается количество клеток крови из-за того, что угнетается деятельность костного мозга, клетки которого дают начало форменным элементам крови. Уменьшение количества кровяных клеток сопровождается также некоторые наследственные расстройства. При синдроме приобретенного иммунного дефицита как само заболевание, так и применение противовирусных лекарств типа азидотимидина приводят к сокращению числа клеток крови. А поскольку многие клетки крови являются важными компонентами иммунной системы, значительно ослабляется способность организма противостоять инфекции.

На перспективный способ восстанавливать численность клеток крови указывают результаты некоторых фундаментальных исследований. Идентифицированы и охарактеризованы гликопротеины, которые стимулируют размножение и развитие клеток крови. В норме эти белки содержатся в организме в очень малых количествах. В настоящее время возможно производить подобные факторы роста в нужном количестве при помощи методов генетической инженерии.

Первые испытания таких препаратов дают обнадеживающие результаты. Один из них — эритропоэтин; этот белок стимулирует образование эритроцитов (красных кровяных клеток). Уже показано, что полученный при помощи методов генетической инженерии эритропоэтин значительно увеличивает количество клеток крови у больных с анемией, возникшей вследствие процедуры диализа, которая применяется при заболеваниях почек. Сейчас проверяется действие эритропоэтина при анемии, обусловленной СПИДом.

Образование в организме белых клеток крови стимулируется белками, называемыми колониестимулирующими факторами. Эти белки, которых известно шесть, участвуют в управлении иммунной системой, стимулируя клетки костного мозга к делению и дифференцировке с образованием различных белых клеток крови. Колониестимулирующий фактор, обозначаемый G-CSF (от. англ. granulocyte colony-stimulating factor), сейчас проходит клинические испытания. В организме G-CSF выделяется клетками, называемыми макрофагами, когда они сталкиваются с бакте-

риями. Он вызывает быстрое усиление образования гранулоцитов, которые играют важную роль в борьбе с инфекцией.

В клинических испытаниях, проведенных в Манчестере (Великобритания), у 12 больных мелкоклеточным раком легких, прошедших курс химиотерапии, G-CSF вызвал всплеск количества гранулоцитов и, по-видимому, благодаря этому они избегли инфекций. В других клинических испытаниях М. Мур из Онкологического центра им. Слоана—Кеттеринга в Нью-Йорке обнаружил, что G-CSF существенно ускоряет восстановление численности гранулоцитов после химиотерапии при далеко зашедшем раке мочевого пузыря.

В Онкологическом институте Даны—Фарбера в Бостоне Дж. Гриффин и К. Антман получили довольно многообещающие результаты с другим представителем колониестимулирующих факторов — GM-CSF (от англ. granulocyte-macrophage colony-stimulating factor): у взрослых больных саркомой этот белок улучшал состав крови при синдроме миелодисплазии, который иногда перерастает в лейкоз.

Исходя из этих результатов и того факта, что колониестимулирующие факторы, по всей видимости, не обладают сколько-нибудь существенной токсичностью, Гриффин считает, что эти вещества открывают новые пути применения химиотерапевтических средств в более высоких дозах, чем допустимы сейчас из-за угнетения иммунной системы. По мнению Ф. Апельбаума из Онкологического центра Фреда Хатчинсона в Сиэтле, если станут возможными высокие дозы химиотерапевтических препаратов, не будет безответственным предполагать, что колониестимулирующие факторы ускоряют лечение рака.

Колониестимулирующие факторы можно использовать и иначе. Они позволяют стимулировать восстановление костного мозга у тех больных раком, которым его удалили для проведения лучевой терапии, что практикуется при некоторых лейкозах. Как считает Дж. Группэн из Медицинской школы Гарвардского университета, GM-CSF в сочетании с другими препаратами имеет смысл применять при СПИДе, хотя колониестимулирующие факторы не усиливают образования тех клеток крови (Т-лимфоцитов), которые в основном поражаются при этом заболевании. Мур полагает, что колониестимулирующие факторы могут оказывать лечебное действие при некоторых лейкозах. Лей-

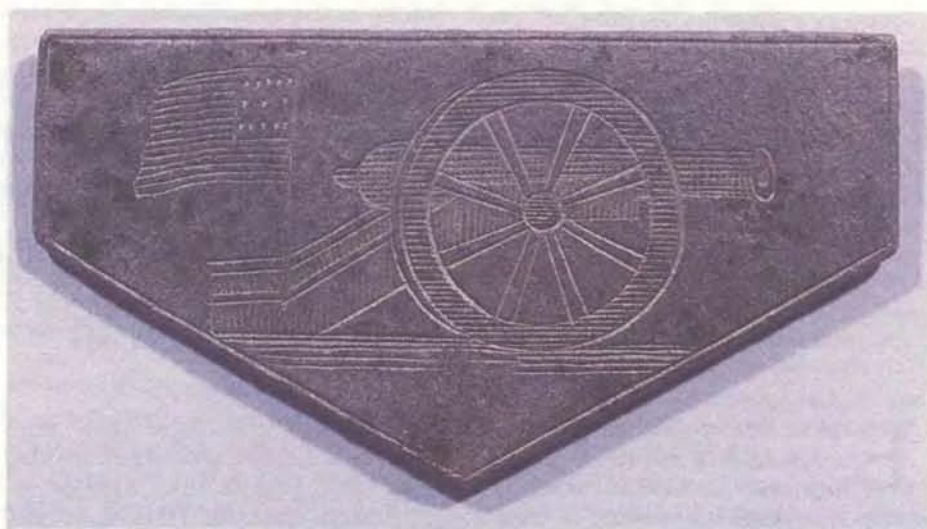
козные клетки беспрестанно делятся (как если бы они задержались на некой ранней стадии развития), а колониестимулирующие факторы заставляют их завершить процесс созревания и прекратить делиться.

### Наиболее раннее изображение государственного флага США

**У** БОЛЬШИНСТВА американцев государственный флаг США обычно ассоциируется с именем художницы Бетси Росс, с Континентальным конгрессом, с отрядами в горах Грин-Маунтинс. А между тем у историков совсем мало свидетельств, что государственный флаг страны действительно развевался в большинстве сухопутных сражений в период Войны за независимость (1775—1783 гг.). И вот недавно в шт. Нью-Джерси археологами сделана находка, свидетельствующая о том, что изображение государственного флага имело в тот период гораздо большее распространение, чем предполагалось. Эта находка представляет собой две латунные пластины с выгравированными на них наиболее ранним изображением звездно-полосатого государственного флага США.

Пластины были найдены при раскопках в Плакмине (графство Сомерсет), в местах, связанных с событиями Войны за независимость. Зимой 1778—1779 гг. по приказу генерала Г. Нокса здесь были расквартированы подразделения континентальной артиллерии численностью более 1000 чел., а также были размещены склад военного имущества и группы тылового обеспечения. Указанные раскопки ведутся с 1980 г. в соответствии с проектом Pluckemin Archaeological Project. Результаты этой работы показывают, что, вопреки бытующему представлению о континентальной армии, данный лагерь был хорошо оборудован как в военном, так и в хозяйственном отношении.

Латунные пластины были обнаружены в углу территории лагеря, рядом с тем местом, где размещались когда-то кузница, оружейная мастерская и мастерская жестянщика. Одна пластина находилась прямо на поверхности, другая — в земле, чуть ниже ее. Как рассказал Джон Л. Сейдел из Университета Ратгерса, руководитель указанного проекта, исходя из такого положения пластин, сначала было сделано предположение, что они попали в это место недавно. Однако химический анализ показал, что по своему составу они идентичны дру-



ЛАТУННАЯ ПЛАСТИНА с наиболее ранним изображением государственного флага США. Пластина шириной около 57 мм служила, вероятно, для украшения портупеи. Обнаружена при раскопках укрепленного лагеря в Плакмине, шт. Нью-Джерси, где зимой 1778—1779 гг. были расквартированы артиллерийские подразделения. Гравер по ошибке изобразил 14 полос. (Фотография Криса Бёка.)

гим предметам из латуни, которые также были найдены во время этих раскопок. Поэтому, несомненно, пластины относятся к периоду Войны за независимость.

Ширина каждой из пластин около 57 мм, что как раз соответствует ширине ремня, к которому солдаты подвешивали саблю и штык. Небольшие ушки на обратной стороне пластин, вероятно, служили для их закрепления на конце кожаного ремня. На лицевой стороне пластин выгравировано изображение пушки, на лафете которой укреплен развевающийся флаг. Хотя на каждом из флагов по 13 звезд, один из них имеет 14 полос, другой — 12. Видимо, гравер был незнаком с точным изображением флага и допустил ошибку.

Поскольку военный лагерь располагался здесь непродолжительное время, оказалось возможным довольно точно установить время изготовления пластин — между 7 декабря 1778 г. (время прибытия в Плакмин артиллерийских подразделений) и началом июня следующего года, когда войска двинулись на север страны в начале летней кампании. Указанная находка с изображением звездно-полосатого флага — первая, относящаяся к этому периоду. Флаг был утвержден на Континентальном конгрессе еще в июне 1777 г., а наиболее раннее его изображение (в дневниковых записях майора Джона Росса) относилось к июлю 1779 г.; самый старый сохранившийся до сегодняшнего дня флаг страны развевался в 1781 г. во время сражения в Гилфорд-Корт-Хаусе, шт. Северная Каролина.

Многие историки считают, что звездно-полосатый флаг первоначально был военно-морским флагом США; его изображения на американских судах можно видеть на картинах 1779 г. Находка в Плакмине позволяет предположить, что флаг развевался также и на суше. «Мне кажется, — говорит Сейдел, — что если бы флаг не был известен, то вряд ли стали бы носить с собой его изображение. Похоже, что он имел гораздо большее распространение в начале Войны за независимость, чем считалось ранее».

### НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

480064 Алма-Ата,  
просп. Абая, 35,  
магазин «Прогресс»

370105 Баку,  
ул. Кецховели, 556/557,  
квартал № 17, магазин № 28

232000 Вильнюс,  
просп. Ленина, 29,  
магазин «Техника»

603006 Горький,  
ул. Горького, 156,  
магазин № 29 «Наука»

141908 Дубна,  
ул. Векслера, 11,  
головной магазин



# Поведение усатых китов

*Многими чертами общественного поведения и поведения, связанного с питанием, морские млекопитающие напоминают наземных растительноядных млекопитающих, от которых они произошли около 55 млн. лет назад*

БЕРНД ВЮРСИГ

**Б**ОЛЕЕ 50 млн. лет назад предки современных китов — родичи наземных копытных, таких как олень и антилопа, — покинули сушу и переселились в море. На протяжении миллионов лет происходила их дивергенция, и в настоящее время киты насчитывают более 90 видов, обитающих во всех океанах земного шара; сегодня их можно встретить на юге — до берегов Антарктиды, а на севере — до кромки арктических льдов. Биологи только теперь начинают понимать, что поведение этих величественных обитателей глубин столь же сложно, как и поведение некоторых наземных млекопитающих. В самом деле, как выясняется, по уровню организации сообществ киты сравнимы с травоядными копытными, а в некоторых отношениях — с приматами и наземными хищниками.

Картина поведения китов начала вырисовываться в результате проведенных в последние десять лет интенсивных исследований, которые были отчасти стимулированы угрозой существованию этих животных, создаваемой китобойным промыслом. До 1970-х годов все наши сведения о китах ограничивались записями в судовых журналах, которые вели капитаны китобоев в XIX и XX вв. Некоторые из этих записей содержат удивительно подробные данные о питании и общественном поведении разных видов, однако в большинстве случаев речь в них идет о китах, которых преследуют или загарпунили, т. е. находящиеся в стрессовых ситуациях.

В отличие от наземных животных, которых можно наблюдать много дней и даже лет подряд и за которыми можно следовать на протяжении многих километров, китов обычно удается увидеть только тогда, когда они выплывают на поверхность воды, а в таких условиях они проводят лишь 20% времени. Кто-то остроумно заметил, что изучать китов — это все равно что изучать мышей, наблюдая за их хвостами. Тем не менее за последние годы благодаря новым методам в исследовании поведения китов достигнуты заметные успехи.

В течение последних семи лет я вместе со своими коллегами из Морских лабораторий Мосс-Лендинг и с У. Ричардсоном из LGL Ltd. вел наблюдение за гренландскими китами у границы полярных льдов в море Бофорта. Эти исследования не удалось бы осуществить без разнообразных технических средств, созданных за последнее время. С прекрасного наблюдательного пункта — из кабины двухмоторного самолета, летящего на высоте 500 м над океаном (минимальная высота, до которой можно опуститься, не вызвав у китов беспокойства), — мы имели возможность проследить и сделать видеозапись различных типов общественного поведения гренландских китов и их стратегий, связанных с питанием. Кроме того, с помощью гидрофонов (подводных микрофонов), прикрепленных к буям, мы регистрировали издаваемые ими звуки. Слушая китов и наблюдая за ними с самолета, мы могли установить корреляцию между издаваемыми ими звуками и их поведением, а фотографируя каждого кита (по методу, разработанному Р. Пейном из Всемирного фонда диких животных), мы имели возможность в течение длительного времени следить за отдельными животными.

**Н**ЕКОТОРЫЕ из наиболее интересных открытий, сделанных за последнее десятилетие, касаются поведения усатых китов, связанного с питанием. Эти киты принадлежат к подотряду Mysticeti (гладкие киты) — одному из двух подотрядов отряда Cetacea (китообразные). К другому подотряду, Odontoceti, относятся зубатые киты (кашалоты, косатки, дельфины и морские свиньи); у всех них есть зубы, и питаются они относительно крупной добычей — рыбой и головоногими моллюсками.

К подотряду Mysticeti принадлежат виды, у которых с верхней челюсти вместо зубов свисают пластины так называемого китового уса; кромка этих пластин образует бахрому, напоминающую частый гребень. Во время кормежки киты набирают в рот боль-

шие объемы воды вместе с содержащимися в ней мелкими организмами, а затем выталкивают воду наружу сквозь китовый ус; последний служит ситом, отсеживающим пищевые объекты, которые животное заглатывает. Такой специализированный способ питания дает китам возможность поглощать в большом количестве разнообразную пищу — от зоопланктона размером в несколько миллиметров до головоногих моллюсков и рыб. Огромные массы пищи, потребляемой китом, превращаются в китовый жир: так киты запасают энергию, необходимую им для миграций на большие расстояния. Большинство усатых китов примерно шесть месяцев в году кормится в высоких широтах, где много пищи, а затем мигрирует в низкие широты, где вода теплее и больше располагает к спариванию и размножению.

Хотя все усатые киты питаются путем фильтрации, отдельные семейства различаются по расположению пластин китового уса, что отражает и различия в поведении, связанном с питанием, между членами этого подотряда. В настоящее время усатых китов делят на три семейства: Eschrichtiidae, Balaenidae и Balaenopteridae.

Семейство Eschrichtiidae представлено одним видом — серым китом. Пластины китового уса у него низкие, с грубой бахромой. Эти киты иногда питаются мелкими организмами, образующими взвесь в толще воды; чаще же они зачерпывают со дна большое количество мелких ракообразных, известных под названием равноногих. Захватив полную пасть илистого субстрата, киты нередко всплывают на поверхность, прежде чем выпустить воду изо рта. Здесь они попеременно открывают и закрывают рот, оставляя за собой хорошо заметный мутный след. Они оставляют следы и на дне: на тех участках, где кормились киты, можно видеть характерные ямы (см. статью: К. Нельсон, К. Джонсон. Киты и моржи — пахари морского дна, «В мире науки», 1987, № 4).

В семействе Balaenidae четыре вида:



японский кит, южный кит, карликовый кит и гренландский, или полярный, кит. У них пластины китового уса длинные, с тонкой бахромой, хорошо приспособленные для захвата больших количеств свободно плавающих веслоногих и других ракообразных. Эти киты обычно кормятся, медленно проплывая в воде с широко раскрытой пастью.

Наблюдая за гренландскими китами, я и мои коллеги обратили внимание на то, что их поведение, связанное с питанием, значительно варьирует в зависимости от количества пищи. Иногда они кормятся поодиночке, а иногда группами, члены которых действуют синхронно. Кроме того, мы располагаем данными, показывающими, что особенности охоты китов в толще воды, на дне океана или на его поверхности зависят от таких факторов, как сила и направление ветра, соленость, температура, мутность воды и содержание в ней питательных веществ.

О том, как происходит кормление в

толще воды, мы судили на основании поведения гренландских китов на поверхности. Они ныряют на длительное время (оставаясь под водой до 30 мин), возвращаются на поверхность подышать воздухом, а затем вновь ныряют. Находясь на поверхности, они часто испражняются (акт, тесно связанный с кормлением). На участке площадью от 50 до 100 кв. км можно было одновременно видеть от 20 до 30 китов, кормящихся в толще воды.

**СЧИТАЕТСЯ** также, что гренландские киты кормятся и на дне (обычно на глубине менее 60 м), однако неясно, как они это делают, если иметь в виду их длинные пластины китового уса с тонкой бахромой. Мы наблюдали всплывающих на поверхность гренландских китов со стекающей по обе стороны рта грязной водой (у серых китов такое поведение явно связано с кормлением на дне моря). Хотя в местах кормежки гренландских китов не было обнаружено

таких нарушений дна, как ямы, оставляемые серыми китами, в содержимом их желудков были найдены донные организмы.

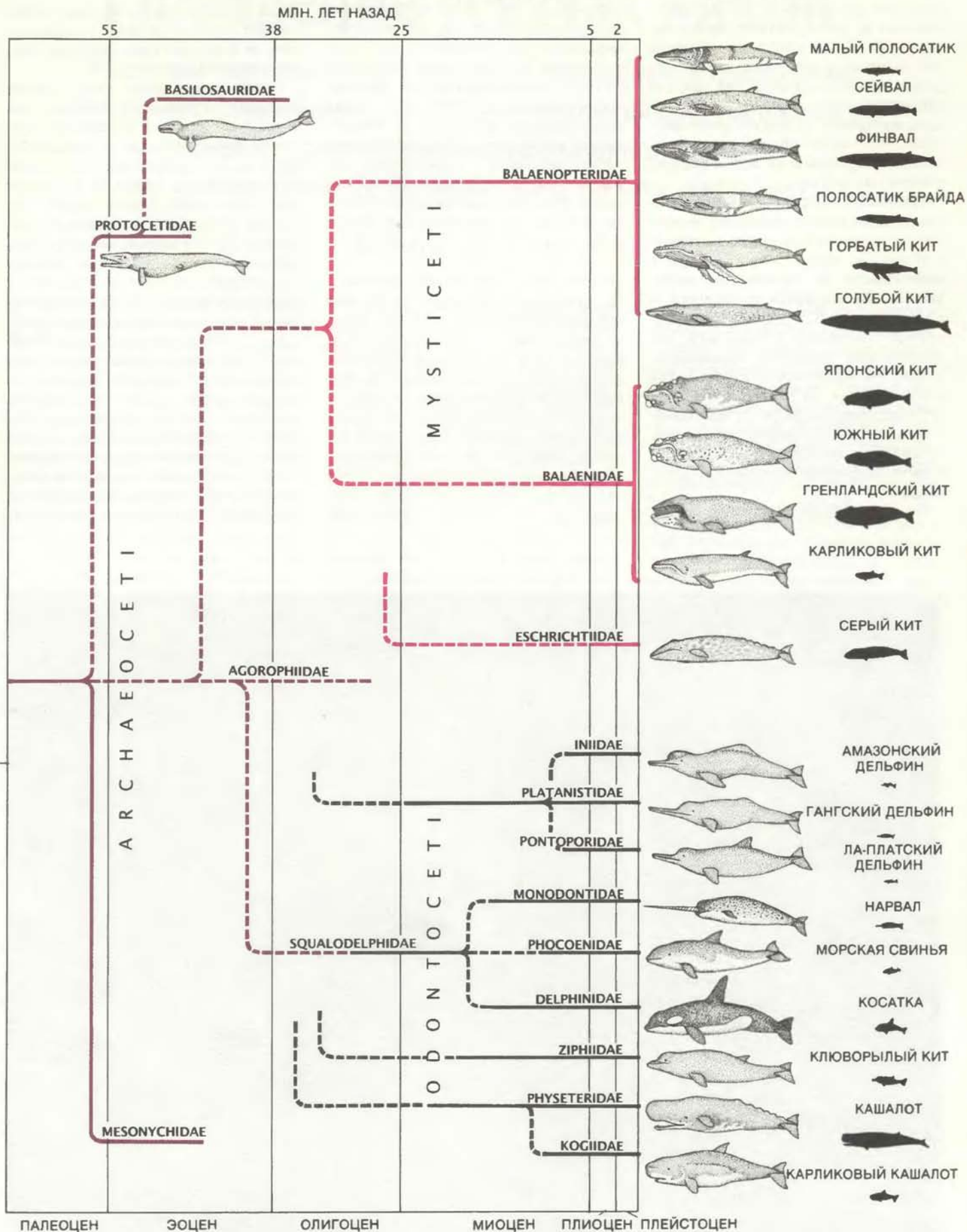
Гренландские киты часто тралят планктон у поверхности воды: они плывут медленно и осторожно, выставив голову из воды и широко открыв пасть. Нижняя челюсть опущена и составляет с верхней челюстью угол, достигающий иногда до 60°. Часто при этом киты собираются группами от 2 до 14 особей, образуя стаю, напоминающую клин гусей: каждый кит следует, держась в стороне от плывущего впереди него на расстоянии от половины до трех длин тела.

Мы наблюдали такое групповое кормление гренландских китов, продолжавшееся более трех часов (максимальное время, в течение которого мы могли кружить над ними до очередной заправки самолета), и нам представляется, что они могут делать это на протяжении нескольких дней. Иногда состав группы изменяется — одни животные отходят, чтобы пе-



САМКА ГОРБАТОГО КИТА с детенышем, сфотографированная на мелководье вблизи Гавайских островов. Китенку меньше трех месяцев, так что он держится около мате-

ри. У всех китов детеныши рождаются хорошо развитыми: они способны самостоятельно плавать, и у них функционируют все органы чувств.



КИТЫ, возникнув примерно 55 млн. лет назад, дивергировали на два подотряда: Mysticeti (усатые киты) и Odontoceti (зубатые киты). К подотряду Mysticeti относятся 11 видов, в том числе голубой кит — самое крупное из современ-

ных животных. Подотряд Odontoceti содержит около 80 видов, среди них — кашалоты, дельфины, морские свиньи. Относительные размеры животных показаны в правом столбце.

рейти в другие группы, а к данной группе присоединяются новые особи, — но ее форма остается более или менее постоянной.

Благодаря такому групповому кормлению гренландские киты, вероятно, получают возможность потреблять организмы, которые иначе были бы им недоступны. Как показало изучение содержимого желудков гренландских китов, основную массу их пищи составляют веслоногие и зуфаузиевые — мелкие быстро плавающие ракообразные, объединяемые под общим названием криля. Тот факт, что гренландские киты, которые плавают медленно, могут захватывать такие большие количества этих ракообразных, означает, что групповое кормление дает определенное преимущество.

Семейство Balaenopteridae содержит шесть видов: малый полосатик, сейвал, финвал, полосатик Брайда, горбатый кит и голубой кит. Пластины китового уса у этих видов средней высоты и бахромы не очень тонкая; во время кормления они широко открывают пасть и делают бросок вперед, растягивая при этом горло (на котором имеются борозды, придающие ему сходство с гармонью). Эти киты кормятся очень активно, и быстрота, с которой они устремляются вперед, несомненно, обусловлена стройностью их тела.

Особый тип кормления, сопровождающийся быстрым броском вперед, характерен для горбатых китов северной части Тихого океана. Устремляясь вперед, эти киты иногда выпускают один за другим воздушные пузыри, быстро плавая кругами под скоплением своих жертв. Пузыри образуют своего рода сеть: киты загоняют в нее жертву, которую затем, поднимаясь к поверхности воды, втягивают в рот.

Такое кормление представляет собой захватывающее зрелище: сначала можно видеть лишь всплывающее кольцо пузырей (диаметром 10—15 м). Спустя несколько секунд, из воды выскакивает кит с разинутой пастью, в которую он захватывает сразу несколько сотен килограммов пищи. Иногда таким способом добывают пищу одновременно несколько китов; неизвестно, однако, можно ли считать подобное поведение кооперацией или это просто реакция на изобилие пищи.

**НАГУЛЯВ ЖИР**, киты мигрируют в низкие широты; многие аспекты их общественного поведения были изучены в этих районах. Не вызывает удивления, что брачное и материнское поведение и обмен информацией

у китов во многом сходны с аналогичными типами поведения у их сухопутных родичей.

Р. Пейн был одним из первых биологов, предпринявших долгосрочную программу исследований общественного поведения усатых китов. В 1970 г. он начал изучать гладких китов у побережья Аргентины, в частности фотографировал их, чтобы запечатлеть отличительные физические особенности каждого животного. За 17 лет он и его сотрудники научились отличать друг от друга более 600 особей, определять их пол и наблюдать в течение длительных периодов за их взаимодействиями.

Изучая процесс ухаживания у китов, Пейн заметил, что самки гладких китов выбирают себе брачного партнера. Они отвергают ухаживания большинства самцов, отдавая предпочтение одному из них. Самка, которую преследуют самцы, предпринимает всевозможные маневры, чтобы уйти от них: быстро отплывает прочь, ныряет на дно на небольшой глубине, производит резкие удары хвостом или держится подле других самок, которые могут отвлечь ее преследователей или преградить им путь. Если эти действия не достигают цели, самка переворачивается брюхом вверх на поверхности воды, опуская голову вниз и поднимая хвост вверх, так что ее половые органы оказываются в воздухе. При таком положении тела самец в одиночку никак не может осуществить совокупление. Однако, предпринимая попытки к бегству, самка иногда многократно обращает внимание на одного определенного самца, которого она чаще всего выбирает себе в брачные партнеры.

Иногда самку окружают несколько агрессивных настроенных самцов. Пейн наблюдал, как один или несколько самцов утаскивали самку, лежащую брюхом вверх, под воду и придавали ей такое положение, чтобы стала возможной копуляция. Половой акт, совершаемый вопреки желанию самки, считается насильственной копуляцией; она была впервые описана у крякв, но затем ее наблюдали у многих видов животных. Сходное поведение было обнаружено в группах, состоявших из 1—3 самок и нескольких (до 7) самцов. Пейн интерпретирует его как одну из форм кооперации между самцами, благодаря которой повышается вероятность того, что по крайней мере одному из них удастся добиться репродуктивного успеха.

Кооперацию среди самцов, при которой данная особь совершает акт, непосредственно выгодный другой

особи того же вида, но без какой-либо явной выгоды для самой себя, называют альтруизмом. Если данный самец благодаря такого рода кооперации повышает собственные шансы на размножение — поскольку оказанная им услуга будет впоследствии ему возвращена, — то подобное поведение называют взаимным альтруизмом. У многих видов взаимный альтруизм, по-видимому, возник в качестве реакции на ситуации, в которых одиночному самцу трудно или даже невозможно спариться с самкой.

С такой интерпретацией соглашались не все ученые. С. Краус и Дж. Прескотт из Аквариума Новой Англии и Р. Ривс из Арктической биостанции в Квебеке на основании изучения брачного поведения японского кита пришли к выводу, что между самцами существует не кооперация, а соперничество за самку. Согласно их гипотезе, «возня» и демонстрация своих физических возможностей, предпринимаемые самцами, позволяют самке оценить и сравнить привлекательность ее претендентов. У большинства видов животных соперничество (особенно между особями, не связанными близким родством) встречается гораздо чаще, чем кооперация.

Дополнительным указанием на то, что самцы вступают в соперничество, служит существование у гренландских, серых и горбатых китов сексуально активных групп, состоящих из 1—2 самок, окруженных 6—7 самцами. У горбатых китов самцы крайне агрессивны: они сильно толкают друг друга, а иногда даже обливают до крови, заставляя предполагать, что между ними происходит борьба за обладание самкой.

Пейн признает, что между самцами может иногда возникать конкуренция, и сообщает, что у них бывает больше царапин, приобретенных в результате агрессивных действий друг друга, чем у самок; тем не менее он продолжает настаивать, что кооперация также является у них одной из важных форм общественного поведения. Я должен подчеркнуть, что, хотя одновременное существование различных стратегий спаривания действительно возможно, ни одна из них не была надежно выявлена ни у гладких, ни у каких-либо других китов, так что все сказанное остается на уровне интересных гипотез, требующих дальнейшего изучения.

Р. Браунелл-младший из Службы рыбных ресурсов и диких животных США и К. Роллс из Смитсоновского института полагают, что у некоторых видов китов репродуктивный успех самцов определяется конкурен-

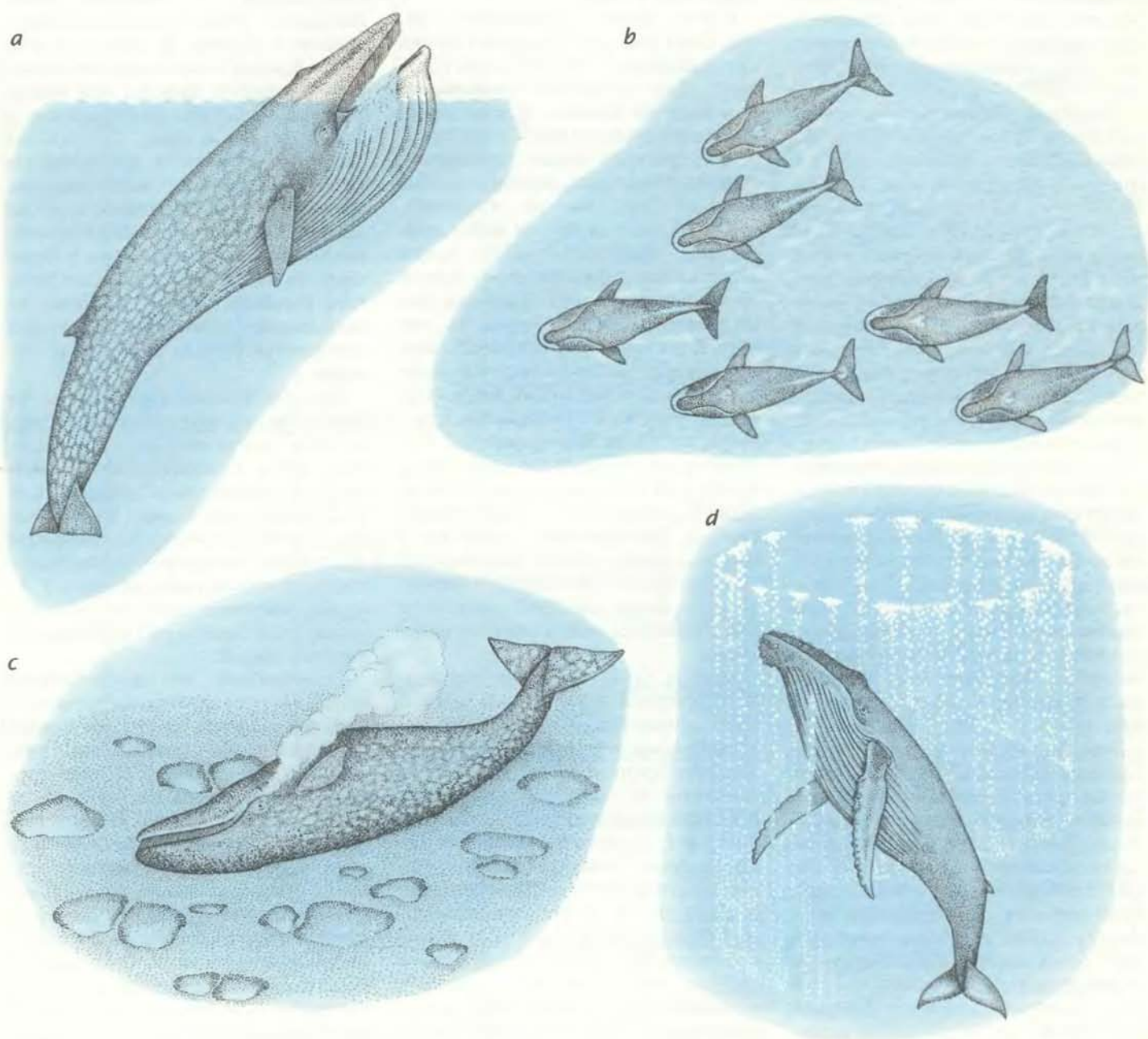
цией между спермами, а не прямым физическим соревнованием. В основе их теории лежат работы Г. Кенаги и С. Тромбулака из Вашингтонского университета, которые установили, что среди млекопитающих у тех видов, у которых ни самцы, ни самки не имеют постоянных брачных партнеров (промискуитет), семенники крупнее (по отношению к весу тела), чем у моногамных видов. В более крупных семенниках вырабатывается больше спермы, а чем больше спермы выделяет самец при эякуляции, тем боль-

ше у него шансов вытеснить сперму соперников.

**У** ГЛАДКИХ и серых китов семенники крупные относительно общих размеров тела; Браунелл и Роллс предсказывают, что для этих видов должен быть характерен промискуитет, а голубые и гренландские киты, у которых семенники мельче, должны быть, напротив, более моногамны. В подтверждение своей теории они отмечают, что гладкие и серые киты менее агрессивны по отношению друг к

другу (показатель того, что они не конкурируют за самок). Известно, что между самцами горбатых китов, у которых семенники довольно маленькие, происходит жестокая конкуренция. Браунелл и Роллс не располагают, однако, пока еще данными по гладким и серым китам, которые доказывали бы правильность их утверждений.

Иная стратегия спаривания наблюдается у горбатых китов. Самок, когда они не бывают окружены целой свитой самцов, нередко сопровождают



**СТРАТЕГИИ ПИТАНИЯ** сильно варьируют как в пределах данного вида усатых китов, так и между различными видами. Киты, у которых горло очень сильно растягивается наподобие гармошки, при кормлении внезапно делают бросок вперед, быстро открывая при этом рот (а). Это позволяет им захватывать сразу большие количества воды, которую они затем процеживают сквозь пластины китового уса. Гренландские киты иногда тралят планктон у поверхности воды, собираясь группами и выстраиваясь определенным

образом (b). Считается, что такой способ дает наибольшую эффективность кормления для этого медленно плавающего вида. Серые киты часто питаются донными организмами (c); они зачерпывают добычу на морском дне, оставляя в илистом осадке характерные углубления. Горбатые киты иногда устраивают «сети» из воздушных пузырей: плавая под скоплениями жертвы кругами, они выпускают изо рта цепочки пузырей, образующие вокруг жертвы кольцо, которое не дает ей улизнуть.

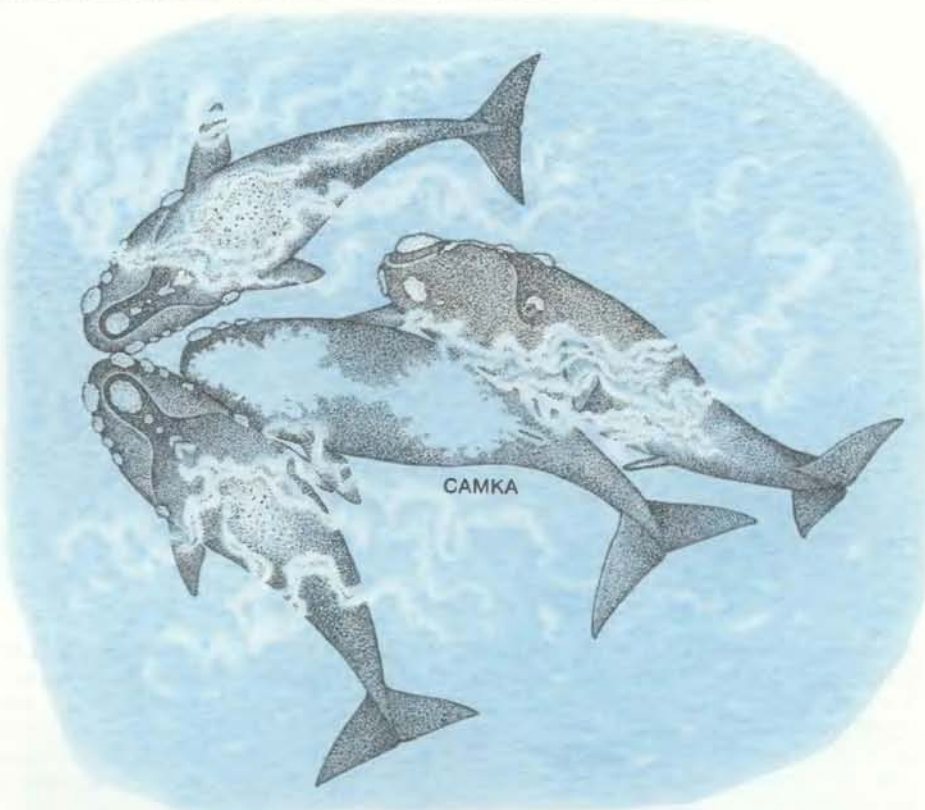
ет один самец. Роль такого самца неясна, однако Д. Глокнер-Феррари полагает, что он, возможно, повышает свои шансы на спаривание, постоянно находясь подле самки и обеспечивая себе тем самым доступ к ней, когда у нее начинается течка. Если при этом к самке подходят другие самцы, то постоянный ее претендент становится агрессивным, вклиниваясь между пришельцем и самкой.

Горбатые киты участвуют также в групповой активности, связанной со спариванием на поверхности воды, т. е. для того чтобы получить доступ к самке, по-видимому, прибегают к различным стратегиям. Вероятно, не все исследователи, занимающиеся китами, согласятся со мной, однако я считаю, что множественность брачных стратегий полностью соответствует природе этого млекопитающего, отличающегося гибкостью поведения. Альтернативные стратегии обнаружены у древесных лягушек и у полевого сверчка: у этих видов безмолвные самцы иногда обнаруживают самок быстрее, чем вокализирующие.

У китов выявлен еще один вид поведения, встречающийся также у человека, шимпанзе и других наземных млекопитающих, — гомосексуализм. Он часто наблюдается у тех видов зубатых китов, которых я изучал (темные дельфины, афалины и длиннорылые продельфины), а также у гладких и серых китов. Чаше всего гомосексуализм наблюдается среди молодых самцов, которые вследствие небольших размеров и невысокого положения в иерархической структуре сообщества не имеют доступа к самкам.

**ВЗАИМООТНОШЕНИЯ** между матерью и детенышем у южных китов очень сходны с аналогичными взаимоотношениями у наземных млекопитающих, например у благородного оленя и карибу, которые также мигрируют на большие расстояния. С. Тейбер и П. Томас, работавшие в Калифорнийском университете в Санта-Крузе, установили, что в первый месяц жизни китенок находится в полной зависимости от матери и, повинуясь инстинкту, следует за ней, время от времени начиная сосать ее. Они редко расстаются: если китенок удаляется от матери на расстояние, равное длине его тела или более, мать немедленно подплывает к нему. Очевидно, этим она охраняет его от нападения хищников, а, возможно, также создает гидродинамическую подъемную силу, благодаря чему детеныш не так быстро устает.

В период от 1 до 3 месяцев активность китенка непрерывно возрастает; он нередко удаляется от матери на



**ПОЛОВОЙ АКТ** у гладких китов часто требует участия целой группы животных — одной или более самок и нескольких самцов. Здесь три самца окружили одну самку (в центре). Два из них удерживают самку в нужном положении, чтобы дать возможность третьему самцу (справа) расположиться рядом с ней и ввести свой пенис в ее половое отверстие. По мнению некоторых исследователей, такое поведение можно рассматривать как одну из форм кооперации между самцами, но эта гипотеза еще нуждается в подтверждении.

расстояние, равное длине его тела или в 2—3 раза больше, и плавает вокруг нее. Тейбер и Томас полагают, что такая активность развивает мышцы и координацию движений у детеныша перед предстоящей миграцией на поля нагула в высоких широтах.

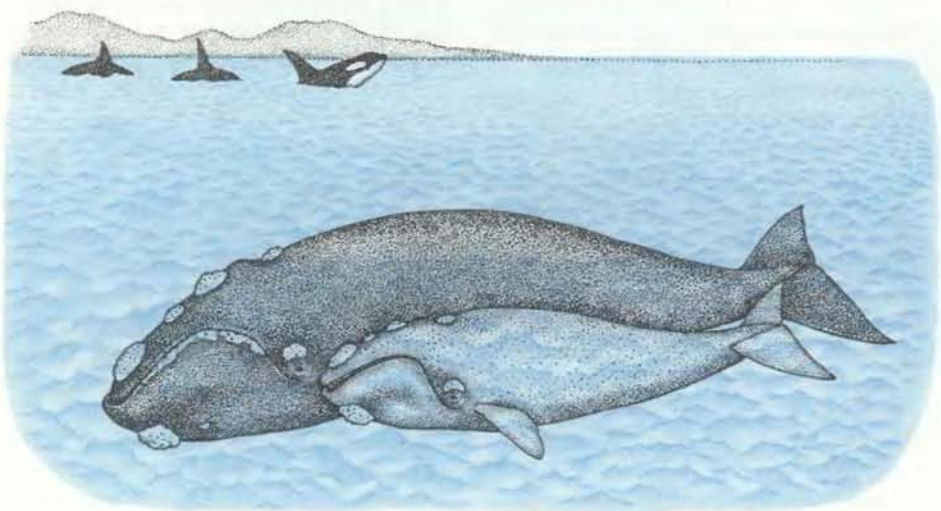
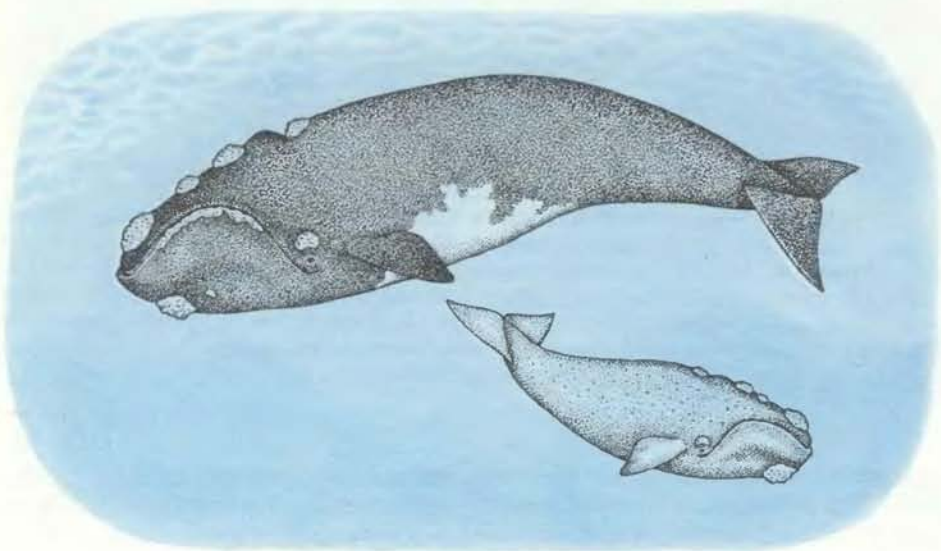
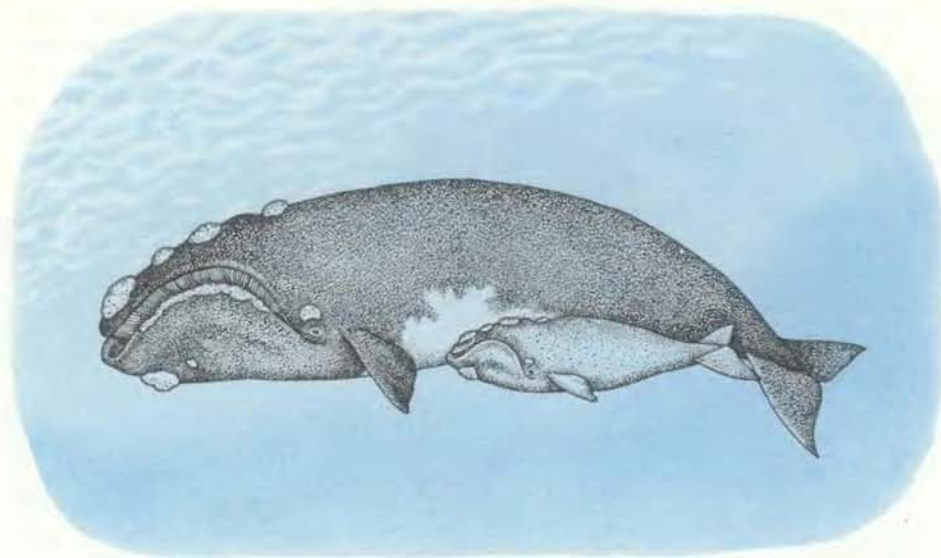
За неделю до начала миграции уровень активности детенышей падает, и они возвращаются под защиту матери. По мнению Тейбера и Томаса, возобновление связи с матерью — адаптивная стратегия, повышающая вероятность выживания китенка в открытом океане, где главными врагами молодых гладких китов являются косатки. Возможно, что сохранению связи между китенком и матерью способствуют и другие угрожающие ему опасности, такие как акулы и сильные шторма.

Пробыв в открытом океане 5—7 месяцев, самки с детенышами возвращаются на мелководье. Хотя в это время китенок еще сосет мать (и продолжает сосать, пока ему не пойдет второй год), он определенно более самостоятелен и активен, чем до миграции. Впервые после рождения детеныша самка начинает проявлять стремление освободиться от него, ча-

ще удаляясь, чем приближаясь к нему, однако сам детеныш держится очень близко к матери и часто сосет ее.

Подобное поведение отражает конфликт между родителями и потомками. Пока детеныши молоды и беспомощны, самка вносит большой вклад в заботу о них, с тем чтобы обеспечить их выживание. Однако, когда они подрастают и становятся более самостоятельными, ей выгодно быстро прекратить кормление и направить свою энергию на дальнейшее воспроизведение. Конфликт между родителями и потомками наблюдается у павианов, мартишек, американских лосей и карибу (а также у других млекопитающих), но у китов его впервые обнаружил Томас.

Специалисты по морским млекопитающим за последние 15 лет уделяли немало внимания обмену информацией у китов. Киты общаются между собой при помощи звуков, хотя остается неизвестным, каким образом они издают эти звуки, поскольку голосовых связок у китов нет. Предполагается, что звуки играют большую роль в общении между самцом и самкой и в коммуникации между членами сообщества; кроме того, звуковые сигнала-



В ПЕРВЫЙ МЕСЯЦ жизни детеныш южного кита держится подле матери (вверху) и уровень его активности в общем невысок. В возрасте от 1 до 3 месяцев (в середине) китенок становится более активным, часто плавает вокруг матери, удаляясь от нее на расстояние, в несколько раз превышающее длину его тела. По достижении китенком возраста 3 месяцев его уровень активности снижается и он снова плавает, прижавшись к материнскому боку (внизу). Такое изменение поведения происходит весной, примерно за неделю до начала миграции из мест размножения; считается, что оно частично связано с необходимостью защитить детеныша от косаток — его главных врагов в открытом океане.

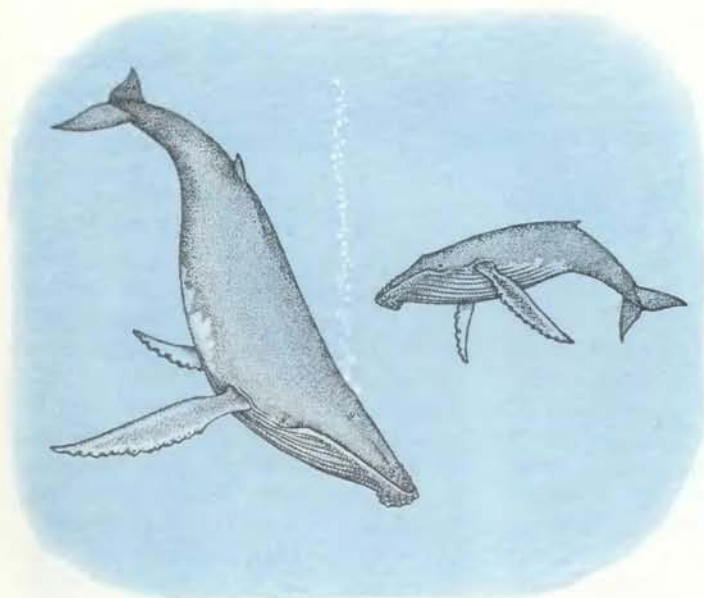
лы обеспечивают поддержание контакта между особями в стаде китов, которые обычно разбредаются по довольно большой площади, а также оповещают об опасности. Аналогичную функцию звуковые сигналы выполняют у волков: отдельные члены стаи нередко долгое время находятся на расстоянии нескольких километров друг от друга, общаясь между собой лишь с помощью звуков.

**ГОРБАТЫЕ** киты издают весьма мелодичные звуки, впервые описанные Р. Пейном и С. Маквеем, который работал в Принстонском университете. В сложных песнях горбатых китов, продолжающихся иногда более получаса, можно ясно различить отдельные темы и фразы, повторяющиеся с регулярными интервалами. Когда песня закончена, кит обычно заводит ее снова, повторяя все фразы в одной и той же последовательности в течение нескольких дней.

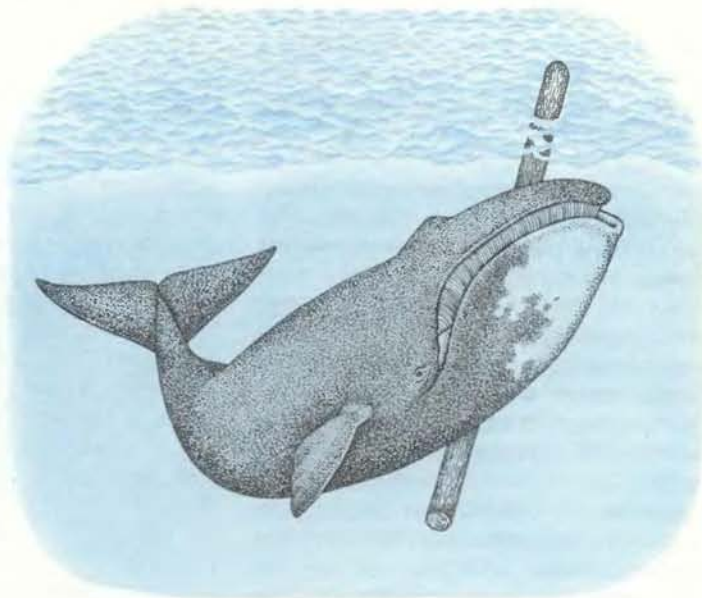
Самцы горбатых китов поют главным образом во время брачного периода, причем в начале этого периода все они поют одну и ту же песню. К. Пейн из Корнеллского университета обнаружил, что с течением времени эта песня изменяется и к концу зимы киты поют другую песню, не похожую на первоначальную. Летом при кормежке в высоких широтах, вдали от мест размножения, пения почти не слышно. Когда же на следующий год киты возвращаются в те же самые места, они начинают с той песни, которую пели в конце предыдущего сезона размножения. К концу второго сезона эта песня также преобразуется, превращаясь в новую песню.

П. Тайак из Океанографического института в Вулс-Холе и Дж. Дарлинг, работавший в Калифорнийском университете в Санта-Крузе, занялись в конце 1970-х годов на Гавайских островах изучением роли пения в общественном поведении горбатых китов. Они установили, что самцы поют только тогда, когда находятся в одиночестве в толще воды, на глубине примерно 20 м от поверхности; голова у них при этом направлена вниз. Поют они так громко, что их слышно в радиусе 5 км. Иногда к поющему самцу приближается другой самец; в таких случаях они в течение нескольких минут плавают бок о бок, не издавая никаких звуков, а после того как разойдутся, один из них вновь начинает петь. По мнению Тайака, заставляя первого самца прекратить пение, пришелец снижает вероятность того, что самка выберет певца в брачные партнеры.

Как полагает Дарлинг, песни эквивалентны конкуренции между самцами на суше, где, например, два самца



**ЗВУКИ**, издаваемые самцом горбатого кита, имеют значения, которые не вполне понятны, однако предполагается, что с их помощью самцы привлекают самок и что они указывают на место особи в иерархической структуре сообщества. Изображенный здесь самец принял позу, типичную для пения: он держится в толще воды, примерно в 20 м от поверхности, головой вниз. Справа — чужак, готовый прервать пение.



**ДЛИТЕЛЬНАЯ ИГРОВАЯ АКТИВНОСТЬ** наблюдается у многих видов китов. Изображенный на этом рисунке взрослый самец гренландского кита, встреченный у берегов Аляски, пытался своим подбородком затащить бревно под воду. Тот же кит многократно поднимал бревно в воздух на высоту по крайней мере три метра и толкал его плавником или какой-либо другой частью тела; такая игра продолжалась более часа.

снежной козы могут мериться силами, сцепившись рогами. Певцы — это доминантные самцы, возвещающие о своей мощи через песню примерно так же, как самец снежной козы, демонстрируя свои рога, оповещает сексуально-рецептивных самок о привлекательности носителя этих рогов.

**В** КОНЦЕ 1970-х годов К. Кларк из Рокфеллеровского центра и его жена Дж. Кларк начали изучать звуки, издаваемые гладкими китами. Вначале эти звуки казались монотонными и повторяющимися, похожими на мычание коровы, но со временем исследователи научились различать весьма тонкие и сложные вариации. Кроме того, с помощью специальных гидрофонов, дававших информацию о местонахождении источника звука, они имели возможность устанавливать, какая именно особь издает те или иные звуки, и связывать их с определенными типами поведения.

У гладких китов в настоящее время известно шесть различных звуков. Повышающиеся звуки (низкие звуки, высота которых быстро возрастает в течение 1 с) слышны чаще других и означают призыв собраться вместе. Понижающиеся звуки (низкие звуки, высота которых падает) встречаются реже и служат для обмена информацией между китами, находящимися на расстояниях от нескольких сотен метров до нескольких километров друг от друга. С увеличением численности вокализирующей группы не-

пропорционально чаще раздаются высокие звуки (более высокие, чем все остальные); они отражают повышение уровня возбуждения, связанное обычно с сексуальной активностью. Гибридные звуки (с различными частотами и модуляцией амплитуды) и пульсирующие звуки (резкие выкрики или рычание) почти всегда исходят от группы из трех и более китов и усиливаются с возрастанием физической агрессии. Судя по некоторым данным, пульсирующие звуки издают лишь 1—2 члена такой активной группы, возможно, самые агрессивные. Константные звуки (тональные звуки с почти не изменяющейся частотой) слышны редко, и связать их с каким-либо определенным поведением пока не удалось.

Интересно отметить, что различные вокализации, среди которых высокие звуки означают возбуждение, а гибридные и пульсирующие — агрессивность, аналогичны звуковым сигналам наземных животных: высокие звуки обычно не выражают враждебных намерений, тогда как пульсирующие всегда означают антагонизм.

Супруги Кларк обнаружили также, что гладкие киты издают звуки без участия голосовых связок. Считается, что пыхтящие звуки, обычно производимые китами, когда те, находясь на поверхности или близко к ней, с силой выпускают воздух через ноздри, означают раздражение, как, например, в тех случаях, когда вокруг китов или перед ними кружат дельфины.

Шлепающие звуки, создаваемые ударами плавников по воде, по-видимому, выражают возбуждение или беспокойство, вызванное таким событием, как, скажем, проходящий мимо катер. Когда шлепающие звуки раздаются в группе животных, они обычно означают агрессивность по отношению к другим членам группы.

**И**ЗУЧАЯ гренландских китов в море Бофорта, я и мои коллеги были удивлены, обнаружив игровое поведение как среди молодых, так и среди взрослых особей. Детеныш гренландского кита может оставаться один на поверхности до 30 мин, пока его мать ныряет в глубину за кормом. Когда детеныши отделены от своих матерей, они, по-видимому, общаются с ними, обмениваясь повышающимися и понижающимися звуками, которые мы записывали с помощью гидрофонов, сбрасываемых с самолета. Аналогичные сигналы, которыми обмениваются самки полосатика Брайда со своими детенышами, были зарегистрированы моим студентом Б. Терши.

Дважды мы наблюдали, как одиночный китенок «играет» с плавающими на поверхности воды предметами, подплывает к ним, а затем плавает вокруг них и под ними в течение примерно получаса. В одном случае это были какие-то обломки, в другом — пятно зеленой краски, которую мы сбросили с самолета, чтобы пометить местонахождение китов.

Принято считать, что игры у детенышей млекопитающих способствуют развитию навыков, необходимых для добычания пищи и научения жизни в сообществе; молодые гренландские киты через игру научаются направляться к источнику пищи, например к скоплению веслоногих рачков. Мы наблюдали также длительное игровое поведение молодых и взрослых гренландских китов при встрече с бревнами, попавшими по реке Маккензи в море Бофорта. Один самец в течение более полутора часов многократно подбрасывал в воздух десятиметровое бревно, а затем утаскивал его под воду. Другой кит (это была самка) удерживал в равновесии бревно, лежащее у него на спине так, что оба конца бревна торчали над водой. Затем китиха скатывала бревно со спины и снова начинала играть им.

Р. Пейн наблюдал игровое поведение у взрослых гладких китов, которые «кутывали» себе голову и плечи плававшими в воде бурными водорослями. У дельфинов также распространено игровое поведение, хотя у взрослых наземных млекопитающих (за исключением шимпанзе и человека) оно наблюдается редко, а его адаптивное значение, если оно су-

ществует, остается неясным. Как мне кажется, киты, возможно, просто пытаются развлечься в такой однообразной среде, как океан.

**В** ИЗУЧЕНИИ китов наступил волнующий период. По мере совершенствования методов исследования китов может выясниться, что их поведение гораздо сложнее, чем описано в этой статье. Мы уже знаем, что усатые киты не просто пасутся в океане, но что им свойственны общественное и разнообразные типы брачного поведения с чертами как соперничества, так и кооперации. Поведение китов при питании и спаривании, взаимодействие матери с детенышем, способы обмена информацией во многом удивительно сходны с соответствующим поведением наземных животных.

Следить за китами, когда они находятся под водой, трудно, и изучение их продвигается так медленно, что порой приводит в отчаяние. Тем не менее я убежден, что в ближайшие десятилетия наши знания о крупных китах сильно расширятся и биологи будут знать об их поведении почти столько же, сколько известно о поведении их родичей на суше.

го оружия, как баллистические ракеты, устанавливаемые на автомобильных тягачах и железнодорожных вагонах-платформах, или для крылатых ракет на кораблях и подводных лодках, то проверка выполнения этого договора еще более усложнится, добавляет Грейбил.

Договор по РСМД получил поддержку потому, что он призывает к ограниченному проверкам на местах объектов, связанных с производством ракет. США в течение длительного времени настаивали на том, что наилучшим способом достижения надежного контроля являются гораздо более экстенсивные проверки «повсюду и в любое время». Тем не менее американская сторона отклонила предложение СССР включить их в Договор по РСМД. Пол А. Стоукс, который руководит исследованиями по проверке выполнения договоров, проводимыми в Национальных лабораториях Сандии, вспоминает, что представителей США «вдруг обеспокоил риск», состоящий в том, что Советскому Союзу будет дозволено проверить любой объект по его выбору.

Многие эксперты — среди них есть даже представители нынешней администрации — считают, что роль инспекций слишком преувеличивают. По мнению Манфреда Эймера, помощника директора исследовательского отдела по вопросам проверки выполнения договоров и разведки в агентстве США по контролю над вооружениями и разоружению, инспекция повсюду и везде либо будет «отказано в доступе, либо она позволит установить, что вы ошиблись и там ничего нет. Она может принести некоторую политическую выгоду, однако, что касается проверки выполнения договора, такой подход не является решением любой проблемы, о которой мне известно». Тем не менее, отмечает Эймер, сделанное недавно предложение по СНВ требует проведения инспекций повсюду и в любое время.

В дополнение к инспекциям были предложены многочисленные так называемые совместные меры. Они включают ограничение зон размещения оружия, оснащение ракет передающими «метками» и установку автоматических датчиков в местах производства и размещения оружия. Однако, как отмечает Мило Д. Нордаик, руководитель исследований по вопросам проверки договоров, проводимых в Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса, еще не проведено систематического исследования того, как эти методы могут быть применены к договору по СНВ. По словам Нордайка, все это выглядит весьма неопределенно.

По мнению Эймера, совместные

## Наука и общество

### Проблема проверки договора

**Р**ОНАЛЬДУ РЕЙГАНУ, который критиковал ранее заключенные договоры по ограничению вооружений за отсутствие эффективных мер по проверке их выполнения, недавно самому пришлось проглотить собственную пилюлю. Многие эксперты по контролю над вооружениями обвиняют нынешнюю администрацию в том, что она, стремясь заключить договор по сокращению стратегических наступательных вооружений (договор по СНВ) до окончания срока пребывания Рейгана на посту президента, пренебрегает вопросом проверки его выполнения.

Эта критика, вероятно, не помешает ратификации Договора о ликвидации ракет средней и меньшей дальности (Договора по РСМД), подписанного президентом Р. Рейганом и М.С. Горбачевым в декабре прошлого года, главным образом потому, что этот Договор, как полагают, не имеет большого военного значения. Он предусматривает уничтожение ракет (большая часть которых размещена в Европе), имеющих дальность действия 500—5500 км, при этом

уничтожению подлежит всего 4% из 50 000 боеголовок, которыми обладают США и СССР.

Обеспокоенность относительно проверки договоров представляет гораздо большую угрозу предложению, обсуждаемому на женевских переговорах по стратегическим наступательным вооружениям, которое предусматривает их сокращение наполовину. Рейган и Горбачев выразили желание подписать такой договор к концу этого года. Стратегические вооружения, включающие ракеты морского и наземного базирования, являются самыми дорогостоящими и разрушительными в арсеналах сверхдержав.

«С заключением договора по СНВ возрастет стимул для обмана», — считает Сидней Н. Грейбил, бывший сотрудник американского агентства по контролю над вооружениями и разоружению, в настоящее время являющийся консультантом Пентагона. Он отмечает, что контроль количественных пределов, налагаемых договором по СНВ, будет гораздо более сложной задачей, чем проверка выполнения Договора по РСМД. Если же договор по СНВ установит количественные границы для столь легко маскируемо-



меры позволят контролировать только то оружие и объекты, которые Советский Союз пожелает «выставить». «Это является важным компонентом», — признает он, однако «разведывательные системы должны гарантировать, что ничего не происходит и в остальной части Советского Союза». Американская разведывательная сеть включает спутники, самолеты и другие системы, ведущие дистанционные наблюдения территории СССР. Судя по опубликованным отчетам, годовой бюджет на разведку превышает 16 млрд. долл. (точная цифра засекречена). Однако Эймер полагает, что вопросы, связанные с проверкой договоров, иногда ускользают из поля зрения. «Мне не всегда удается убедить тех, кто связан с разведкой, уделять должное внимание этим вопросам», — отмечает он.

В ноябре прошлого года постоянный комитет по разведке при палате представителей опубликовал доклад, обвиняющий администрацию за такое состояние дел. В докладе говорится: «Исполнительные органы не смогли в течение ряда лет разработать архитектуру всеобъемлющей системы для управления, определения приоритета и должного финансирования военных исследований и разработок новых методов наблюдения в области контроля над вооружениями». Дейв Маккэди, демократ от шт. Оклахома, член комитета по разведке, вспоминает заявления, сделанные во время слушаний, относительно потенциальных методов контроля, которые «будут чрезвычайно эффективными», но которые еще не разработаны. «Все больше и больше требований возлагается на разведку, — отмечает Маккэди, — однако наши возможности выравниваются». Он добавляет: «Меня несколько беспокоит стремление администрации заключить договор по СНВ».

Другие полагают, что разведка США уже или скоро будет отвечать задачам проверки выполнения договора по СНВ. Джеффри Т. Ричелсон, консультант по вопросам разведки в архивах национальной безопасности частной исследовательской организации, полагает, что для достижения значительного военного преимущества Советскому Союзу пришлось бы нарушать договор по СНВ. Он отмечает, что США планируют запуск спутников, способных обнаруживать эти нарушения. На одном из таких спутников, имеющем кодовое название LaCrosse, будет, как сообщается, использоваться радар с синтезированной апертурой для наблюдения за поверхностью земли в условиях облачности и ночью.

Ричард Н. Перл, который недавно

покинул пост заместителя министра обороны по вопросам международной безопасности и которого в настоящее время считают решительным противником контроля над вооружениями, полагает, что он мог бы согласиться с заключением договора по СНВ, если «в нем будет предусмотрено проверка его выполнения методами более лучшими, чем существовали до настоящего времени». Например, он рекомендует обмен информацией по оружию, «столь широкой, что было бы чрезвычайно сложно ее фальсифицировать». Однако он сомневается, что о таких мерах будут вестись переговоры до окончания срока пребывания Рейгана на посту президента.

Майкл Крепон, изучающий вопросы контроля над вооружениями в Фонде Карнеги для международного мира, отмечает, что стороны, ведущие переговоры по заключению договора по СНВ, еще не решили, что им следует ограничивать, не говоря уже о том, что им следует контролировать. По этой причине, полагает Крепон, шансы Рейгана и Горбачева подписать указанный договор в этом году невелики. «С другой стороны, — отмечает он, — как часто складывается ситуация, когда два руководителя желают этого?»

### *Микроскоп «разрезает» молекулу*

**МОЖЕТ ЛИ** микроскоп выполнять функции микроскопического скальпеля? Да, может. Этот вывод подтверждается сообщением, опубликованным в журнале «Nature» сотрудниками Алмаденского исследовательского центра фирмы IBM в Сан-Жозе (шт. Калифорния) Дж. Фостером, Дж. Фроммер и П. Арнеттом. С помощью растрового туннельного микроскопа (РТМ) эти исследователи произвели тончайший из когда-либо сделанных разрезов. Они «пришили» одну молекулу к графитовой поверхности и затем разрезали ее на части.

РТМ может создавать изображение различных атомных поверхностей. Основным элементом микроскопа является тончайшая вольфрамовая игла, положение которой с большой точностью управляется пьезоэлектрическими опорами. Игла удерживается на расстоянии около 10 Å (миллионной части метра) над исследуемой поверхностью; между иглой и поверхностью поддерживается небольшая разность потенциалов. Электроны в соответствии с квантово-механическим эффектом «туннелируют» через зазор между кончиком иглы и поверхностью со скоростью, строго за-

висящей от этого расстояния. При сканировании иглы над поверхностью на расстоянии, при котором туннелирование поддерживается непрерывным, ток, образуемый туннелирующими электронами, можно преобразовать в трехмерное изображение (карту) топографии поверхности. «Бугорки» на такой карте соответствуют отдельным атомам.

Фостер и его коллеги воспользовались тем обстоятельством, что игла — это не просто миниатюрный прецизионный зонд, исследующий изучаемую поверхность, но и электрод, создающий с большой точностью электрическое напряжение в чрезвычайно малой области. На графитовую поверхность наносилась капля ди-(2-этилгексил)фталата (жидкого органического вещества) и затем поверхность сканировалась РТМ. При сканировании к игле подводился короткий импульс относительно высокого напряжения. Сразу же вслед за этим сканирование выявило большой «бугорок» на поверхности, размер которого был примерно равен размеру молекулы ди-(2-этилгексил)фталата. Ученые высказали гипотезу о том, что под действием импульса напряжения молекула приобретает энергию, достаточную, чтобы образовать химическую связь с графитом. В других экспериментах они обнаружили, что подобные импульсы могли привести к обратному явлению — отрыву молекулы от поверхности.

Импульсы напряжения, по-видимому, могут не только «захватывать» молекулы, но и рассекать их. Упомянутые экспериментаторы использовали импульс напряжения для того, чтобы «пришить» молекулы диметилфталата — соединения, родственного ди-(2-этилгексил)фталату, — к графиту. Когда импульс напряжения подвели к образовавшемуся «бугорку», он стал меньше, как-будто молекула оторвалась от поверхности. Оставшийся выступ имел размеры и форму бензольного кольца — фрагмента, входящего в молекулу диметилфталата.

Исследователи фирмы IBM подчеркивают, что они не настаивают на своей интерпретации этого эксперимента, сводящейся к тому, что импульсы напряжения «пришивали» и «рассекали» молекулы органического вещества. Они уверены, что получили «бугорки» на поверхности и уменьшили размеры больших «бугорков», но эти «бугорки» могли образоваться и в результате взаимодействия иглы с графитом. Однако если предположение этих ученых окажется верным, то можно сказать, что они открыли путь к управлению структурой материалов на микроскопическом уровне.

# Полипы Трамбле

*Замечательные опыты, сделанные на гидрах Абраамом Трамбле в 40-х годах XVII в., положили начало экспериментальной зоологии. Но имя Трамбле и подробности его исследований мало известны даже биологам*

ГОВАРД М. ЛЕНХОФФ, СИЛЬВИЯ Г. ЛЕНХОФФ

**В**СЯКОМУ биологу известно, что некоторые примитивные животные размножаются бесполом путем почкованием, что у некоторых видов из каждого куска разрезанной на части особи может регенерировать целое животное и что можно сростить ткани двух особей одного вида. Но мало кто задумывается о том, что такие факты не всегда были очевидными. И совсем немногие знают, что их первооткрыватель — швейцарец Абраам Трамбле, скромный гувернер, поразительные открытия которого об изученных им интересных беспозвоночных животных, называемых гидрами, взволновали и заинтриговали Европу эпохи Просвещения в начале 1740-х годов и, по мнению некоторых авторитетов, снискали ему звание «отца экспериментальной зоологии».

Неудивительно, что сегодня Трамбле сравнительно мало известен: справочники если и упоминают о нем, то обычно совсем немного сообщают о его жизни, новаторских методах исследования, влияния его трудов на современников или о значении его подхода и открытий для нынешней науки. По нашему мнению, пора сделать имя Трамбле более известным. Кем же был этот человек и почему он заинтересовался гидрами, или, как он называл их, «пресноводными полипами с руками в форме рогов»?

Абраам Трамбле родился в 1710 г. в Женеве в знатном семействе. Его детство и юность пришлось на время, когда в Европе многие интеллектуалы обратились к естественной истории. Сам он сначала больше интересовался математикой, чем животными, и, когда учился в университете, написал работу по математическому анализу. Окончив учебу, молодой человек отправился на поиски работы в Голландию. Там он поступил гувернером в имение графа Виллема Бентинка близ Гааги. Именно здесь Трамбле проводил свои наблюдения и опыты, которым было суждено революционизировать изучение живых организмов. За краткий срок — с 1740

по 1744 г. — он сделал удивительно много открытий. Притом совершил он это задолго до появления сложных научных приборов, пользуясь в основном лупой и иногда простым однолинзовым микроскопом.

**В**ПЕРВЫЕ Трамбле заинтересовался гидрами — членами типа *Coelelenterata*, к которому относятся также медузы и кораллы, — в ходе наблюдений над водными растениями и животными, собранными им в канавах графского имения. В свободное время стеклянные сосуды, «населенные многочисленными мелкими созданиями», служили ему «хорошими компаньонами для отдыха после более серьезных занятий».

Сначала его больше привлекали оживленно двигавшиеся существа, чем неподвижавшиеся зеленые гидры. Эти похожие на трубочки организмы, около сантиметра длиной, с венцом щупалец на одном конце, казались неподвижными, из-за чего Трамбле сначала считал их просто растениями. Но однажды, в июне 1740 г., он заметил, что эти создания сокращаются и удлиняются. Удивленный наблюдатель стал искать другие признаки поведения, свойственные животным, и через несколько дней увидел, как его подопечные «шагают».

Удостоверившись, что загадочные маленькие создания являются животными, Трамбле затем около месяца обращал на них мало внимания. Потом он случайно заметил, что они имеют склонность к свету. В то время натуралисты по большей части ограничивались лишь описанием наблюдаемых организмов, но Трамбле решил углубить наблюдения путем эксперимента. Ему впервые удалось показать, что безглазые животные могут проявлять фототаксис, т. е. двигаться к свету. Например, в одном опыте он прикрыл сосуд с гидрами картонной манжетой, в которой было прорезано небольшое отверстие, и затем, время от времени поворачивая манжету, следил за перемещением

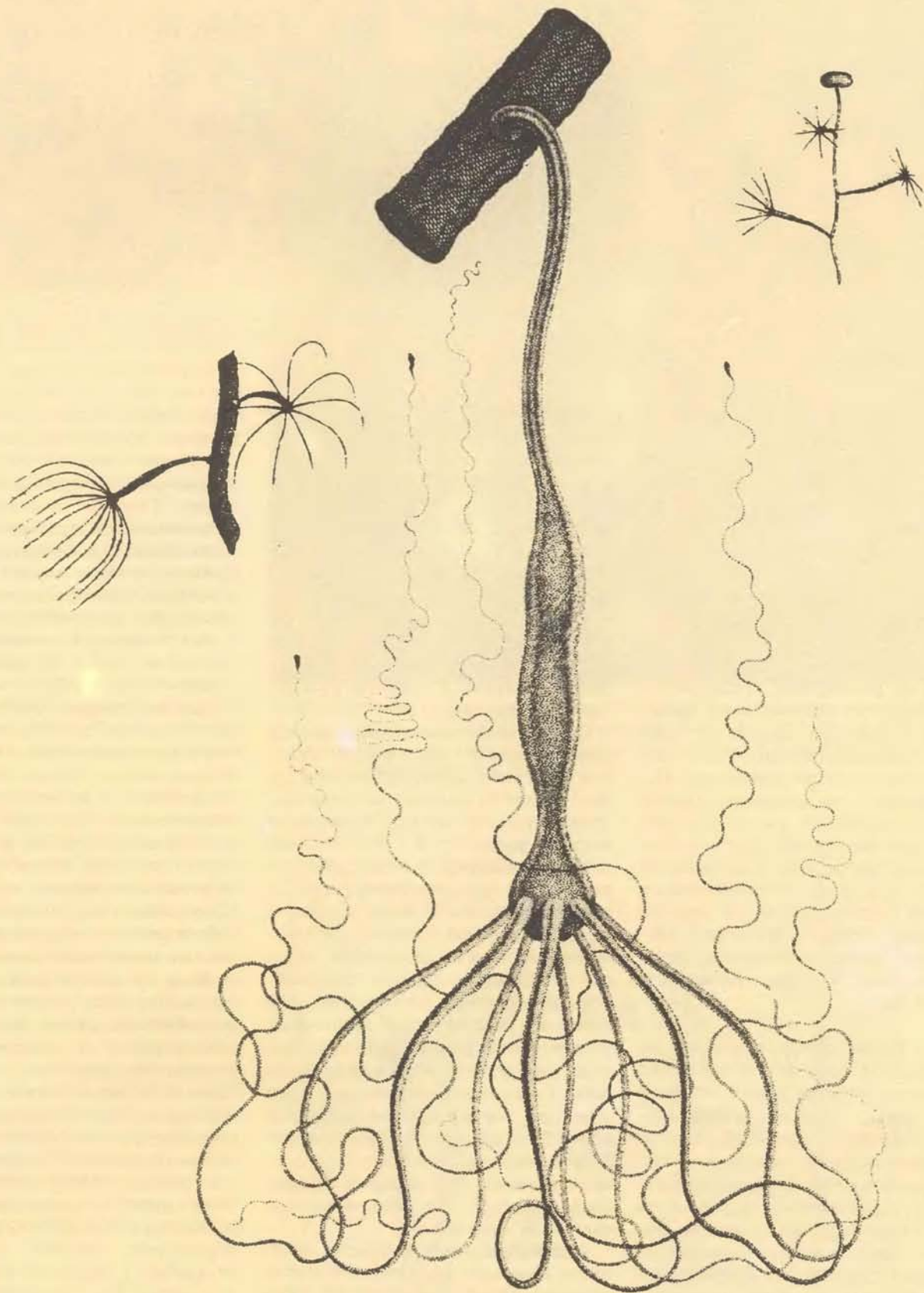
подопытных особей, которые всегда двигались к свету, проходившему через отверстие.

Теперь все внимание любознательного гувернера сосредоточилось на гидрах, и он решил исследовать их серьезно и подробно. Одним из его первых достижений было доказательство того, что из небольшого кусочка, отрезанного от гидры, может регенерировать целый организм. Трамбле начал изучать это явление после того, как заметил, что разные особи имели различное число щупалец, или «рук», — странная особенность для животного. Эта странность привела его к мысли разрезать одну особь поперек и посмотреть, вырастут ли из половинок целые организмы. Если вырастут, рассуждал Трамбле, — значит, полипы по сути своей растения. На деле же вскоре нашлось явное доказательство их животной природы: он увидел, как бурая гидра хватается и поедает жертвы. К счастью, это наблюдение было сделано уже после того, как удалось окончательно доказать, что у гидр отрезанные части могут отрастать вновь. Как писал Трамбле, если бы он до того узнал, как питаются его объекты, то, возможно, никогда не занялся бы изучением регенерации.

Первый эксперимент состоял в том, что Трамбле разрезал гидру поперек и затем несколько раз в день рассматривал обе части под увеличительным стеклом. Через несколько дней ему показалось, что на задней части разрезанной особи начинают отрастать щупальца. Вскоре сомнений не осталось: из половинки выросла целая гидра.

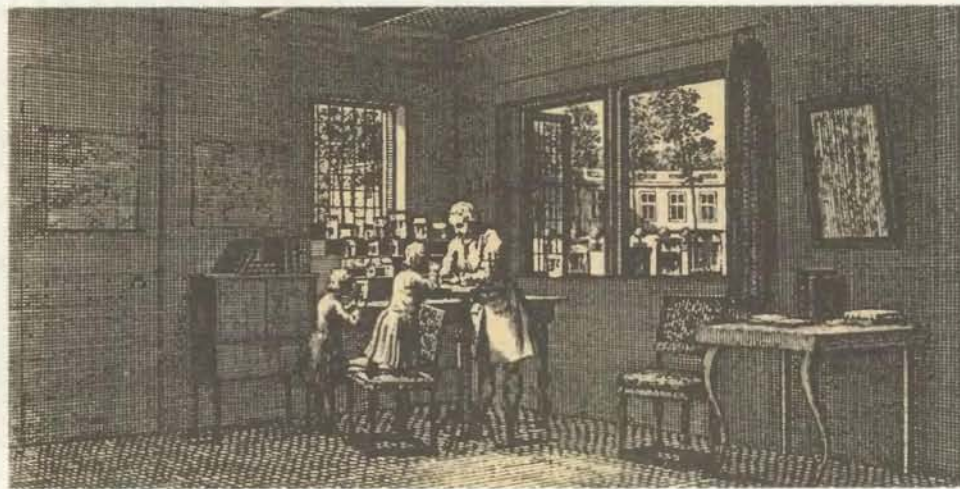
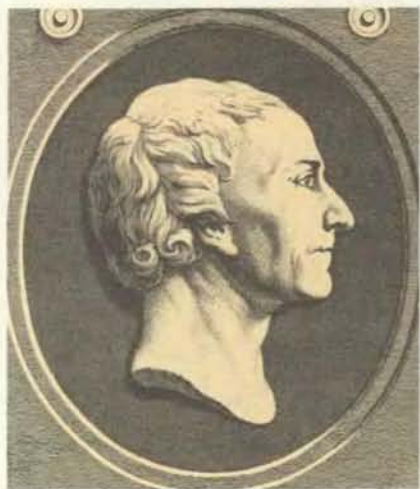
«Обе части, когда я их наблюдал под лупой со всем возможным для меня вниманием, — писал Трамбле, — казались мне каждая, несомненно, целым полипом и выполняли все функции, которые были мне известны: они вытягивались, сжимались и передвигались». В дальнейшем он наблюдал также, как регенерировавшие особи питались.

Доказательство регенерации у жи-



ТРИ ВИДА ГИДР — или полипов, как их называли сначала, — которые послужили объектом исследований Абраама Трамбле в начале 40-х годов XVIII в. Он открыл и изучил зеленый вид — *Hydra viridissima* (справа), а позже экспериментировал с двумя бурными видами, *Hydra vulgaris* (слева)

и *Hydra oligactis* (в центре). Рисунки, сделанные натуралистом Пьером Лионе, воспроизводятся по книге «Мемуары к истории одного рода пресноводных полипов с руками в форме рогов», написанной Трамбле в 1744 г. (Название «гидры» этому отряду животных дал Карл Линней в 1746 г.)



ДВЕ ГРАВЮРЫ показывают Трамбле в возрасте 68 лет (слева) и в молодости, когда он служил гувернером (справа). Портрет взят с фронтисписа его книги об образовании, вы-

шедшей в 1783 г., а вторая гравюра — из «Мемуаров». На ней изображено как исследователь и его ученики производят опыт с гидрой.

вотных было одним из первых крупных событий, поставивших под сомнение общепринятый тогда «естественный закон»: для размножения животных необходимо спаривание. Пожалуй, открытие Трамбле было даже более драматичным, чем сделанное его кузеном Шарлем Бонне годом раньше: Бонне, изучая тлей, обнаружил партеногенез — развитие яиц без оплодотворения.

Примерно тогда же, когда шли опыты по регенерации, Трамбле видел полипа, «который начинал производить детеныша» способом, имевшим «очень большое сходство с размножением растений побегами». Исследователь с восхищением наблюдал, как маленький выступ на теле животного растет, обретает щупальца и отделяется, став уменьшенной копией «матери». Разработанные Трамбле эксперименты во многом прояснили природу бесполого размножения путем почкования, доказав, например, что почки развиваются не из яиц.

**ДРУГОЕ** выдающееся достижение Трамбле — открытие того, что возможна пересадка тканей от одной особи другой, — можно назвать апогеем цепочки случайностей. Изучая регенерацию, исследователь заметил, что каждый раз, когда он разрезал гидру, из разрезанной части стенки тела, которую он называл «кожей», сочлились многочисленные «гранулы», или зерна. Одно время Трамбле пытался выяснить, не играют ли эти зерна какую-либо роль в распределении питательных веществ по телу гидры. Как-то он задался вопросом, а нельзя ли питать гидру, вывернув ее наизнанку и поместив в раствор, богатый питательными веществами. Тогда гранулы внутренней «кожи» окажутся снаружи, где много пищи.

Это поистине мастерский эксперимент: держа гидру в капле воды на своей ладони, Трамбле сумел вывернуть крошечное животное наизнанку, не убив его. Он толкал кабаньей щетинкой ножку, или стебелек гидры, так что ножка, а за ней и вся гидра выпятилась изо рта — отверстия в центре венца щупалец. Вывернутые таким образом животные не погибли и функционировали как обычно во всех отношениях, хотя и не могли поглощать питательные вещества из окружающего раствора.

Одно осложнение, случившееся при выворачивании гидр, привело Трамбле к первому наблюдению пересадки. У одной из подопытных гидр верхушка незрелой почки, оказавшейся внутри вывернутой родительской особи, высунулась из отверстия, прорезанного в коже «матери»; ткани почки и родительской особи на новом месте полностью срослись. Эта находка побудила исследователя провести продуманную серию экспериментов, убедительно доказавшую, что куски двух разных особей одного вида можно срастить и что это не удастся с гидрами, относящимися к разным видам. В частности, он помещал одно животное внутрь другого, давал им время срастись и затем кормил внутреннее животное. Частицы пищи распространялись и во внешнюю гидру, свидетельствуя, что тела животных составили одно целое.

Описанные выше открытия являются, наверное, крупнейшими достижениями Трамбле, но этим его работы далеко не исчерпываются. Еще экспериментируя с гидрами, он изобрел первую методику прижизненного окрашивания — т. е. способ окрашивать живые ткани для изучения. Видимо, Трамбле также первым описал протоплазму — студнеобразное содержимое клеток всех организмов.

(Это открытие обычно приписывают Феликсу Дюжардену, работавшему столетием позже.) Рассматривая «зерна», сочившиеся из разрезанной гидры, Трамбле заметил, что они удерживались вместе «слизистой материей», в которой «должны быть все те части, которые служат для производства их [полипов] сократительных движений, вытяжений, сгибания и т. д.». Но ни он, ни его современники не поняли, что эта «материя» — основа всякой живой ткани.

Трамбле раскрыл секреты и некоторых других водных организмов. Этот проникательный наблюдатель впервые описал процесс почкования у червя *Stylaria* и у колониального беспозвоночного *Lophopus* (мшанки), удивительно подробно, в тонких деталях описав его строение, и именно он указал, что мшанки — животные. Мало кому известно, что Трамбле наблюдал также деление клеток. Хотя сама концепция клетки тогда еще не была сформулирована, он наблюдал и зарисовал размножение одноклеточной водоросли *Synedra* и первым показал, что простейшие размножаются делением. Покойный Джон Р. Бейкер из Оксфордского университета, опубликовавший в 1952 г. классическую биографию Трамбле, сообщает, что этот необычный гувернер изучал, помимо упомянутых, и других животных, и сделал еще целый ряд открытий, в частности наблюдал образование колоний и постройку трубок у микроскопических водных животных, называемых колодратками.

**СЕЙЧАС** открытия Абраама Трамбле воспринимаются как общезвестные факты, но первые сообщения о них вызвали фурор не только в университетах и научных обществах, но и в модных салонах того времени. Пер-

вой реакцией было недоверие. Кроме того, поднимались и религиозные вопросы: например, если из кусков разрезанного полипа могут регенерировать целые особи, то что происходит при этом с душой животного?

У многих просвещенных людей недоверие вскоре уступило место восхищению перед раскрытием тайн природы, ключи к которым сумел подобрать Трамбле. Например, французский натуралист Рене Антуан Фершо де Реомюр, с которым Трамбле 17 лет состоял в переписке, проверяя открытия Трамбле и находя им подтверждение, выражал все большее воодушевление и, наконец, настоятельно советовал своему юному другу собрать свои результаты и опубликовать их. Трамбле сделал это в 1744 г., выпустив прекрасную иллюстрированную книгу «Mémoires, pour servir à l'histoire d'un genre de polypes d'eau douce, à bras en forme de cornes» («Мемуары к истории одного рода пресноводных полипов с руками в форме рогов»).

Реомюр, кроме того, ознакомил с открытиями Трамбле интеллектуальные круги Парижа, короля Франции и его двор, а также французскую Королевскую академию наук, которая позже предложила Трамбле стать ее корреспондентом. В Англии Трамбле был избран в 1743 г. в Лондонское королевское общество и получил от него престижную медаль Копли, бывшую тогда одним из наивысших отличий для ученого<sup>\*)</sup>.

Но непосредственное влияние работ Трамбле на серьезных естествоиспытателей имело значение более глубокое, чем его широкая известность. Его исследования вместе с трудами Реомюра, Бонне и других утверждали необходимость основывать изучение живых существ на прямом внимательном наблюдении, а не на предвзятых идеях и теориях. Трамбле был убежден, что именно наблюдения и эксперименты позволили ему обнаружить такие явления, как, например, регенерация, которые могли быть открыты и задолго до него. «Природа должна быть объяснена через Природу, — настаивал он, — а не через наши собственные взгляды».

Кроме того, успехи Трамбле побудили многих естествоиспытателей



ЖИВАЯ ОСОБЬ *Hydra oligactis* длиной около 1 см с отросшей почкой (с левой стороны). Эктодерма (внешняя стенка тела) животного прозрачна. Как отмечал Трамбле, цвет гидр зависит от их пищи. (Фотография Р. Кэмпбелла из Калифорнийского университета в Ирвине.)

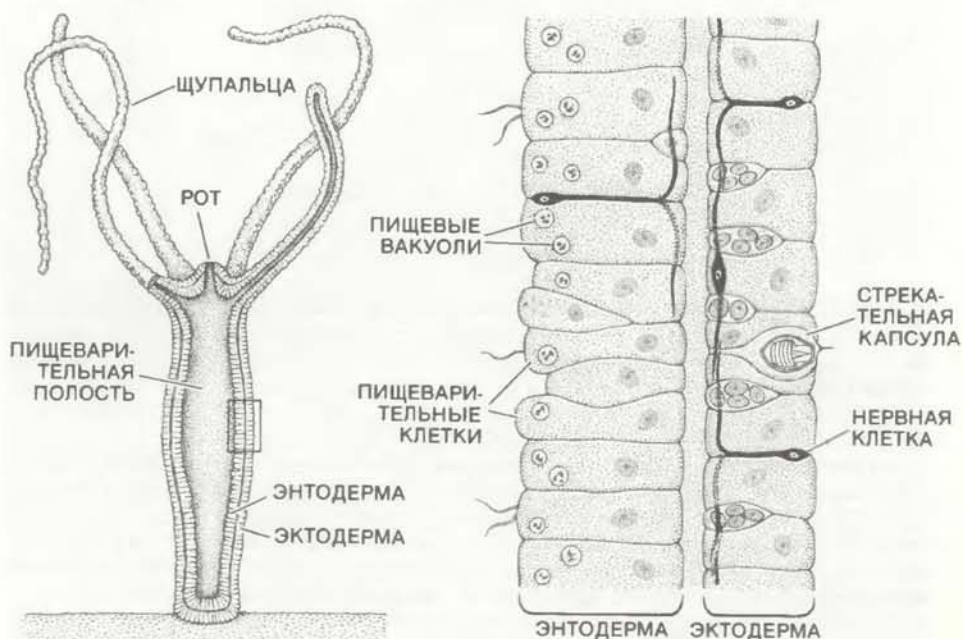
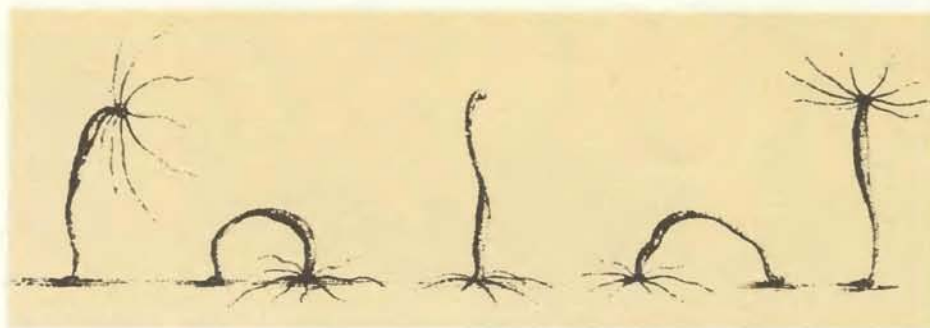
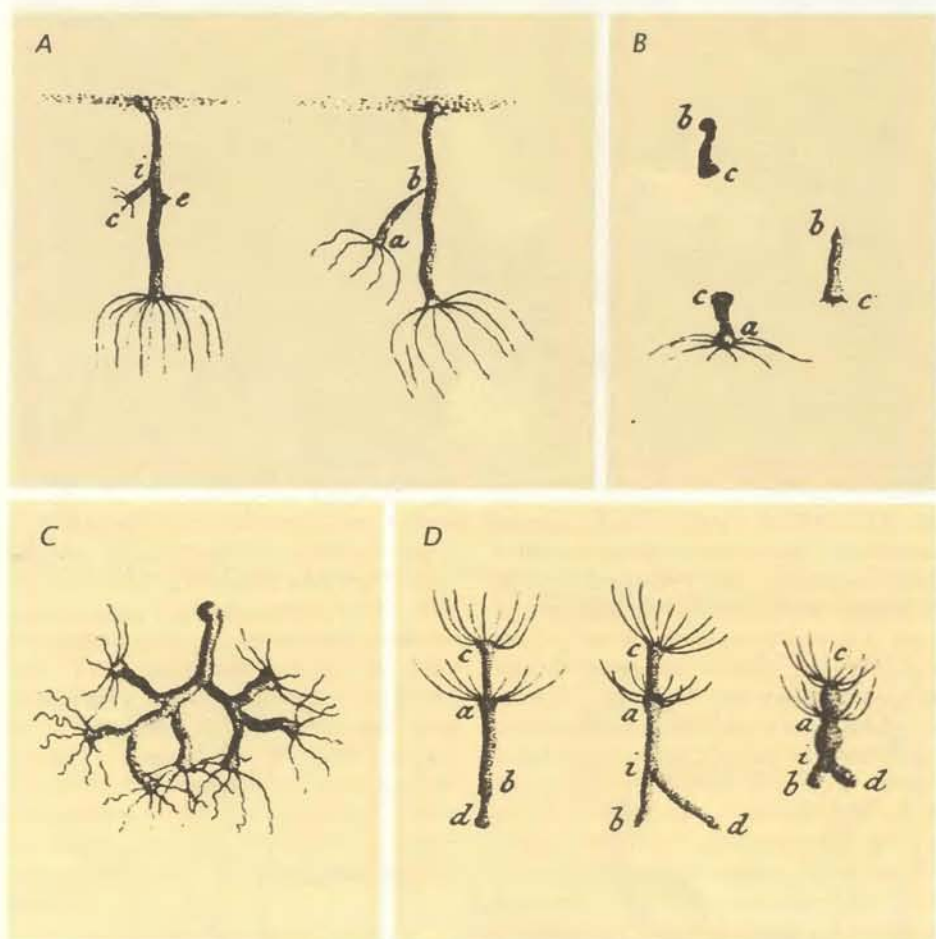


СХЕМА ПРОДОЛЬНОГО РАЗРЕЗА гидры показывает основные черты ее строения. Животное прикреплено к субстрату своей подошвой. Часть тела со щупальцами и ртом называется головой. При помощи микроскопа можно увидеть, что тело гидры образовано двумя слоями клеток (справа). В клетках энтодермы (внутреннего слоя) имеются пищевые вакуоли, которые Трамбле называл гранулами, или зернами, а в эктодерме — нематоцисты (стрекательные капсулы).

<sup>\*)</sup> Сэр Годфри Копли (? — 1709), член Королевского общества с 1691 г., оставил Обществу по завещанию 100 фунтов стерлингов «на совершенствование наук». С 1736 г. на проценты с этих денег ежегодно присуждается золотая медаль Копли за выдающиеся научные работы. — Прим. перев.



**КУЛЬБИТЫ** — один из способов передвижения гидр. Трамбле заметил, что полипы могут не только сокращаться и вытягиваться, но и перемещаться. Это заставило его предположить, что они животные, а не растения. Он окончательно убедился в том, когда увидел, как гидра хватает и поедает жертвы. Эта и следующая гравюры сделаны Пьером Лионе и воспроизводятся по «Мемуарам».



**НЕКОТОРЫЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ**, открытые Трамбле, изучаются до сих пор. Он установил, что гидры могут размножаться без полового процесса, почкованием (A). Если на теле гидры возникает выпячивание, как в точке e (слева), из него развивается почка (i - c), а затем полностью формируется новое животное (справа, a - b), которое вскоре отделяется от родительской особи. Далее, Трамбле показал, что из небольшого куска гидры может регенерировать целое животное (B). Когда он разрезал одну особь поперек надвое (слева), у безголовой части уже через день начали отрастать новые голова и щупальца (справа). Используя явление регенерации, Трамбле создал семиголовое «чудовище» (C): разрезал гидре голову и потом такую же операцию проделал с регенерировавшими головами. Полученное существо он назвал Гидрой (по имени известного мифологического чудовища) и, таким образом, первым применил слово «гидра» к этим животным; но нормальные особи он так не называл. Трамбле показал также, что можно срастить двух животных одного вида (D). В первом из таких опытов он отрезал ножку гидры (слева), оставив кусок a - b, и надел его на целую особь (c - d). Нога особи c - d постепенно прорвалась через тело внешней гидры (в центре) и, видимо, срослась с ним в точке i; в то же время рота a внешней гидры, по-видимому, срослась с внутренней особью. Давая пищу в рот c, Трамбле убедился, что особи слились и теперь имеют общую разветвленную пищеварительную полость b - i - d. Пища заставила раздуться оба тела (справа); если бы животные не срослись, участки i - b внешней особи остался бы тонким.

сделать важный шаг от простого наблюдения «мельчайших творений Господа» к активному экспериментированию над ними. Говоря конкретнее, его труды послужили другим ученым стимулом взяться за исследования, которые значительно расширили знания о пресноводных и морских беспозвоночных и о важных биологических явлениях. Например, под впечатлением его экспериментов несколько ведущих натуралистов занялись изучением регенерации. В результате через 25 лет после того, как Трамбле впервые разрезал полипа надвое, явление регенерации было признано одним из основных явлений природы. Некоторые ученые полагают, что именно распространившееся влияние работ Трамбле с гидрами стимулировало разработку в 1752 г. оптического прибора, ставшего предшественником современных препаровальных микроскопов.

**СЕЙЧАС** открытия, сделанные Трамбле, входят в фундаментальный научный багаж каждого биолога. Почему же тогда о нем редко вспоминают? Одна из причин, возможно, в том, что Трамбле не создал никакой теории, с которой можно было бы связать его имя. Это пренебрежение теоретической стороной научной работы затруднило историкам задачу найти для Трамбле подобающее место в общей картине естествознания.

Есть и другие причины. Еще при жизни Трамбле его научная известность померкла. После того как в 1747 г. закончилась его служба в семье Бентинков, и до самой смерти в Женеве в 1784 г. он сделал мало систематических научных работ. Оставив Голландию, Трамбле принял участие в секретной дипломатической миссии английского правительства, путешествовал, преподавал, написал несколько книг (по вопросам образования, политики, религии и философии морали), а в поздние годы всего себя посвятил воспитанию своих пятерых детей, отцом которых он стал, женившись в возрасте 46 лет.

Но даже если бы Трамбле продолжал исследования беспозвоночных, во второй половине века его звезда все равно, наверное, закатилась бы, так как тогда интеллектуальная элита Европы обратилась к другим проблемам, в первую очередь, к электричеству и раздражимости живых организмов. В конце XIX — начале XX вв. в науках о жизни — как в экспериментах, так и в теориях — стали доминировать эмбриология, эволюция и генетика. Всеобщее внимание сконцентрировалось на позвоночных (во многом в связи с тем, что и че-

ловек — позвоночное), что еще ослабило интерес к объектам, которые изучал Трамбле, — беспозвоночным. Наконец, передний край биологических исследований сместился в Соединенные Штаты Америки, где даже ученые, как правило, знают один язык — английский. И тот факт, что шедевр Трамбле о гидрах лишь недавно был переведен с французского на английский, долгое время ограничивал знакомство биологов с авторитетным когда-то исследователем.

Известность Трамбле в коллективной памяти науки, возможно, померкла, но даже беглый просмотр его «Мемуаров» убеждает, что он еще многому может научить современных ученых. Углубившись в эту книгу, читатель найдет сведения практически по любому из аспектов биологии гидры, в том числе ее строения, поведения, физиологии, развития и взаимодействии с жертвами и хищниками. Более того, многие явления, описанные в книге, предоставляют поле для дальнейших исследований биологам, изучающим развитие.

Какие качества Трамбле как ученого мог бы взять за образец молодой биолог? Трамбле, будучи эмпириком, твердо придерживался мнения, что строить теорию следует только после того, как накоплено достаточно фактов. Он был зорким наблюдателем, тотчас замечая все необычное, причем описывал обнаруженное с великой точностью и в больших подробностях. Он был экспериментатором и не успокаивался, пока не проверял свои выводы несколькими разными способами. Он использовал количественный подход, подкрепляя многие свои эксперименты числовыми данными и повторяя опыты, чтобы убедиться в достоверности результатов. Он изучал биологические объекты на уровне организма, интересуясь не отдельной проблемой, а всеми аспектами живого существа. Он следовал операционалистской концепции, считая, что эксперимент только тогда имеет непреходящую ценность, когда его методика описана автором так, что это позволяет другим его повторить. «Недостаточно сказать, — писал Трамбле, — что выдал то-то и то-то. Ничего не стоит утверждение, если одновременно не указывается, каким образом было увидено то, о чем говорится, если читателю не дается возможности судить о способе, коим сообщаемые факты наблюдались».

У Трамбле были и другие похвальные качества. Он работал не только в кабинете, но и «в поле», где ему удалось найти ряд новых видов. Он исследовал и структуру организмов, и механизмы, обеспечивающие наблюдавшиеся им функции. Он был превос-

ходным препаратором и с успехом проделывал сложные тонкие операции, причем его инструментарий практически ограничивался ножницами и зондом из кабаньей щетинки. Он обладал упорством. «Не следует унывать от некоторых неудач», — написано в его «Мемуарах», — надо пытаться вновь сделать то, что не удалось. Даже те опыты, которые удаются, хорошо повторять несколько раз. Все, что можно увидеть, не всегда открывается сразу и часто не может быть открыто в первый раз».

Нам кажется, что замечательная научная объективность Трамбле в какой-то мере происходила от его религиозности. Он верил, что в великопленной Вселенной, созданной Богом, возможны всяческие чудеса. Поэтому его не пугали приводившие других в замешательство открытия, которые на первый взгляд не укладывались в общепринятую картину. Так, 11 декабря 1742 г. Трамбле писал Бонне: «Твой червь с двумя хвостами восхитителен, но он не удивляет меня, так как меня ничто не удивляет».



МИКРОСКОП, КОТОРЫМ ПОЛЬЗОВАЛСЯ ТРАМБЛЕ, представлял собой просто линзу, укрепленную на рукоятке с несколькими шарнирами. На рисунке, сделанном Мартином Ф. Ледермюллером около 1762 г., показан также сосуд, в котором Трамбле содержал гидр. Вокруг изображены (по часовой стрелке, начиная с верхнего левого угла) «чудовище» с несколькими головами, сократившаяся и расправившаяся зеленая гидра и особи, скорее всего, вида *Hydra oligactis*.

**Ч**ТО СКАЗАЛ БЫ Абраам Трамбле о современной биологии, если бы он жил сейчас? Мы думаем, что этот биолог, рассматривавший живой организм как единое целое, способный с «увлечением переходить от одного наблюдения к другому», открывший фототаксис, регенерацию, почкование и пересадку тканей, отнесся бы к нашей науке двойственно. Вероятно, он был бы восхищен успехами в таких областях, как нейробиология и молекулярная биология, использующих

организмы для получения ответов на конкретные фундаментальные вопросы. Но его, без сомнения, огорчило бы то, что круг исследований отдельного биолога все больше и больше сужается. А ведь природа слишком обширна, чтобы можно было пренебрегать тщательным изучением всего множества разнообразных организмов, живущих на нашей планете. Трамбле мог бы сказать: «Дайте слово организму».

тельство снизило его привлекательность для представителей тех штатов, на территории которых SSC орудовать не будет. Наличие двух довлеющих факторов — необходимость урезать средства на национальные программы и дефицит бюджета — может вынудить конгресс отложить строительство SSC и поддерживать «жизнедеятельность» проекта небольшими отчислениями из средств, выделяемых на исследовательские работы, как это было в текущем году.

## Наука и общество

### О финансировании гражданских исследований в США в 1989 г.

**Е**СЛИ проект бюджета на 1989 финансовый год, который президент Рейган направил в феврале конгрессу, будет принят, то за обеспеченность гражданских исследований и проектных разработок можно не беспокоиться. В новом бюджете на указанные цели предусматривается выделить 21 млрд. долл., на 1,2 млрд. долл. больше, чем в прошлом году; из этой суммы значительно больше средств предлагается выделить на изучение космического пространства, разработку методов борьбы со СПИДом, создание сверхпроводящего суперколлайдера (SSC) и кольцевого ускорителя частиц протяженностью 83 км. Проект бюджета предусматривает также выделение дополнительных 316 млн. долл. на фундаментальные исследования, финансируемые Национальным научным фондом (ННФ).

Однако не похоже, чтобы в этом году конгресс был намерен отнестись к запросам администрации более серьезно, чем в прошлом году, когда он отклонил предложение об увеличении финансирования ННФ на 17%. В результате ННФ был вынужден отложить по меньшей мере на год выполнение программы по созданию 15 научно-технических центров при университетах. В феврале директор фонда Э. Блох указывал, что темпы роста финансирования фундаментальных исследований в Японии больше, чем в США, и заявил, что «существенный дефицит средств», постоянно испытываемый ННФ, «не отвечает потребностям развития интеллектуального общества».

Полностью исправить положение в рассматриваемой области в следующем финансовом году вряд ли удастся, даже несмотря на предложенные в

проекте бюджета щедрые ассигнования. По сравнению с бюджетом, при котором в конце прошлого года было достигнуто соглашение на высшем уровне по РСД и РМД, федеральный бюджет на 1989 г. может предусмотреть увеличение средств на научные и проектные работы невоенного характера самое большее на 3 млрд. долл. Предлагаемое увеличение средств на исследования и разработки вместе с дополнительной суммой, запрашиваемой на проведение работ, связанных с запусками космических шаттлов и созданием орбитальной станции, превосходит эту сумму; следовательно, конгресс будет вынужден урезать средства на пользующиеся широкой популярностью внутригосударственные программы, чтобы поддержать наращивание потенциала в освоении космического пространства. Члены обеих палат конгресса фактически не видят никакой возможности произвести какие-либо сокращения, особенно в год выборов нового президента. Во время слушания вопроса о финансировании научных исследований депутат от республиканцев Р. Роу, председатель Научно-технического комитета при палате представителей, назвал предложение администрации «упражнением в колдовстве над бюджетом».

Роу все же обещал пересмотреть приоритетность исследований при решении вопроса о распределении средств между ними, что для ННФ могло бы означать получение более солидной суммы за счет сокращения расходов на другие программы и уменьшения финансирования различных агентств. Самым уязвимым, пожалуй, является проект создания SSC как по причине того, что требуемые 363 млн. долл. должны пойти лишь на предварительные исследования, так и потому, что число потенциально возможных мест строительства этого современного исполнителя теперь сократилось до семи, и это обстоя-

тельство снизило его привлекательность для представителей тех штатов, на территории которых SSC орудовать не будет. Наличие двух довлеющих факторов — необходимость урезать средства на национальные программы и дефицит бюджета — может вынудить конгресс отложить строительство SSC и поддерживать «жизнедеятельность» проекта небольшими отчислениями из средств, выделяемых на исследовательские работы, как это было в текущем году.

Одна из форм финансирования, против которой будут выступать многие ученые, — это целевое выделение бюджетных средств на специальные научные работы. В прошлом году на целевые работы, проводимые министерствами обороны и энергетики, было выделено 250 млн. долл. Создание таких «кормушек» осуждают и сами министерства и большинство ученых, поскольку финансируемые из них проекты становятся недоступными для контроля. В то же время все большая нехватка средств вынуждает «неимущие» организации «выколачивать» для себя субсидии, непосредственно воздействуя на своих выборных представителей в конгрессе, и поэтому трудно надеяться на то, что конгресс откажется от практики целевого финансирования.

Озабоченность по поводу успехов СССР в освоении космического пространства, по-видимому, приведет к тому, что НАСА получит значительную долю из общей дополнительной суммы в размере 2,5 млрд. долл., которую администрация предлагает выделить этому агентству. Новые статьи расхода в бюджете НАСА включают финансирование в размере 100 млн. долл. программы «Pathfinder», в рамках которой предполагается провести изучение научно-технических аспектов исследования планет Солнечной системы с помощью пилотируемых космических аппаратов, и выделение 27 млн. долл. на создание новейшего средства астрофизических исследований с помощью рентгеновского излучения — орбитальной рентгеновской обсерватории.

Администрация отказалась от соглашения прежде достигнутого соглашения об увеличении бюджетных ассигнований Национальным институтам здоровья (НИЗ); она надеется на то, что конгресс сам утвердит выделение дополнительных средств этой организации. Часть этой суммы НИЗ присовокупит к тем дополнительным 410 млн. долл., которые предлагается выделить на меры по борьбе и профилактике СПИДа. Озабоченность конгресса по поводу распространения этого заболевания вселяет



надежду на то, что предложение об увеличении средств на эти цели получит полную поддержку. В отношении других, менее впечатляющих статей бюджета какой-либо прогноз расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в условиях политической обстановки в год президентских выборов сделать очень трудно.

### Новые царства

**К**ОСТИ И ЗУБЫ, окаменелости, осадочные породы и кусочки древней смолы, содержащие остатки живого, — вот традиционные «вещественные доказательства», на основании которых ученые судят об эволюции. Но мало что осталось от одноклеточных организмов — первых живых существ на Земле. И филогенетическое древо этих древнейших наших предков биологи строят, исходя из статистического сравнительного анализа генов нынеживущих одноклеточных.

Одна из попыток такого анализа вызвала ожесточенные споры. Статья Дж. Лэйка из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, опубликованная в журнале «Nature», бросает вызов твердо установившемуся представлению о принципиальной разнице между эукариотами (организмами, клетки которых имеют ядро) и прокариотами (у которых нет ядра). Принято считать, что эти два надцарства живой природы воплощают первичное разделение единообразных до этого живых форм — разницу более глубокую, чем разница между растениями и животными. На филогенетическом древе, составленном Лэйком, та ветвь прокариот, которая известна под названием «эоциты», объединена с эукариотами. По мнению Лэйка, эоциты — независимо от отсутствия ядер — более родственны эукариотам, чем прочим прокариотам. Согласно этой радикальной филогенетической схеме, он по-новому очерчивает границы надцарств, дав эоцитам и эукариотам общее название «кариоты», а всем остальным организмам — «паркариоты».

В той же статье Лэйк дерзко утверждает, что его подход позволяет установить корень эволюционного древа, т. е. организм — последний общий предок всего живого. Как он полагает, 3,5 млрд. лет назад клетка усваивала серу и существовала при температурах выше 80 °С. Хотя уже высказывались гипотезы о горячих серных источниках как о вероятной колыбели эволюции, многие специалисты скептически относятся к математическим выкладкам Лэйка и подвергают сомнению его выводы.

«Боюсь, что те данные, на основа-

нии которых Лэйк строит свои схемы, представляют собой по существу "шум", — сказал Г. Олсен из Индианского университета. Олсен и его коллега К. Везе из Иллинойского университета в Эрбана—Шампейн являются главными защитниками разделения живых организмов на про- и эукариот, которое отвергается работой Лэйка. Подход Олсена имеет свои ограничения, и, следуя ему, не удастся установить предковый организм. Тем не менее Олсен высказал недоверие выводам Лэйка. «Я думаю, мы пока еще не знаем, что, собственно, представляет собой корень эволюционного древа, — подчеркнул он, — я бы очень хотел это знать, но то, что предлагается, вовсе не дает способа получить ответ».

Оба лагеря строят филогенетическое древо по результатам анализа клеточных органелл, называемых рибосомами, которые есть во всех клетках. Рибосома состоит частично из молекул РНК; эта нуклеиновая кислота, как и ДНК, содержит генетическое «наследство» клетки. Можно определить родство видов, проводя статистический анализ различий в нуклеотидных последовательностях молекул рибосомных РНК.

К сожалению, большинство стандартных методик составления филогенетических схем страдает от эффекта неравных скоростей эволюции у разных видов. Алгоритм Лэйка, по видимому, учитывает такие отклонения, но Олсен утверждает, что он базируется на нескольких сомнительных допущениях, и это приводит весь анализ к ошибочным результатам.

Другие исследователи более благосклонны к методу Лэйка. «Как статистический метод он еще не доведен до совершенства, — заметил Дж. Фельзенштейн из Вашингтонского университета. — Но я думаю, что главная идея, лежащая в его основе, верна». Он отмечает, что в данном случае объективная внимательная оценка научной достоверности — не единственная причина для столь негативного отношения к чужой работе: «Речь идет о чести открытия царства, так что можно себе представить, сколь много здесь зависит от личных амбиций». Олсен признает, что дискуссия вышла за пределы чисто профессионального разногласия. «Временами угнетает, — говорит он, — что споры переходят на личности». Но Лэйка не обескураживает оппозиция. Он находит ее естественной и весьма полезной в ситуации крупной ревизии таксономических категорий. Из-за работы Лэйка тем, кто не хочет уступить ему последнее слово о последнем предке, по меньшей мере придется уточнить методы анализа.

## Книги издательства „Мир“

### Ф. Айала, Дж. Кайгер СОВРЕМЕННАЯ ГЕНЕТИКА

В 3-х томах  
Перевод с английского

Учебное пособие по генетике, написанное на уровне современных требований. Вышедшее в США вторым дополнительным изданием, оно удачно сочетает современные аспекты молекулярной генетики с генетикой популяций и эволюционным учением.

**Содержание I тома.** Организация генетического материала: понятия и методы классической генетики; хромосомные основы наследственности; организация ДНК в хромосомах; картирование хромосом; структура гена; организация генома вирусов; структура генома бактерий; методы изучения ДНК. **Содержание II тома.** Функция гена: генетический код; регуляция генной активности у про- и эукариот; генетика развития; культуры клеток и их использование в генетике; картирование генома человека; основы генетики количественных признаков. **Содержание III тома.** Эволюция генома; типы генных мутаций и скорость их возникновения; хромосомные мутации и их классификация; генетическая структура популяций; естественный отбор; инбридинг и географическая дифференциация популяций; вопросы видообразования и эволюции.

Книга предназначена для генетиков, молекулярных биологов, эволюционистов, для студентов биологических и медицинских вузов.

1988, 58 л. Цена 6 р. 10 к.  
за комплект



# Наука вокруг нас

## Как получить карту распределения электрических зарядов на поверхности, используя петрушку, шалфей, розмарин и тимьян



ДЖИРЛ УОЛКЕР

**В** ОДНОМ из прошлых номеров журнала (см. «В мире науки», 1988, № 2) я уже писал об электрических микрозарядах, которые можно увидеть в темноте при отдираннии липкой ленты от твердой поверхности. В процессе отделения ленты на ней самой и на этой поверхности образуются пятна электрических зарядов, между которыми проскакивают искры. Наблюдатель при этом видит слабое голубое или бело-голубое свечение, возникающее на движущейся линии отрыва.

Прочитав эти заметки, Д. Доналд из Исследовательских и конструкторских лабораторий фирмы Hewlett-Packard в Пало-Альто написал мне об аналогичных опытах (на самом деле они известны более 200 лет), которые он ставил с целью определить расположение и полярность пятен зарядов на поверхности. В нашем столетии такие опыты привели к созданию фо-

токопировальных машин. В этих машинах используется «тонирующий» порошок, который нужным образом распределяется по бумаге под действием электростатических сил и позволяет получить копию текста или картинки. Значительную часть опытов Доналд выполнил, работая в фирме Хегох, которая производит фотокопировальные машины.

Вы можете повторить опыты Доналда у себя на кухне (при условии, что воздух там не очень влажный). Все, что вам понадобится, это гладкая поверхность, липкая лента и различные порошки: мука, растолченные специи или порошок, применяемый в копировальных машинах. Полоску ленты нужно прилепить к поверхности, а затем начать отдирать (при этом на поверхности остаются пятна зарядов). Если после этого быстро обсыпать поверхность подходящей смесью из двух порошков, один из них

соберется на отрицательно заряженных пятнах, а другой — на положительно заряженных. Если порошки различаются цветом, вы увидите «карту» распределения зарядов. На фотографиях внизу изображены такие карты, полученные Доналдом с использованием молотой корицы и порошка, применяемого в копировальных машинах фирмы Kodak. Во всех случаях ленту отдирали слева направо.

Перед опытом Доналд насыпал небольшое количество одного и другого порошка в пластмассовую бутылку-распылитель и клал туда же небольшие стеклянные бусинки, металлические шарики или что-либо подобное, которые при встряхивании разбивают комочки порошка. Если бутылочку основательно потрясти, частицы копировального порошка зарядятся отрицательно, а частицы корицы — положительно. Чаще всего Доналд наклеивал липкую ленту на пластмассовый ящик с инструментами. (Материал, на который наклеивается лента, должен представлять собой изолятор, наподобие пластмассы, чтобы образующиеся на нем заряды не нейтрализовывались тут же в результате проводимости.) Встряхнув бутылочку, чтобы часть порошка оказалась во взвешенном состоянии, Доналд начинал отдирать ленту и, сдвигая бутылочку, «пшикать» порошком на поверхность ящика.

По мере того как порошки оседали на поверхности, положительно заряженные пятна притягивали к себе копировальный порошок, а отрицательно заряженные — корицу. Этот процесс занимал около одной секунды, в течение которой небольшая часть за-



Карта распределения зарядов, «нарисованная» корицей и копировальным порошком



Траектории искр



Сложные траектории искр



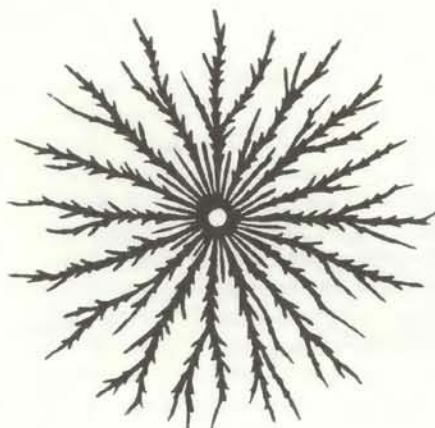
Лестничные картинки

рядов уходила через влажный воздух или нейтрализовывалась благодаря ненулевой проводимости поверхности. После оседания порошков участок поверхности, к которому была приклеена лента, оказывался окрашенным в коричневый цвет (благодаря корице); отсюда можно было заключить, что лента оставляла отрицательно заряженный «след». Остальная часть поверхности «окрашивалась» в черный цвет (благодаря копировальному порошку) — скорее всего, из-за того, что, когда Доналд до начала опыта протирал ящик, тот заряжался положительно.

Если вы решите повторить опыты Доналда, то, «опыляя» поверхность, держите носик распылителя в 10 — 20 см от поверхности. Не сыпьте слишком много порошка. Если же все-таки слой оказался слишком толстым, наклоните поверхность и постучите по ней, чтобы стряхнуть часть порошка, или аккуратно сдуйте его.

Доналд предупреждает, что эти опыты не из самых чистых. В самом деле, каждый раз, когда я проводил их, стены, мебель и моя одежда покрывались разноцветной пылью. Будьте осторожны: эта пыль портит компьютеры и флоппи-диски, а копировальный порошок к тому же портит одежду. Чтобы не пылить вокруг, можно проводить опыты внутри большой пластмассовой бутылки из-под какого-нибудь прохладительного напитка. Насыпьте порошки в бутылку, отдерите ленту, приклеенную к ней снаружи, а затем потрите ее. Электростатические силы, возникшие у заряженных участков на внешней поверхности бутылки, притянут порошки к внутренней поверхности. К сожалению, полученная картина будет, скорее всего, лишена той четкости, которая характерна для «пыльного» опыта.

Основной недостаток этого способа заключается, впрочем, в другом: картинку нельзя сохранить так, как обычно делает Доналд, который «снимает» слой порошка чистой полоской липкой ленты. На обсыпанную порошок поверхность Доналд наклеивает внахлест несколько слоев ленты, а затем осторожно отдирает получившийся «пластырь» вместе со слоем порошка и наклеивает его на лист бумаги. (Как правило, Доналд берет белую бумагу, но иногда, в зависимости от цвета порошков, удобнее взять бумагу определенного цвета.) При перенесении слоя порошка на ленту важно не допустить, чтобы пластырь сдвинулся. Что касается меня, то я вначале прилепляю к указательным пальцам рук концы полоски



Фигуры Лихтенберга, образуемые порошком: анодная (слева) и катодная (справа)

ленты, большими пальцами прижимаю к поверхности середину полоски, а затем приклеиваю всю ленту, сдвигая большие пальцы к указательным.

Насколько успешным будет опыт, зависит от того, в какой степени сохраняются пятна зарядов на поверхности, от которой отдирают ленту. Стекло, например, будучи плохим изолятором, дает плохие результаты: к тому времени, когда порошок успевает осесть, заряды на нем в значительной мере оказываются нейтрализованными. Высокая влажность также влияет отрицательно на результаты опытов. Даже если воздух в комнате достаточно сухой, лента может быть «сырой», если до этого находилась во влажном месте.

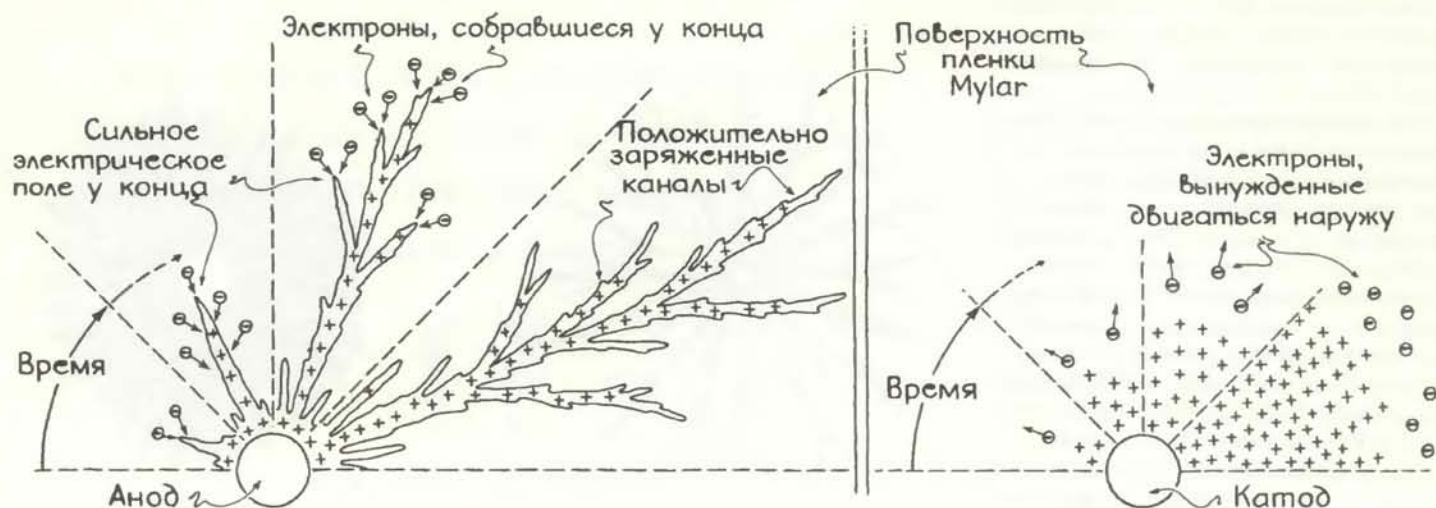
Порошок фирмы Kodak можно заменить порошком, используемым в других копировальных машинах или лазерных принтерах (печатающих устройствах), но при этом электрическая «полярность» корицы и копировального порошка может вообще говоря поменяться. (Ниже я опишу простой тест, с помощью которого можно определить, какой из двух порошков заряжается отрицательно.) Вместо корицы и копировального порошка можно взять, например, петрушку, шалфей, тимьян, ммин, муку разного рода или другие продукты, лишь бы их можно было мелко размолоть. Наилучшие результаты достигаются в тех случаях, когда отдельные частицы порошка одинаковы по размеру, так что пластырь захватывает все частицы и сохраняет мельчайшие детали картины.

Доналд отдает предпочтение неотбеленной пшеничной муке: она лишена магнитных свойств, которыми обладают некоторые копировальные порошки и которые приводят к смазыванию картины. Некоторые другие

порошки, приготовленные из пищевых продуктов, не столь хороши. Порошок горчицы почти прозрачен; кофе и кукурузная мука дают слишком грубый помол. Нельзя брать порошки, у которых коэффициент преломления света такой же, как у липкой ленты: в этом случае после перенесения картинки на пластырь она окажется невидимой. Некоторые смеси порошков «работают» лучше, чем другие, вследствие особенностей взаимодействия во время встряхивания порошков в бутылочке-распылителе. Молотый красный перец дает яркую окраску, но может использоваться только с копировальным порошком; когда его встряхивают, например, вместе с мукой, по-разному заряженные частицы порошков притягиваются друг к другу настолько сильно, что не реагируют на электрическое поле, создаваемое пятнами зарядов на поверхности, и распределяются по ней однородным слоем.

При отдирании липкой ленты от пластмассы небольшие «лавины» электронов могут перескакивать с одного участка поверхности на другой, не создавая настоящей искры. Чтобы добиться искрения, Доналд подкладывает под ленту узкую полоску алюминиевой фольги с заостренным концом. Он пришел к выводу, что при отдирании ленты вместе с фольгой электрическое поле у краев полоски фольги и особенно у ее острого кончика должно быть достаточно сильным, чтобы вызвать ионизацию воздуха.

Когда Доналд сыпал пластмассу порошком, к тому месту, где была фольга, его притягивалось мало; это означало, что пластмасса здесь оставалась электрически нейтральной. Большая часть остального участка, где ленту отдирали от пластмассы,



Как различные заряды дают различные фигуры Лихтенберга

была коричневой благодаря корице, как и в предыдущем опыте. Однако там, где находились края фольги, Доналд обнаружил разветвленные линии, напоминающие молниевые разряды и «окрашенные» в черный цвет благодаря копировальному порошку. Искры должны были проскакивать в воздухе над пластмассой, образуя пути, по которым уходили электроны с пластмассы, и оставляя положительно заряженные полосы. В нескольких случаях в тех местах, где были края фольги, появлялись черные веерообразные структуры. Своим происхождением они обязаны короне — явлению ионизации воздуха, не сопровождающемуся искрением.

Проводя опыты, в которых возникает корона или искрение, вы всегда можете сказать, какой из двух порошков заряжается отрицательно: это порошок образующий ветве-или веерообразные структуры там, где в результате ионизации воздуха возникли положительно заряженные полосы. Я испробовал смесь желтого и красного порошков, продающихся под названием DayGlo. Несколько опытов показали, что эти порошки, имеющие яркие насыщенные цвета, очень хорошо «выявляют» пятна зарядов. Когда я посыпал этими порошками пластмассу, с которой перед этим отдирали ленту с фольгой, красный порошок образовывал ветвящиеся структуры,

указывая, что именно он заряжается отрицательно.

Совсем иные картинки Доналд получает, когда отдирает липкую ленту от пленки из триацетата целлюлозы. Часть «карты» зарядов, которую он снимает с ацетатной пленки, окрашена в черный цвет благодаря копировальному порошку, однако заметны также бледно-коричневые (почти прозрачные) структуры в виде лепестков. Левая половина лепестка узкая и изогнутая, правая — широкая и прямая (напомню, что ленту всегда отдирают слева направо).

Доналд считает, что во время отдираания ленты ацетатная пленка заряжается положительно, а сама лента — отрицательно. Если разность зарядов достаточно велика, электроны начинают переходить с ленты на пленку, почти нейтрализуя ее положительный заряд. Разряд начинается в узкой области, которая после обсыпания ее порошком превращается в левую половину лепестка. По мере того как разряд распространяется по ленте, область нейтрализации электрического заряда расширяется. Когда разность зарядов между лентой и пленкой снижается до определенной величины, разряд резко прекращается и при этом формируется правая половина лепестка. Продолжающееся отделение ленты от поверхности вновь приводит к установлению разности

зарядов, после чего образуется другая лепесток.

Скорость отделения ленты может быть неравномерной (линия отрыва движется рывками), и тогда на «карте» зарядов возникает ряд поперечных полос. Любопытные картинки можно получить, отдирая ленту от ленты (для этого достаточно тянуть за кончик ленты в катушке). Отмотав короткую полоску ленты, обсыпьте ее как обычно порошком, а затем сверху наклейте для сохранения картинки другую полоску ленты. (Сыпать порошок надо быстро, так как лента частично проводит электрический ток.)

Как я уже говорил, метод посыпания порошками образцов, на которых происходило искрение, имеет давнюю историю. Впервые его использовал в 1777 г. Г. Лихтенберг из Геттингенского университета. Он заметил, что, когда порошок покрывал слоем пластинку смолы, на которой наблюдалось искрение, зерна порошка концентрировались в определенных местах, образуя красивые фигуры. Сейчас эти фигуры носят имя их открывателя. Вскоре кому-то пришло в голову, что смесь двух порошков может выявить полярность в распределении зарядов на поверхности, где проскакивали искры. Если просеять сквозь кисею серу и свинцовый сурик, то сера окрасит в желтый цвет положительно



Фигуры Лихтенберга, созданные булавкой, обращенной головкой к поверхности (слева) и острием к поверхности (в середине), и острым концом ножниц (справа)

заряженные участки поверхности, а свинцовый сурик окрасит в красный цвет отрицательно заряженные участки.

Уже в нашем столетии фигуры Лихтенберга помогли понять и проиллюстрировать, как протекают процессы разряда и искрения. Как правило, при таких опытах над широким плоским электродом, покрытым тонким слоем изолирующего материала, укрепляют узкий электрод, и оба они подсоединяются к устройству, которое может вызывать между ними мгновенный разряд. Поверхность изолятора посыпают порошком, чтобы на ней проявились фигуры Лихтенберга.

Какая именно появится фигура, зависит от природы разряда. Если узкий электрод является анодом (положительным полюсом источника тока), то фигура, называемая анодной, состоит из разветвленных линий, исходящих из точки, расположенной прямо над анодом. Если же узкий электрод является катодом (отрицательным полюсом источника тока), то соответствующая катодная фигура представляет собой круглое пятно, образованное множеством линий, которые часто настолько тонки, что не различаются глазом.

Пользуясь советами Доналда, я попытался получить некоторые фигуры Лихтенберга в библиотеке университета, где я работаю. В зимние дни, когда воздух достаточно сухой, в библиотеке часто можно увидеть искры; они возникают, когда человек, прошедший по застеленному ковром полу, касается металлической двери или стеллажа. Эти искры настолько сильны, что их можно ощутить и даже услышать их треск. Мне пришло в голову использовать это неприятное явление в своих целях. Чем служит в данном случае мой палец — анодом или катодом? Чтобы ответить на этот вопрос, мне нужно было получить соответствующую этим условиям фигуру Лихтенберга.

С помощью липкой ленты я прикрепил небольшой квадратик полимерной пленки Mylar к большому металлическому стеллажу. Затем я прошелся по библиотеке, намеренно сильно шаркая и к тому же размахивая руками, чтобы мое тело приобрело наряду с зарядом, возникшим в результате движения по коврам, дополнительный заряд благодаря трению кожи об одежду. Затем я подошел к полке и поднес палец к квадратiku пленки, вызвав небольшой разряд. Высыпав быстро вслед за этим на пленку копировальный порошок Хегох и порошок кминна, я обнаружил, что они образовали черный рисунок размером около сантиметра. Картина имела довольно сложный вид, причем казалось, что из

точки, которой я касался, исходят разветвленные линии; они указывали на то, что мой палец играл роль анода. Затем я «снял» картинку с помощью липкой ленты и перенес ее в свою записную книжку.

Впоследствии я повторил этот опыт, поднося к квадратiku пленки ключ, булавку и ножницы. Я рассчитывал, что острый кончик каждого из этих предметов создаст более сильное электрическое поле и соответственно более мощный разряд, чем мой «тупой» палец. Действительно, несмотря на пленку, временами возникали искры, которые были хорошо заметны и сопровождалась треском. Во всех случаях порошок образовывали на пленке анодную фигуру: тонкие разветвленные линии, исходящие из точки касания. Ясно, что когда я шел по библиотеке, мое тело теряло электроны и заряжалось положительно. Впоследствии, уже в лаборатории, я смог создавать на пленке Mylar катодные фигуры с помощью электростатических машин, которые всегда можно найти в обычных школьных физических кабинетах.

Анодные и катодные фигуры отличаются друг от друга, поскольку различны пути распространения зарядов по пленке. Когда тонкий анод располагается над пленкой, электроны с пленки и из прилегающего к ней слоя воздуха «стекаются» к точке, находящейся непосредственно под анодом, а затем движутся вверх к аноду в виде «лавины» или искр. При этом на пленке и в слое воздуха над ней возникают заряженные каналы медленно движущихся или неподвижных положительных ионов; они «разбегаются» змейками из точки, находящейся под электродом. По мере удлинения каналов сильные электрические поля у их концов собирают все больше электронов, которые затем движутся к аноду. После разряда на пленке остаются «отпечатки» искривленных положительно заряженных каналов. Начальная разность потенциалов между анодом и катодом определяет размер фигуры: чем больше разность потенциалов, тем больше фигура.

Если над пленкой располагается катод, разряд имеет вид лавин или искр, в которых электроны движутся с катода на пленку вниз, где они разбегаются в радиальных направлениях. Когда электроны с пленки и из прилегающего к ней слоя воздуха объединяются в расходящемся потоке, пленка под катодом становится положительно заряженной и начинает экранировать электрическое поле катода, действующее на разбегающиеся электроны. Периферийные электроны, поведение которых определяется действительным распределением зарядов, на-

чинают испытывать воздействие нерадиальных сил и разбегаются по многим направлениям. Каналы при этом не образуются. В результате, когда разряд прекращается, положительно заряженная область на пленке под катодом оказывается круглой, причем ее диаметр зависит от начальной разности потенциалов между катодом и анодом.

Опыты в библиотеке позволили получить две странные фигуры. Одна возникла в опыте с булавкой. Когда к пленке была обращена головка булавки, образовывалась нормальная анодная фигура. Когда к пленке было обращено острие, в центре анодной фигуры возникал пустой кружок. Я подозреваю, что мог булавкой проткнуть пленку, в результате чего электроны с металлического стеллажа нейтрализовали заряды в центре фигуры. Другая загадка состояла в том, что острый конец булавки часто «продуцировал» две фигуры, вложенные одна в другую и отделенные друг от друга «незапыленной» полосой. Обе относились к типу анодных фигур. Я думаю, что первоначальный разряд создавал большую картинку; некоторое время спустя, когда моя рука (абсолютно неподвижно держать ее было, разумеется невозможно) приближалась к пленке, прижимая ее к стеллажу, второй разряд — более слабый — создавал картинку меньшего размера. Не исключено, что второй разряд «смывал» часть первой картинки.

Быть может, вы захотите оспорить мои рассуждения в отношении двух последних опытов. Возможно, вам захочется поискать следы дополнительных разрядов в фигурах Лихтенберга.

Существует множество опытов с электростатическими зарядами. Пятна зарядов часто возникают в тех случаях, когда от рулона или от какой-либо поверхности отдирают прозрачную обертку для продуктов. Часто искрит белье, высушенное и выстиранное в машине без применения антистатических добавок. А сможете ли вы получить фигуры Лихтенберга, погладив кошку и тем самым наэлектризовав ее шерсть?

От редакции. В СССР около 20 лет ведутся исследования сопутствующих процессов, происходящих при нарушении клеевых соединений (М.С. Мешк из Иркутского государственного университета, Ю.М. Евдокимов, Л.А. Тюрикова из Московского лесотехнического института). Эти исследования, в частности, позволили разработать метод неразрушающего контроля качества соединений (см. библиографию на с. 100).

# Занимательный компьютер

## Древний веревочный компьютер, обнаруженный в джунглях острова Апрафал \*



А. К. ДЬЮДНИ

**Н**А ОСТРОВЕ Апрафал у северо-западного побережья Новой Гвинеи археологи обнаружили полусгнившие фрагменты замысловатой конструкции из веревок и блоков. Полагают, что это был первый в истории цифровой компьютер. Руководитель исследовательской группы Р. Л. Рипли из колледжа Чарльза Форта в Нью-Йорке датировал сооружение приблизительно 850 г. н. э.

Апрафалитяне были отличными мореплавателями. Их корабли отличались добротностью и были пре-

красно оснащены. Пришли ли апрафалитяне к своему веревочному компьютеру, потому что так мастерски владели корабельными устройствами из канатов и блоков, или все было как раз наоборот? Мнения специалистов разошлись, и между ними ведутся горячие споры.

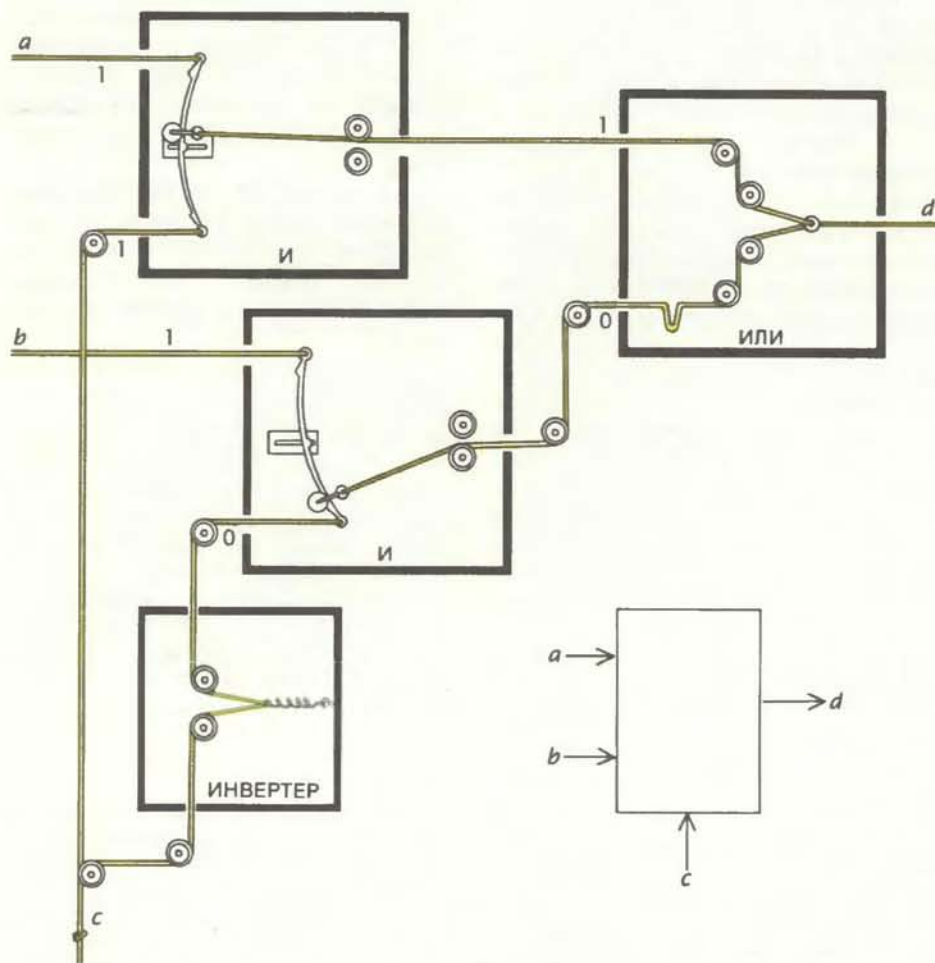
Древний веревочный компьютер недавно был частично реконструирован группой исследователей во главе с Рипли в Тропическом музее морских древностей неподалеку от о. Суматра. Тщательно прочесав сплошь по-

крытую джунглями территорию в несколько квадратных километров к востоку от горного хребта Шу-Ток, она натолкнулась на следы истлевших джутовых веревок и отыщила точное положение сильно окисленных медных блоков и других деталей. Эта реконструкция предоставила мне идеальную возможность познакомить читателей с принципами цифровой обработки данных, не прибегая к крошечным и загадочным электронным компонентам. Здесь есть и вентили, и триггеры, и другие разнообразные элементы, целиком состоящие из веревок и блоков. Все детали хорошо видны и нетрудно понять, как они работают.

Апрафалитяне, так же как и мы, пользовались двоичной системой счисления, но 0 и 1 были представлены в их «машине» не уровнями электрического напряжения, а положениями веревок. Представьте черный ящик с отверстием, просверленным в одной из его стенок, и что вы держите конец натянутой веревки, выходящей из отверстия. Такое положение веревки представляет цифру 0. Если теперь сильнее потянуть за веревку, из ящика послышится скрип и скрежет, и веревка выйдет из отверстия сантиметров на 30. В этом новом положении веревка будет представлять цифру 1.

При помощи таких ящиков можно представить все числа. Например, любое число в диапазоне от 0 до 7 может быть представлено тремя ящиками (см. таблицу на с.85). Чем большим числом ящиков мы располагаем, тем большее по величине число можно представить с их помощью. Десяти ящиков достаточно для представления всех чисел в диапазоне от 0 до 1023.

Мой пример с черными ящиками вовсе не был произвольным. Апрафалитяне, по всей видимости, любили помещать свои механизмы в черные



Веревочный мультиплексор: веревка с определяет, какой из сигналов, а или б, достигнет линии d

\*) Оригинальная статья опубликована в апрельском номере журнала "Scientific American". Желая придать ей юмористический характер, автор придумывает фантастический сюжет с вымышленным названием острова, его обитателей и т. д. Апрафал (в английском тексте Apraphul) созвучно английскому выражению Argil-fool, что в переводе означает «жертва первоапрельской шутки». Однако все что касается описания блочных устройств с веревками следует воспринимать не как шутку, а как попытку автора рассмотреть возможность имитации простейшими механизмами различных логических функций, выполняемых в обычном компьютере электронными схемами. — Прим. ред.

деревянные ящики, большие и маленькие. Может быть это объясняется тем, что строительство и использование компьютеров было исключительной привилегией какой-то технической жреческой касты. Вид огромных сооружений из черных ящиков, наверное, приволил толпу в благоговейный трепет.

Одно из основных устройств, которыми пользовались апрафалитяне, преобразовывало 0 в 1, а 1 в 0. (Иногда нам будет удобнее говорить «0» и «1», вместо «внутри» и «наружу».) Похожий по своим функциям на то, что современные инженеры-электронщики назвали бы инвертером, этот интересный механизм представляет собой опять-таки черный ящик с двумя просверленными в нем отверстиями: одно на передней, а другое на задней стенке (см. рисунок внизу). Если кто-нибудь тянул веревку из отверстия в передней стенке, то из отверстия на противоположной стенке веревка выходила на такую же длину. Заглянув внутрь ящика, можно легко понять как он устроен: веревки, входящие в ящик спереди и сзади, проходят через два фиксированных блока и далее идут к верхней стенке, где крепятся к пружине.

Как уже, наверное, догадались некоторые читатели, цифры 0 и 1 кодировались не столько тем, куда двигалась веревка, а в ящик (внутри) или из ящика (наружу), сколько направлением ее движения. Этот принцип лучше всего продемонстрировать на примере с ящиком, в котором вообще нет никакого механизма. Веревка входит в отверстие на его передней стенке и выходит через отверстие на противоположной стороне. Если потянуть ее из положения 0 в положение 1 из переднего отверстия, она перейдет из положения «внутри» в положение «наружу». Ее движение направлено в ту сторону, в какую тянут. В то же время у выходного отверстия веревка переходит из положения «наружу» в положение «внутри», но поскольку в этом случае веревка движется в направлении, в котором ее тянут, то и здесь она переходит из состояния 0 в состояние 1.

Еще два механизма почти завершают набор компонентов, которыми пользовались древние апрафалитяне для сооружения своих компьютеров. Первый механизм — это черный ящик с двумя входными и одной выходной веревками. Если хотя бы одна входная веревка находится в положении 1, то выходная также будет в состоянии 1. Апрафалитяне достигали этого эффекта исключительно простыми средствами (см. верхний рисунок на с. 86). Каждая веревка, входя-

щая через переднее отверстие, проходила через пару блоков, и привязывалась к кольцу, соединенному с выходной веревкой. Если потянуть за одну или обе входные веревки, кольцо будет двигаться в том же направлении. Поскольку выход у этого черного ящика равен 1, если один или другой вход равен 1, современные инженеры назвали бы это устройство вентилем ИЛИ.

Древние островитяне умели также строить то, что мы называем вентилем И. При этом они пользовались тремя блоками и изогнутым стержнем (см. нижний рисунок на с. 86). Один блок, к оси которого была привязана выходная веревка, мог свободно скользить по стержню. Два других блока были спарены и служили главным образом для того, чтобы удерживать выходную веревку у отверстия в задней стенке ящика. Когда обе входные веревки находились в состоянии 0, изогнутый стержень совпадал с дугой окружности, центр которой находился между спаренными блоками у выхода. Если какую-нибудь из входных веревок оттянуть в положение 1, то один конец стержня сдвинется с линии покоящейся окружности. Блок, скрепленный с выходной веревкой, покатится «под гору», по направлению к другому концу стержня. Положение выходной веревки по существу остается тем же, что и прежде, поскольку этот конец стержня по-прежнему будет совпадать с покоящейся окружностью. (Штырек в середине изогнутого стержня удерживает его ось на месте, когда натягивается лишь одна входная веревка.)

Только если обе входные веревки будут оттянуты в положение 1, выходная веревка тоже перейдет в положение 1. В данном случае весь стержень займет новое положение. На каком бы конце стержня не находился

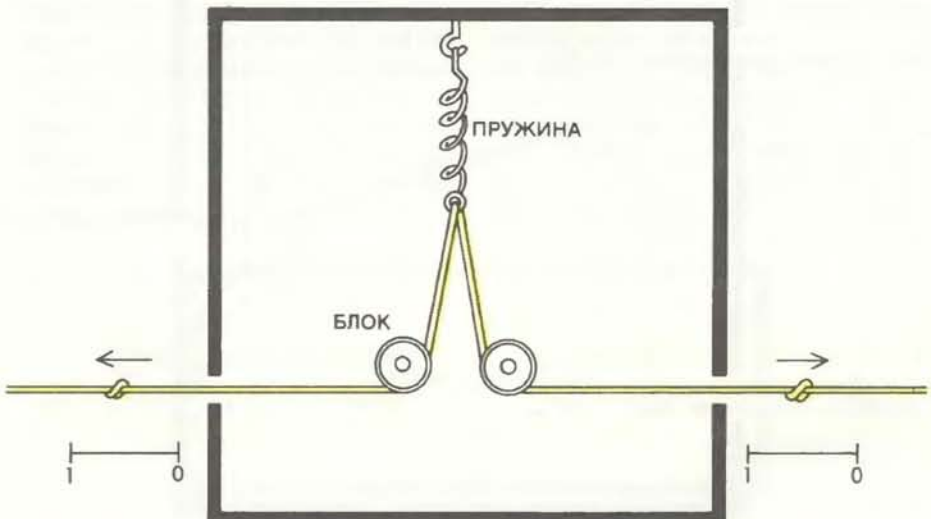
ЯЩИК 1	ЯЩИК 2	ЯЩИК 3	ЧИСЛО
ВНУТРЬ	ВНУТРЬ	ВНУТРЬ	0
ВНУТРЬ	ВНУТРЬ	НАРУЖУ	1
ВНУТРЬ	НАРУЖУ	ВНУТРЬ	2
ВНУТРЬ	НАРУЖУ	НАРУЖУ	3
НАРУЖУ	ВНУТРЬ	ВНУТРЬ	4
НАРУЖУ	ВНУТРЬ	НАРУЖУ	5
НАРУЖУ	НАРУЖУ	ВНУТРЬ	6
НАРУЖУ	НАРУЖУ	НАРУЖУ	7

Представление чисел в веревочном компьютере

подвижный блок, он будет одинаково удален от выходных блоков. Это устройство мы называем вентилем И, потому что выход его равен 1 тогда и только тогда, когда и один, и другой вход находятся в состоянии 1.

Теперь при наличии всех описанных выше компонентов можно построить любые управляющие схемы цифрового компьютера: схемы, выполняющие арифметические действия, схемы, которые интерпретируют коды машинных команд программы и управляют потоками информации между различными компонентами компьютера.

Был ли компьютер апрафалитяне построен на аналогичных принципах? Пока на основании имеющихся данных еще трудно прийти к определенным выводам, однако археолог-компьютолог, работающий под руководством Рипли, утверждают, что им удалось восстановить механизм, способный выполнять функции простого мультиплексора. В электронных компьютерах мультиплексор является по существу электрическим переключателем, который управляет прохождением многих сигналов по одной линии. В качестве примера рассмотрим простейший мультиплексор



Веревочный инвертер

с двумя входными линиями, которые мы условно назовем  $d$  и  $b$ . В любой заданный момент времени на каждой из этих линий может быть сигнал, равный либо 0, либо 1. Какому из этих двух сигналов, передаваемому по линии  $d$  или  $b$  будет разрешено пройти через устройство и выйти по выходной линии  $d$ ? Ответить на этот вопрос можно лишь при условии, если известно, в каком состоянии находится управляющая линия  $c$ : если на ней 1, то на выход пройдет сигнал со входа  $a$ ; если же на управляющей линии 0, то пройдет сигнал  $b$  (см. рисунок на с. 84).

Восстановленный мультиплексор апафалитян имел два информационных входа и состоял из двух вентилях И, одного вентиля ИЛИ и одного инвертера. Конструкция устройства настолько проста, что читатели смогут его построить сами. Не исключено, что в магазинах хозяйственных товаров в скором времени будут раскупле-

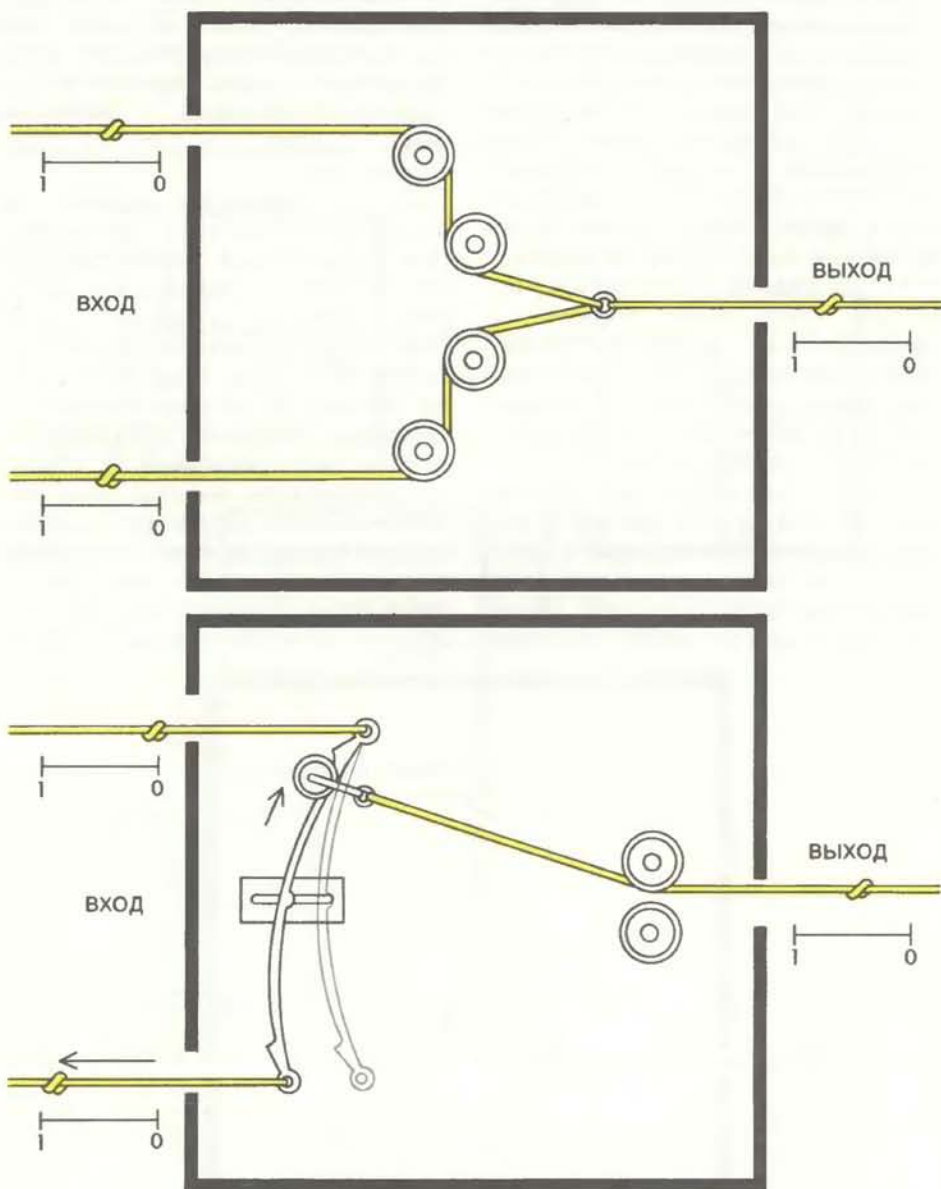
ны все веревки. Глядя на схему, попробуем разобраться, как работает мультиплексор. Веревки  $a$  и  $b$  — это входные линии мультиплексора; каждая веревка идет к своему вентилю И. Веревка  $c$  разветвляется: одна ее ветвь идет непосредственно на вход вентиля И, к которому ведет также веревка  $a$ ; вторая ветвь веревки  $c$  проходит через инвертер и затем на вход того вентиля И, к которому ведет входная веревка  $b$ . Если веревка  $c$  натянута так, что на ней устанавливается значение 1, и поддерживается в этом состоянии, то любая последовательность нулей и единиц, передаваемая вдоль веревки  $a$ , будет без изменений подано через верхний вентиль И на вентиль ИЛИ. В то же время любой сигнал, передаваемый по веревке  $b$ , будет задержан нижним вентиляем И. Если же веревку  $c$  отпустить в положение 0, то инвертер выдаст 1 на входе нижнего вентиля И. В этом случае любой сигнал, передаваемый вдоль

веревки  $b$ , будет теперь беспрепятственно проходить через нижний вентиль И, а сигналы на веревке  $a$  будут игнорироваться.

Вентиль ИЛИ просто связывает два входных сигнала воедино. Предположим, что в данный момент мультиплексор передает сигнал, приходящий по входной веревке  $a$ . Посмотрим, как будет работать мультиплексор. Если веревка  $c$  отпущена и находится в состоянии 0, то подвижный блок в ящике И откатится к концу изогнутого стержня. Таким образом, состояние 0 будет передано на выходную веревку и подано на входную веревку ящика ИЛИ. Другая входная веревка этого ящика уже находится в состоянии 0 (она не натянута). Естественное натяжение выходной веревки  $d$  приведет к тому, что она сразу примет частоту 0. Если теперь снова потянуть за веревку  $a$ , то натяжение передастся по только что рассмотренному пути, в результате чего веревка  $d$  изменит свое состояние.

Теперь рассмотрим вопрос о том, какую роль в компьютере апафалитян играло натяжение веревок. Иногда, как это было в случае с вентиляем ИЛИ, какая-то веревка оказывается ненатянутой. Естественно возникает опасность, что такая веревка соскользнет со своего блока. Рипли сообщил мне, что апафалитяне учитывали такую возможность и применяли в своем компьютере специально модифицированный инвертер с очень слабой пружиной. Во всех местах, где ослабление натяжения веревки грозило каким-нибудь нарушением в работе механизма, они устанавливали «слабые инвертеры», которые позволяли поддерживать некоторое минимальное натяжение в веревках, несущих нулевой сигнал.

Ни один универсальный компьютер не может обойтись без памяти. Память апафалитянского компьютера состояла из сотен специальных запоминающихся элементов, которые мы назвали бы триггерами. Здесь опять заметна способность апафалитян находить простейшие решения. В соответствии с современной терминологией две входные линии механического триггера мы назовем линией установки и линией сброса (см. верхний рисунок на с. 87). Три веревочных линии устройства соединялись с помощью трех блоков таким образом, что, когда линия установки оттягивалась из ящика в положение 1, линия сброса переходила в положение 0. Общая веревочная линия прикреплялась к подвижному бруску в задней части ящика. Выходная веревка, будучи продолжением линии установки, имела большую навеску, которая подхо-



Вентиль ИЛИ (вверху) и вентиль И (внизу)



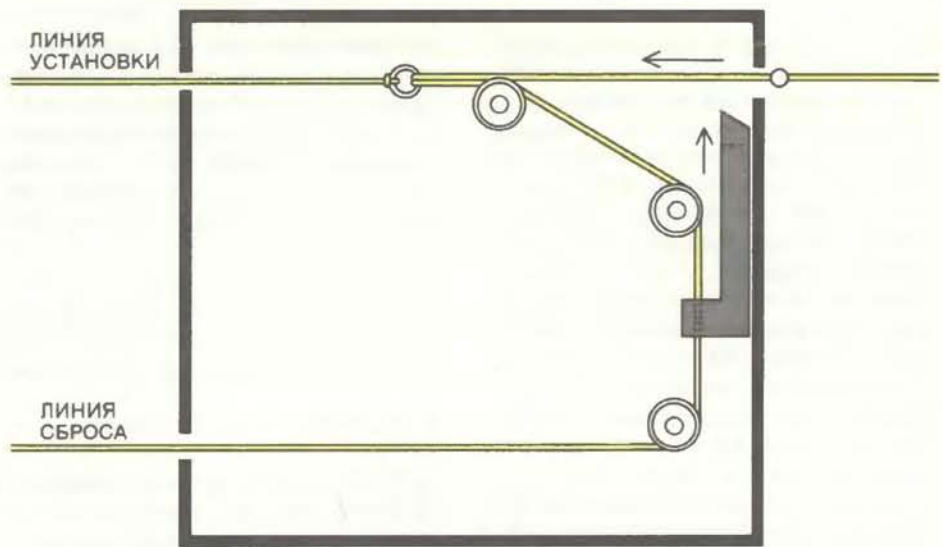
дила к прорези в подвижном бруске. Когда линия установки вытягивалась до предела, навеска над концом бруска попадала как раз в прорезь.

После этого выходная линия поддерживалась в одном и том же состоянии, пока гигантский веревочный компьютер в процессе своей работы не изменял состояние триггера при натяжении линии сброса. Подвижный брусок при этом отходил от навески, освобождая ее, в результате чего выходная линия переходила к состоянию 0. В данном случае, начиная с этого момента, триггер «запоминал» значение 0. Каким образом подобные элементы памяти использовались в веревочном компьютере?

Рипли и члены его группы были слегка озадачены, когда в самом центре гигантского компьютерного комплекса они обнаружили большое заросшее поле шириной около километра. Здесь под поверхностным слоем почвы скрывалось несколько тысяч полусгнивших деревянных ящиков-триггеров, лежащих рядами, по восемь устройств в ряду. Посоветовавшись с архео-компьютологами, Рипли в конце концов догадался, что это поле представляло собой не что иное, как главную память ископаемого компьютера. Каждый ряд из восьми ящиков, очевидно, составлял одно «восьмибитовое слово» точно так же, как три ящика в рассмотренном выше примере составляли трехбитовое слово. Допустим, что три триггера в этом случае имели значения 1, 0 и 1, т. е. представляли число 5 в двоичном коде.

Доступ к таким словам памяти осуществлялся в веревочном компьютере следующим образом. Веревка с выхода каждого триггера в ряду тянулась к входу вентиля И. Другая входная веревка каждого вентиля И сообщалась со специальной веревкой, по которой поступал запрос на содержимое данного слова памяти. Когда эта веревка натягивалась, выходы вентиля И становились тождественными выходами соответствующих триггеров. Выходные веревки вентиля И в свою очередь поступали в большую конструкцию из вентиля ИЛИ, а оттуда в специальный массив триггера, который мы назвали бы регистром. Таким образом, стоило потянуть за веревку, соответствовавшую выбору данного слова памяти, как в регистре устанавливались те же значения битов, что и в выбранном слове.

Главное логическое устройство компьютера, несомненно, могло направлять потоки информации не только от памяти к регистрам, но и от регистра к регистру. Для таких пересылок в частности использовались



Триггер, служивший элементом памяти

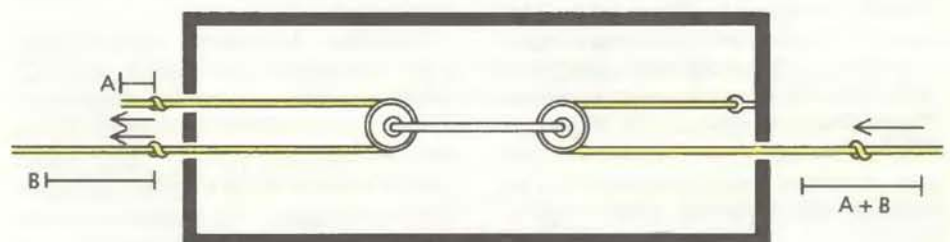
мультиплексоры, а также устройства, выполнявшие обратные мультиплексору функции. В одном регистре, который по нашим понятиям был арифметическим, двоичные слова могли комбинироваться в соответствии с правилами сложения или умножения.

Полагают, что веревочный компьютер был программируемым. Если это так, то часть его огромной памяти использовалась для хранения программы. Команды программы также представлялись наборами из нулей и единиц, которые извлекались из памяти посредством описанного выше механизма. Из памяти эти наборы поступали в так называемый регистр команды, где интерпретировались логическим устройством компьютера.

К сожалению, недостаток места не позволяет мне более детально описать древнюю вычислительную машину, во всем ее величии и сложности. Во время работы она, должно быть, являла собой удивительное зрелище. Поскольку суммарная длина ее веревочных линий была колоссальной, ни одному человеку не хватило бы сил вытянуть линии ввода данных в нужное положение. Найденные на острове скелеты слонов ясно указывают нам на источник энергии, необходимой для того, чтобы приводить машину в действие. На выходных кон-

цах мощные пружины поддерживали необходимое натяжение веревочных линий системы. Возможно, к выходным веревкам были привязаны яркие флажки, глядя на которые жрецы технической касты могли читать результаты вычислений, производимых компьютером.

Интересно сопоставить ископаемый веревочный компьютер острова Апрафал с нанокomпьютером, о котором речь шла в мартовском номере журнала. Конечно, веревочный компьютер принадлежит далекому прошлому, в то время как нанокomпьютер — машина далекого будущего. Веревочный компьютер имел огромные размеры, занимая площадь в тысячи акров. В противоположность ему, нанокomпьютер невероятно мал — в тысячу раз меньше ядра биологической клетки человека. Сама концепция той и другой машины переносит нас в тот абстрактный мир, где увлекательное переплетено с серьезным. Возьмем, к примеру, мечту о создании машин, обладающих искусственным интеллектом. Нам проще поверить в то, что это возможно, если мы представим себе такую машину в виде электронного компьютера, потому что наше собственное мышление в значительной степени происходит на уровне электронных процессов. Однако поскольку любой совре-



Суммирующая веревочная машина

менный компьютер (и его программу) в принципе можно представить в виде веревочных конструкций островитян, то и любое устройство, обладающее искусственным интеллектом, независимо от того, реализуется оно в наше время или в будущем, также будет иметь свой веревочный аналог. А может быть действительно когда-нибудь появится «ХЭЛ- 9000» — «психически ненормальный» компьютер из научно-фантастического романа А. Кларка «2001-й год. Космическая одиссея»? Способны ли мы представить себе, что огромное сооружение из веревок и блоков может быть таким же разумным, как и мы?

Перед тем как покинуть остров Апрафал, бросим последний взгляд в его туманное прошлое. Интересно, какие устройства предшествовали огромному цифровому компьютеру в технической эволюции островитян? Конечно же, аналоговые. На рисунке внизу на с. 87 изображена схема аналоговой суммирующей машины, состоящей из двух веревок и двух блоков. Через два отверстия в передней стенке ящика пропущена веревка, которая внутри его проходит через блок; ось этого блока связана с осью другого блока. Один конец второй веревки прикреплен к задней стенке ящика. Она проходит через второй блок и выходит наружу из отверстия в задней стенке ящика. Возможно, читателям интересно самим разобраться в механизме, посредством которого эта машина складывает два числа. Если за два конца потянуть веревку на входе из ящика на расстояния  $a$  и  $b$ , то выходная линия должна переместиться на расстояние  $a + b$ .

Это ясно. А как островитяне умудрялись производить аналоговое умножение? Я попробую опубликовать описание самой простой из предложенных читателями конструкций.

**БОЛЬШИНСТВО** программистов (как новичков, так и опытных), заинтересовавшихся видео-эффектами, описанными в нашей рубрике в февральском номере, выбрали для своих упражнений задачу с червяками. С. Афра из Оттавы, предыдущее письмо которого касалось головоломки о ханойской башне, рассмотренной нами еще в начале 1985 г., отмечает, что ползающие червяки представляют собой особенно эффектное зрелище, когда программа выполняется в откомпилированной форме.

У. Клементсу из Беверли-Хилла (шт. Калифорния) не понравилось поведение червяков на краях экрана. Вместо того чтобы позволять им уползти за пределы одного края и появляться на противоположной стороне экрана, программа Клементса из-

меняет направление их движения на величину  $+2,5$  или  $-2,5$  в зависимости от того, превосходит ли переменная  $change$  (изменение) значение  $0,5$ .

Случай с Р. Скоттом-младшим из Мэдисона (шт. Виргиния), наверное, типичен для тех читателей, чьи компьютеры работают с версией Бэй-

сика, отличающейся от версии, которой мы пользовались в наших примерах. Червяки программы WORMS отказываются ползать по экранам их компьютеров. Подобные отличия, кажущиеся фатальными, обычно не очень значительны, и их легко обойти после того, как они выявлены.

## Наука и общество

### Гипотеза под ударами

**НЕСКОЛЬКО** раз за последние 600 млн. лет какие-то события настолько изменяли глобальные условия на Земле, что значительная часть всех организмов вымирала в течение относительно короткого времени. Наиболее массовое вымирание в конце мелового периода (65 млн. лет назад) привело к исчезновению более половины всех видов, включая, вероятно, и последних динозавров. Попытки объяснить эти события вызвали острые дискуссии.

Наибольшие споры ведутся вокруг импактной гипотезы (от англ. impact — удар), высказанной в 1980 г. Л. Альваресом и его коллегами из Лоуренсовской лаборатории в Беркли. Они предположили, что причиной массового вымирания в конце мела явилось падение на Землю крупного метеорита или кометы. Поднятые при ударе частицы пыли резко уменьшили освещенность поверхности, что привело к ослаблению фотосинтеза. В результате большинство живых существ погибло в течение нескольких недель.

Главным аргументом в пользу этого предположения является приуроченность во многих районах земного шара точно к границе мелового и третичного периодов (МТ-границе) слоя глины, обогащенной иридием. Иридий — редкий элемент в земной коре, но в некоторых метеоритах его содержание относительно высоко. По расчетам Альвареса, метеорит диаметром 10 км мог выбросить в атмосферу количество обогащенной иридием пыли, достаточное для образования иридиевого слоя глобального распространения.

Выводы Альвареса подтверждались находками в глинах на МТ-границе сажи, возможно, образовавшейся в результате огромных пожаров, вызванных ударом. Еще более показательны зерна кварца с нарушениями, которые, как полагают, являются следствием сильного удара. Такие зерна кварца на МТ-границе были обнаружены в прошлом году во многих районах мира Б. Бохором из Гео-

логической службы США. До этого кварц подобной формы встречали только вблизи известных метеоритных кратеров. Таким образом, его повсеместная распространенность свидетельствует в пользу катаклизма глобальных масштабов.

Куда же упал метеорит? Отсутствие кратера, явно «привязанного» к МТ-границе, многие годы смущало сторонников импактной гипотезы. Однако в настоящее время в качестве такой структуры рассматривают подходящий по возрасту кратер диаметром 35 км в шт. Айова, хотя его размеры меньше предсказанных Альваресом — 200 км. То, что кратер находится в Северной Америке, может объяснить, почему концентрация зерен кварца со следами ударной деформации на МТ-границе, по данным Г. Изетта из Геологической службы США, на несколько порядков величины больше, а сами зерна имеют большие размеры, чем в Европе.

Р. Принн из Массачусетского технологического института в развитие первоначальной импактной гипотезы предположил, что вымирания явились результатом воздействия кислотных дождей, вызванных разогревом атмосферы при ударе. Расчеты показывают, что падение метеорита диаметром несколько километров могло привести к образованию окиси азота в количестве, достаточном для превращения дождей над обширными районами в концентрированный раствор азотной кислоты. Свидетельства в подтверждение этой идеи были найдены Д. Макдугаллом из Скриппсовского океанографического института. Он обнаружил резкое изменение изотопного состава стронция в морских осадках точно на МТ-границе, что могло быть следствием увеличения скорости вымывания стронция кислотными дождями на континентах.

Тем не менее импактная гипотеза, объясняющая массовое вымирание на МТ-границе, принимается не всеми. Некоторые ее оппоненты считают, что как вымирание, так и геологические феномены на МТ-границе были следствием каких-то других причин. Ряд исследователей (включая многих

палеонтологов) не подвергают сомнению геологические свидетельства падения метеорита, но отказываются видеть в нем причину массового вымирания в глобальном масштабе.

К первым принадлежат Ч. Оффисер и Н. Картер из Техасского университета. Они полагают, что причиной и геологических событий, и массового вымирания на МТ-границе могла быть продолжительная интенсивная вулканическая деятельность в конце мелового периода в сочетании с глобальным понижением уровня океана. Оффисер утверждает, что иридиевая аномалия на МТ-границе не везде синхронна и что иридий можно обнаружить на два метра выше и ниже границы. Такое распределение, по его мнению, показывает, что накопление иридия не было единовременным событием в результате падения метеорита, а происходило за счет его поступления из земной мантии при вулканических извержениях на протяжении тысяч лет. В свою очередь кислотные дожди, вызванные извержениями, могли способствовать вымиранию организмов.

Оффисер и Картер полагают, что нашли зерна кварца, несущие следы ударных деформаций, вместе с иридием далеко от МТ-границы. Они думают, что зерна кварца образовались при извержениях и свидетельствуют о том, что иридий также является продуктом вулканической деятельности. Бохор не согласен с такой интерпретацией и считает, что зерна кварца, обнаруженные этими исследователями, несут следы обычных тектонических деформаций. Если бы следы ударных деформаций могли возникать при извержениях, говорит он, подобные особенности были бы обычными для вулканических пород.

Другие оппоненты указывают, что иридий и кварц со следами ударных деформаций концентрируются в верхней части пограничного слоя глин. До отложения иридия и кварца, утверждают они, происходили какие-то другие глобальные события. Некоторые сторонники импактной гипотезы в ответ на эти возражения предлагают концепцию многократных ударов в течение очень короткого времени — «в один уикэнд», по образному выражению Ю. Шумейкера из Геологической службы США. Первые метеориты, содержащие мало иридия, могли упасть в океан (где кварц со следами деформаций отсутствует), разбрасывая обломочный материал, который остался в глинистом слое; в результате последующих падений метеоритов могли отложиться иридий и кварц.

Некоторые оппоненты продолжают настаивать на том, что из палеонтологических данных не следует факт

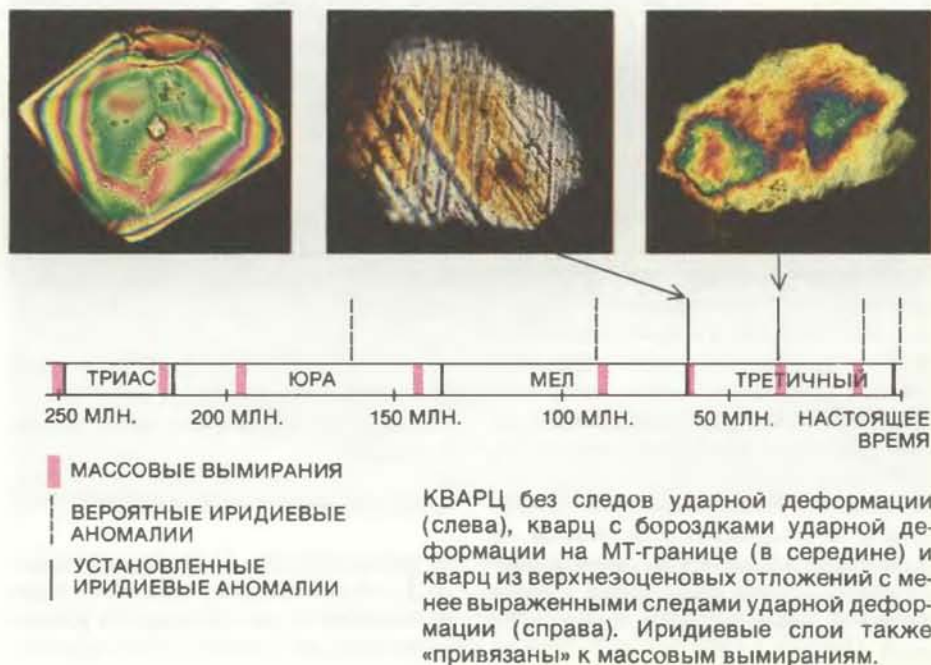
катастрофического вымирания. Типичным выразителем этих взглядов является Д. Арчибалд из Йельского университета, который изучал на территории шт. Монтана некоторые из хорошо прослеживающихся линий эволюционного развития ископаемых организмов, пересекающих МТ-границу. Он доказывает, что многие группы организмов вымерли задолго до этого рубежа и что, если бы даже падение крупного космического тела произошло, это не могло бы объяснить такое длительное вымирание. Кроме того, хотя многие морские животные и планктонные организмы исчезли вблизи МТ-границы вместе с динозаврами и летающими рептилиями, множество наземных растений, пресноводных и глубоководных животных продолжали существовать. Арчибалд, так же как Оффисер и Картер, склонен видеть причину вымирания на МТ-границе в разнообразных планетарных событиях.

В самом деле, большинство «массовых вымираний», похоже, представляют собой многоэтапные события, обычно длившиеся скорее сотни и тысячи лет, а не несколько месяцев. Но, несмотря на это, некоторые геологи делали попытки привлечь импактную гипотезу для объяснения других массовых вымираний. Надежно установленным в геологических разрезах считается лишь еще один иридиевый слой; он приходится на позднеэоценовую эпоху, около 35 млн. лет назад. Недавно у побережья шт. Нью-Джерси был обнаружен кварц со следами ударных деформаций, причем на том же уровне, что и иридиевый слой. Однако связь между предполагаемыми падениями метеоритов и значительными вымира-

ниями, которые имели место приблизительно в это же время, не ясна. По словам Д. Раупа из Чикагского университета, слои с иридием были обнаружены и вблизи ряда других стратиграфических границ, при этом косакие из них, очевидно, совпадают с массовыми вымираниями, но данные слои могут иметь лишь региональное распространение.

Чтобы примирить факт явно поэтапного характера массовых вымираний с импактной гипотезой, исследователи предположили, что в течение довольно значительного, но в геологическом смысле короткого отрезка времени в несколько тысяч лет имели место многократные метеоритные удары. Согласно П. Хату из Института высших исследований, причиной многократных ударов могли быть возмущения в Облаке Оорта, которое, как полагают, представляет собой скопление миллиардов комет, обращающихся вокруг Солнца по орбитам далеко за Плутоном. Расчеты показывают, что звезда, проходящая поблизости от Солнечной системы, может «выбить» из Облака Оорта миллионы комет; при этом несколько десятков блуждающих комет, возможно, упадут на Землю в течение 1—2 млн. лет.

Первоначальную гипотезу Альвареса можно существенно расширить, если считать, что на Землю «выпадали» периодические кометные дожди. В этом случае периодичность массовых вымираний (с периодом 26 млн. лет), о которой сообщили Д. Рауп и его коллега Дж. Сепковски, можно объяснить периодическими возмущениями комет в Облаке Оорта. Статистический анализ, который выявил указанную периодичность, является



спорным, но теория периодического вымирания еще, по выражению Раупа, «... жива и здорова, хотя ее немного лихорадит». В качестве причин возможных периодических кометных дождей называются различные астрономические события, включая регулярные прохождения Солнечной системы через спиральные рукава и плоскость нашей Галактики.

### Вирус лечит

**В**РАГ моего врага — мой друг. Эта логика, оказывается, применима и к вирусам, которые считаются несправимыми злодеями. Вирус, представляющий собой всего лишь частичку генетического материала — ДНК либо РНК, — окруженную белковой оболочкой, может размножаться только внутри живой клетки; при этом ее функционирование нарушается, что приводит к заболеванию организма-хозяина. Но вот недавно обнаружено, что один из вирусов может поражать в организме внутреннего врага — клетки иммунной системы, ополчившиеся против антигенов своего же организма, — и таким образом не дает развиваться смертельному аутоиммунному заболеванию.

М. Олдстон из Научно-исследовательского института Скриппсовской клиники в Ла-Холья сообщил в журнале «Science», что вирус лимфоцитарного хориоменингита (ВЛХМ) предотвращает диабет у неожиревших мышей, генетически предрасположенных к этому заболеванию. Вирус, по-видимому, вмешивается в действия иммунной системы, блокируя саморазрушительную атаку на  $\beta$ -клетки поджелудочной железы, производящие инсулин. Это открытие позволяет думать, что когда-нибудь станет возможным использовать для борьбы с болезнями продукты жизнедеятельности вирусов, так же как сейчас мы используем вещества, образуемые бактериями и грибами.

Олдстон экспериментировал с мышами особой чистой линии, у которых спонтанно развивается инсулинзависимый сахарный диабет, очень похожий на заболевание человека. Это аутоиммунное расстройство: клетки крови, называемые Т-лимфоцитами, которые в норме разрушают чужеродные агенты, проникшие в организм, поражают клетки своего собственного организма, в данном случае  $\beta$ -клетки поджелудочной железы, производящие инсулин. Из-за нехватки инсулина развивается диабет, ведущий к летальному исходу. Мыши заболевают в возрасте шести месяцев, и к концу первого года жизни диабет выражен практически у всех особей этой линии.

В начале 1970-х годов Олдстон обнаружил, что некоторые вирусы мешают развитию у мышей другого аутоиммунного заболевания — красной волчанки. Исследователь предположил, что диабет тоже можно ослабить подавляющим вирусом, избирательно подавляющим аутоиммунную атаку на  $\beta$ -клетки поджелудочной железы. Именно так действует вирус лимфоцитарного хориоменингита. Он поражает менее 2% Т-лимфоцитов, называемых хелперными, но этого достаточно, чтобы предотвратить диабет.

Мышь, которую однажды подвергли воздействию вируса, несет в себе эту инфекцию и защищена от диабета на всю жизнь. Более того, когда лимфоциты животного, зараженного ВЛХМ, ввели незараженным особям, у тех тоже не развился диабет, хотя из содержащих ВЛХМ лимфоцитов вирусные частицы в кровь животного-реципиента не попадали. В контрольном опыте, т. е. когда лимфоциты от незараженных мышей-диабетиков вводили незараженному животному, предрасположенному к диабету, у них развивалось заболевание. Как утверждает Олдстон, иммунная система мышей, зараженных ВЛХМ, во всех остальных отношениях остается, по-видимому, ненарушенной, а негативные побочные эффекты (в основном накопление в тканях агломератов антител, связавших антиген) незначительны.

Теперь Олдстон намерен выделить вирусный ген или его продукт (может быть, это фермент), являющийся активным началом в подавлении аутоиммунного процесса. Он отметил, что такие вирусные продукты могут использоваться, во-первых, для лечения болезней человека, а во-вторых, в качестве проб для выяснения молекулярной основы различных невирусных расстройств. Специалист по диабету Э. Рэйфилд из Медицинской школы Маунт-Синай в Нью-Йорке считает, что результаты этих исследований, возможно, и пригодятся для лечения инсулинзависимого диабета, которым в США больны 1,5 млн. человек, но здесь нужно еще много работы. Он подчеркивает, что, даже если будет разработан эффективный метод противовирусной терапии, нужно еще найти генетический маркер, чтобы выявлять тех индивидов, для которых велик риск развития заболевания.

### Поиски продолжаются

**П**РИРОДА еще не перестала удивлять людей. Всего два года назад К. Мюллер и Дж. Беднорц из Исследовательской лаборатории фирмы

ИВМ в Цюрихе сделали открытие, изменившее представления физиков о сверхпроводимости. Они получили соединение редкоземельного элемента лантана с барием, медью и кислородом, обладающее сверхпроводимостью при высокой температуре. Максимальная температура ( $T_c$ ), при которой проявлялись сверхпроводящие свойства этого материала, была 28 К. В прошлом году Мюллер и Беднорц за это открытие были удостоены Нобелевской премии в области физики. Примерно год назад П. Чу из Хаустонского университета получил еще один материал, сверхпроводимость которого проявлялась при температурах вплоть до 90 К; он имеет аналогичную структуру и содержит вместо лантана другой редкоземельный элемент — иттрий.

В настоящее время группа ученых под руководством Х. Маеды из Научно-исследовательского института металлургических материалов в Цукубе (Япония) получила материал, положивший начало еще одному классу сверхпроводников. В состав нового материала не входит ни один редкоземельный элемент, он имеет отличную от ранее известных сверхпроводников кристаллическую структуру, а его  $T_c$ , как полагают, выше 100 К.

За последние два года ученые исследовали многие разновидности материалов двух первых типов. Появились сообщения, в которых делались намеки, будто получены материалы, у которых сверхпроводимость проявляется при температуре значительно выше 90 К, но такие данные не были подтверждены другими исследователями. Однако после публикации японских специалистов, ставшей широко известной в конце января, в ряде лабораторий были сделаны попытки получить новый материал и вскоре было обнаружено, что он проявляет признаки сверхпроводимости при температуре выше 100 К.

Новый сверхпроводник состоит из висмута, стронция, кальция, меди и кислорода; в сообщениях указывается, что разные лаборатории получили сверхпроводники с несколько отличающимся составом и структурой. Результаты предварительных исследований, проведенных в AT&T Bell Laboratories, Аргоннской национальной лаборатории и других, позволяют предположить, что, как и ранее полученные материалы, новое соединение представляет собой сложную сверхрешетку из слоев атомов меди и кислорода, разделенных слоями атомов стронция, кальция и оксида висмута. Несомненно, что как структурные сходства, так и различия между новым материалом и ранее известными сверхпроводниками побуждают

ученых разобраться в механизме высокотемпературной сверхпроводимости.

По-видимому, новый сверхпроводник имеет две разные кристаллические фазы. Одна из них, полученная в чистом виде в Bell Laboratories, обнаруживает сверхпроводимость при 84 К. Другая, которая, судя по сообщениям, появившимся в конце февраля, пока еще в чистом виде не получена, предположительно имеет  $T_c$  примерно на 20° выше. Кроме того, по словам Чу, получена разновидность соединения на основе висмута, которая содержит также алюминий.

И все же следует отметить, что пройдет еще немало времени, прежде чем сверхпроводники начнут широко применяться на практике. Несмотря на это, специалисты, в том числе А. Стейси из Лоуренсовской лаборатории в Беркли, оптимистически настроены в отношении перспектив использования нового материала на основе висмута, поскольку он не только дешевле по сравнению с материалом на основе иттрия, но и легче поддается обработке и является более стойким к атмосферным воздействиям, чем известные ранее сверхпроводники. Возможно, это соединение является прообразом сверхпроводников, которые получат широкое распространение в будущем.

### Космическая кузница

НЕДАВНО вспышка сверхновой 1987А предоставила эффектное доказательство того, что взрывающиеся звезды «переплавляют» легкие элементы в тяжелые и затем выбрасывают их в окружающее пространство. Это событие в конечном счете может привести к решению вопроса о том, как образовались металлы, встречающиеся на Земле или других объектах Солнечной системы.

Так ли это? У. Арнетт и Л. Джин из Института им. Э. Ферми Чикагского университета и С. Чакрабартти из Калифорнийского технологического института предположили, что тяжелые элементы могли быть выброшены также другим чрезвычайно мощным объектом — черной дырой.

Согласно теории, вещество, захваченное гравитационным полем черной дыры, перед тем, как окончательно будет поглощено ею, закручивается вокруг нее в тугую спираль. Если это вещество обладает достаточным угловым моментом, то оно может сформировать вокруг черной дыры «аккреционный диск». По словам Арнетта, «вы оказываетесь в опасной близости от пасти дракона, но не попадаете в нее».

Упомянутые выше исследователи промоделировали на компьютере

термодинамические условия в аккреционных дисках, используя в качестве переменных параметров массу черной дыры и состав вещества, образующего диск. Модели показали, что некоторые аккреционные диски могут быть достаточно плотными и горячими, чтобы могла начаться термоядерная реакция.

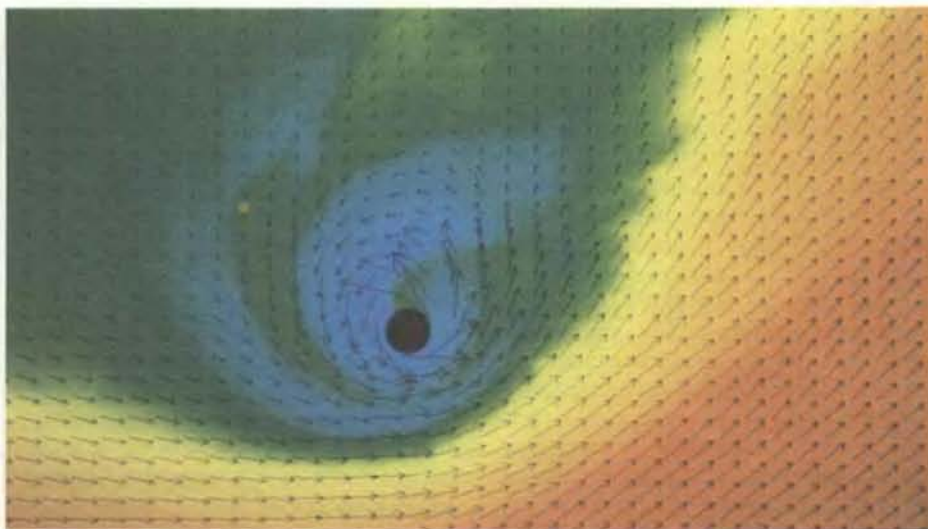
Ученые утверждают, что наиболее подходящие для термоядерного синтеза условия создаются в аккреционном диске черной дыры с относительно малой массой — возможно, остатка одиночной сколлапсировавшей звезды; температура в центре такого диска может подниматься выше миллиона градусов Цельсия, что вполне достаточно для расщепления атомов металлов. Когда черная дыра накапливает массу, плотность и температура ее аккреционного диска, по-видимому, уменьшаются. Тем не менее было высказано предположение, что аккреционные диски даже так называемых сверхмассивных черных дыр (массы которых могут быть больше миллиона масс Солнца и которые, как принято считать, находятся в ядрах квазаров и многих галактик) могли бы перерабатывать водород в гелий и производить небольшое количество более тяжелых элементов.

Каким образом элементы, «переплавленные» в аккреционном диске, распространяются затем в пространстве? Некоторые ученые, как отмечает Арнетт, полагают, что сильная радиация может заставить диск выбрасывать вещество в направлении, перпендикулярном его плоскости. Эта гипотеза была выдвинута для объяснения гигантских «струй» (выбросов), истекающих из некоторых галактик и двойных звездных систем. Спектроскопические данные

подтверждают, что выбросы могут содержать тяжелые элементы.

Джин делает предположение, что ряд металлов, наблюдаемых как в Солнечной системе, так и в Млечном Пути, могли быть выброшены черной дырой в центре Галактики в период ее начального формирования. Он утверждает также, что некоторые очень старые звезды в нашей Галактике содержат более тяжелые элементы, чем те, которые должны были бы образоваться, как принято считать, в результате Большого взрыва. Возможно, наиболее существенно предположение этой группы ученых о том, что образование гелия, которое, как считали, произошло на ранних стадиях Большого взрыва, на самом деле связано с воздействием черной дыры. Распространенность гелия в космосе служит подтверждением стандартной космологической модели.

Однако другие ученые, изучающие аккреционные диски, выражают по этому поводу сомнения. Д. Лин из Калифорнийского университета в Санта-Крус утверждает, что прежде чем аккреционный диск станет достаточно горячим для поддержания реакций ядерного синтеза, он будет расширяться и остывать. Б. Пакцински из Принстонского университета отмечает, что выбросы — основной факт наблюдений, на который ссылаются Арнетт, Джин и Чакрабартти, — пока что являются «нерешенной загадкой». Арнетт признает, что «имеется ряд пробелов в нашем понимании». Тем не менее он допускает, что более строгие данные, например более тщательный спектроскопический анализ космических выбросов, могут помочь заполнить эти пробелы: «Наблюдателям необходимо браться за это».



ГАЗООБРАЗНЫЙ АККРЕЦИОННЫЙ ДИСК закручивается вокруг объекта с мощным гравитационным полем. Эта компьютерная модель получена Б. Фрикселлом из Чикагского университета. Газ относительно низкой плотности (красный) становится более плотным (синий) по мере приближения к объекту.

## Текст в камне; звездный купол; глаз и мозг



ФИЛИП MORRISON

Летоли — местонахождение окаменелостей эпохи плиоцена в Северной Танзании. Под редакцией *М. Д. Лики и Дж. М. Харриса* LAETOLI: A PLIOCENE SITE IN NORTHERN TANZANIA, edited by M. D. Leakey and J. M. Harris. Oxford University Press (\$ 150)

Летоли — это, образно говоря, наиболее четко отпечатавшаяся страница в объемистой «книге осадочных отложений». Текст этой страницы заключен внутри ровного слоя плотно сцементированного серого вулканического пепла толщиной 15 см. Сам слой находится среди перемежающихся вулканических пластов, расположение которых можно проследить среди причудливых изгибов маленькой речки, впадающей в большое соленое озеро на плато Серенгети. Здесь, на территории, занимающей более 75 кв. км гористой безлесной местности, имеются небольшие участки, где в результате разрушения более мягких, располагавшихся выше пород интересующий нас слой выходит на поверхность. На этих участках и были обнаружены в 1976 г. древние отпечатки.

К настоящему времени тщательно обследовано девять выходов на поверхность слоя туфа с отпечатками; при этом на площади менее 0,4 га обнаружено около 10 тыс. следов. На 90% это небольшие отпечатки овальной формы, оставленные африканским зайцем и миниатюрной антилопой дик-дик; сходные разновидности этих животных в изобилии распространены здесь и сегодня. Один пожилой охотник из Мусукумы помогал определять видовую принадлежность животных по их окаменевшим следам, хотя при этом он ориентировался на существующие ныне виды. Оказалось, что там обитали также гиены, страусы, жирафы и носороги; кроме того, были найдены один или два отпечатка лап какой-то очень крупной кошки.

Три обнаруженные цепочки следов принадлежали некогда обитавшей

здесь небольшой по размерам лошади; пересекающиеся в одном месте цепочки следов взрослого животного и детеныша были, по-видимому, оставлены кобылой и ее жеребенком. Характер чередования отпечатков (где четко выделяется копыто и боковой палец) типичен для аллюра, «напоминающего скорее быстрый шаг, чем медленный бег», при котором одна нога из каждой пары все время находится в контакте с поверхностью. Таким способом представители семейства лошадиных обычно передвигаются, когда им требуется сохранять устойчивость, «например во время внезапного снегопада». Обнаруженные отпечатки сравнивались со следами исландского пони, который был специально обучен этому аллюру. Путем соотнесения с соответствующими показателями современного пони удалось примерно определить размеры и скорость хода древних лошадей, оставивших свои следы в Летоли: кобыла имела рост в холке примерно 0,9 м, т. е. была на 0,3 м ниже пони; при пересечении скользкого участка, покрытого вулканическим пеплом, она двигалась со скоростью около 6,5 км/ч, при этом, как видно по следам, копыта ее разъезжались в стороны.

Отложения в Летоли хорошо датированы. Во многих слоях вулканического пепла встречаются крупные чешуйки слюды с высоким содержанием калия; для определения возраста достаточно измерить в них количество радиоактивного аргона. По данным неоднократно произведенных измерений, возраст туфа с отпечатками составляет около 3,5 млн. лет. С геологической точки зрения он имеет поразительную структуру. Его нижняя часть состоит из 14 слоев вулканического пепла, скрывающих мелкие неровности почвы, в том числе и следы при неизменной толщине. Очевидно, что со времени отложения слоев их целостность не была нарушена. На некоторых поверхностях ясно различимо множество отпечатков дождевых капель; прошедшие некогда лив-

ни не смыли, а лишь смочили пепел. Далее следуют несколько более толстых слоев пепла, которые сразу после своего образования были нарушены и основательно перемешаны еще более сильными дождями. Во многих из этих слоев найдены окаменевшие следы.

В самой нижней части туфа можно заметить отпечатки корней травы, однако отпечатков стеблей в толще пласта не видно. Вероятно, трава была короткой от того, что это место служило для животных пастбищем. Здесь на открытой местности росло мало деревьев, поэтому обнаруженная пыльца принадлежала луговым травам. Осаждение пепла произошло в самом конце сухого сезона; причем каждый слой был, вероятно, образован в результате нового извержения. Верхние слои пепла отложены уже во время сезона дождей. Таким образом, в нижних слоях сохранились следы животных, населявших саванну в сухое время года, — цесарок, носорогов; в верхних же слоях встречаются следы животных, мигрировавших после начала дождей (как это имеет место и сегодня), — в основном копытных, а также павианов.

Благодаря чему все эти отпечатки сохранились в грубом вулканическом пепле? Ответ на вопрос заключается в необычных свойствах пепла, который периодически выбрасывался действующим вулканом. Это был пепел с повышенным содержанием углекислого натрия и кальция. При первом же дожде растворимый в воде углекислый натрий цементировал поверхностный слой пепла вместе с оставленными на нем отпечатками. Сам вулкан можно увидеть и сегодня — он находится примерно в 30 км к юго-востоку от этого места; его сильно разрушенный конус возвышается рядом с огромной котловиной кратера более молодого вулкана Нгоро-Нгоро. Давно остывшая лава у подножия старого вулкана имеет соответствующий возраст, а в пробах его пепла отмечается необычно высокое содержание карбонатов.

В этом благоприятном для археологических исследований районе, который известен под названием Восточно-Африканской зоны разломов, с незапамятных времен обитали и представители человеческого рода. В обследованных слоях были обнаружены кости и отпечатки стоп наших далеких предков. В одном месте найдены сразу три цепочки следов древних гоминид; по счастью, сохранился даже один отпечаток пятки. Для того чтобы обнажить эти цепочки следов (показанные на помещенных в книге цветных фотографиях), исследовате-

лям пришлось на протяжении около 30 м снять вышележащий слой более темной породы. (Когда-нибудь на этом месте создадут музей под открытым небом, а пока отпечатки пришлось осторожно засыпать несколькими слоями песка и укрыть сверху пластиковой пленкой.) Двое ученых, изучавших отпечатки, пришли к единому мнению: по существу это следы человеческой ступни, и лишь их возраст не позволяет отнести оставившего их к нашему собственному виду. У найденных следов отсутствуют признаки, которые были бы характерны для промежуточного состояния между обезьяньей походкой и выпрямленным двухногим хождением человека; вероятно, такой переход произошел в какой-то более ранний период. Хотя в обследованных пластах найдены зубы и обломки челюстей, принадлежавшие примерно двум десяткам подобных существ, не было обнаружено ни одного обработанного ими камня. Вероятно, речь идет о грацильных австралопитеках. Аналогичные существа, чьи раздробленные кости найдены в карстовых известняковых пещерах недалеко от Йоханнесбурга, в несколько более поздний период регулярно становились добычей крупных хищников семейства кошачьих.

Разумеется, то же самое случилось и в Летоли. Попадавшие исследователям огромные клыки и мощные челюсти указывали на поистине устрашающие размеры тогдашних кошек (включая саблезубых тигров) — самых грозных хищников среди животного мира той эпохи. Несомненно, экологическая система саванны уже полностью сформировалась к тому моменту, когда на скользкий, только что выпавший вулканический пепел Летоли ступило прямоходящее существо ростом примерно 1 м 40 см, ведя за собой (может быть, даже за руку) своего детеныша; две цепочки их следов протянулись почти строго параллельно, и по этим следам видно, как меньший ускоряет шаг, чтобы догнать того, кто идет впереди. Идущий же впереди сам следует по пятам за кем-то, кто крупнее его самого и кто первым отправился в путь по свежесвалившемуся вулканическому пеплу. Все они каждый день подвергались риску стать добычей хищников. Они могли ходить без усталости, но были всего лишь умными животными. Они пока не знали огня и у них не было никаких орудий. Хотя, кто знает, может быть в их примитивном мозгу мелькнула все же мысль о ямах-ловушках или о заостренных палках?

Тема этой монографии, авторами которой стали 33 специалиста, живу-

щие на трех разных континентах, не является чем-то новым. Работа была почти завершена к началу 80-х годов, а значительная часть включенного в книгу материала была к этому времени даже опубликована. Лишь меньшая часть этой обширной монографии посвящена воссозданию особенностей поведения животных по их окаменевшим следам (а также по причудливым ходам термитника или по гнездам одиночных пчел). В основном же обсуждаются палеонтологические тонкости с подробнейшим описанием и идентификацией фрагментов скелета ископаемых животных. Следует напомнить, что первыми, кто приступил к изучению находок в Летоли 50 лет назад, были Луис и Мэри Лики, привлеченные в это место обнаруженными здесь ископаемыми остатками. Однажды, во время проведения ими раскопок в Олдовайском ущелье, один местный житель из племени масаев сообщил им, что в 30—50 км к югу, в Летоли (в переводе «место, где растут красные лилии»), прямо на поверхности лежит множество старых костей; в подтверждение он показал несколько принесенных отсюда образцов.

Обилие подробностей в статьях специалистов делают настоящую книгу чрезвычайно убедительной и заслуживающей внимания самого широкого круга читателей. Этот поистине всесторонний отчет о сделанных открытиях никого не оставит равнодушным.

*Эдвард Харрисон.* Ночная тьма: загадка Вселенной  
DARKNESS AT NIGHT: A RIDDLE OF THE UNIVERSE, by Edward Harrison.  
Harvard University Press (\$ 25)

**В**СЕМ ИЗВЕСТНО, что после захода Солнца наступает ночь, становится темно. А почему? Почему небо не сплошь освещено бесчисленными звездами?

Рассматривая такой казался бы простейший вопрос, автор успевает кратко обрисовать историю развития основных космологических идей, начиная с Пифагора. Следующее рассуждение поможет нам оценить притягательность и нетривиальность этой загадки. Предположим, что пространство прозрачно для световых лучей, бесконечно и заполнено звездами так же, как и та часть Вселенной, в которой мы живем, включая Солнце и ближайшие звезды. Тогда устремленный в небо взгляд рано или поздно натолкнется на одну из далеких звезд. Однако в таком случае небосвод должен был бы походить на сплошной

золотой купол, светящийся как и солнечный диск. Как видим, что-то в нашем заманчиво простом представлении неверно. Но что именно?

Одно из оригинальнейших решений этой загадки было, как бы, между прочим, предложено талантливым инженером и ученым Эдвардом Фурнье д'Альбе (в 1925 г. он успешно транслировал из Лондона первые телеизображения), который всю жизнь активно содействовал развитию науки в Ирландии. Согласно представлению д'Альбе, далекие звезды выстроены в уходящие в бесконечность ряды, причем таким образом, что они оказываются скрытыми ближайшими созвездиями! Другая его модель основана на предположении, что большинство звезд — это темные тела, экранирующие свет далеких звезд. Однако в этом случае на одну светящуюся звезду должно было бы приходиться около триллиона темных, и мы вынуждены исключить саму возможность существования столь «тяжеловесной» Вселенной.

А может быть, пространство чем-то затуманено? Но даже существование таких разреженных поглотителей, как газ или пыль, не разрешают нашей загадки. Известно, что любое поглощающее вещество, нагревшись, само начинает излучать — снова получаем светящийся небосвод! Первую количественную теорию поглощения предложил французский астроном Жан-Филипп Луи де Шезье в приложении к своему трактату о знаменитой «шестихвостой» комете 1744 г. Спустя два поколения у Шезье появился последователь — Вильгельм Ольберс — врач и талантливый астроном-любитель из Бремена, чье имя (неизвестно почему) с недавних пор носит заинтригованная нас загадка.

А что если на значительном удалении пространство лишено эфира, так что свет просто не исходит оттуда? Подобное предположение было сделано выдающимся астрономом Саймоном Ньюкомом сто лет назад. Но увы, в таком случае загнанный в ловушку свет был бы вынужден бесконечно циркулировать в замкнутом пространстве, а наш небосвод — ослепительно сиять; ведь луч зрения повторяет траекторию светового луча. Эти аргументы также опровергают значительно более современные модели, опирающиеся на представления об искривленных конечных пространствах.

Геометрические соображения подсказали в свое время два возможных ответа на рассматриваемый вопрос. Простейший вариант принадлежит стоикам; они представляли себе нашу звездную Вселенную островком све-

та посреди безграничной темной бездны. Такую картину одинокой Вселенной разделял позже Отто фон Герике, физик и бургомистр города Магдебурга, известный своим опытом с «магдебургскими полушариями», в котором лошадям пришлось померяться силой с вакуумом. По сходному пути следовали и более выдающиеся умы: Иоганн Кеплер, Вильям Гершель и, по всей видимости, молодой Харлоу Шепли. Другой вариант напоминает то, что мы ныне называем фракталом: все пространство безграничной звездной Вселенной сплошь заполнено, однако оно имеет пустоты благодаря своей иерархической структуре; пример такой «иерархии» — деревья, рощицы, леса... . Конечный набор уровней, например суперкластеры, которые мы в действительности наблюдаем, недостаточен.

Некоторые из объяснений основаны на эффекте красного смещения. В самом деле, ведь наша Вселенная не есть статическая система Ньютона и молодого Эйнштейна, и излучение постоянно удаляющихся звезд должно смещаться в длинноволновую область спектра, пока не станет невидимым. Однако в применении к этой, хотя и расширяющейся, но наполненной долговечными звездами Вселенной такая гипотеза не решает загадки. Хотя этот эффект и наблюдается, он слишком слаб, поскольку расширение Вселенной оказывает пренебрежимо малое влияние на излучение большинства звезд. Тут мы затрагиваем весьма сложную область: в «стационарной» космологии, в которой постулируется постоянное образование вещества, красное смещение в самом деле могло бы приглушить сияние далеких звезд. Но в общепринятых сейчас моделях эволюционирующей Вселенной, образовавшейся в результате Большого взрыва, красное смещение размыло «горячий мир» прошлого, когда излучение имело незвездное происхождение. Небо над нами равномерно заполнено излучением миллиметрового диапазона. Однако к звездам оно не имеет никакого отношения.

Непосредственный ответ на интересующую нас загадку содержится в метафизическом эссе Эдгара Аллана По, которое он написал в последний год своей короткой жизни. Оно называлось: «Эврика: поэма в прозе» (эта маленькая книжка, хотя и получила одобрительные отзывы, но раскупалась медленно, и издатель уплатил за нее автору всего 14 долларов). «Будь последовательность звезд бесконечной... можно было бы объяснить пустоты... наблюдаемые в наши телескопы... предположив, что расстоя-

ние до невидимого фона столь велико, что ни один луч оттуда еще не дошел до нас». Да, никто иной, как само Время, затмевает золотой звездный купол. Лорд Кельвин, выдающийся ученый викторианской эпохи, обосновал эту идею столетие назад в своих «Балтиморских лекциях». В равномерно заполненной звездами, прозрачной и статичной Вселенной, всюду напоминающей знакомый нам околосолнечный ее участок, звездный купол будет находиться столь далеко от Земли, что, прежде чем достичь ее, свету придется путешествовать миллионы миллионов жизненных циклов Солнца. Однако наши звезды вовсе не такие уж старушки!

В конце длинного перечня попыток найти ответ на эту загадку приведена и точка зрения самого автора. Идею об относительно небольшом возрасте Вселенной он подкрепляет следующим убедительным аргументом: энергии всей той материи, которую можно поместить в доступное нам пространство, совершенно недостаточно для поддержания сверхдлительного непрерывного процесса. Как полагает Эдвард Харрисон, способ разрешить эту загадку будет предложено еще немало. Так, некоторые исследователи продолжают развивать предложенную Уильямом Д. Макмилланом 60 лет назад гипотезу, постулирующую захват и возвращение в цикл рассеянной энергии.

Доводилось ли вам когда-либо, потянув за свободный конец нити, распускать полоску вязаной ткани? Небольшая книга Харрисона проделывает подобную операцию над таким добротным материалом, как космология; она дает читателю прекрасную возможность познакомиться с вопросом, не требуя от него специальной предварительной подготовки.

*Дейвид Г. Хьюбел. ГЛАЗ, МОЗГ И ЗРЕНИЕ*

EYE, BRAIN, AND VISION, by David H. Hubel. Scientific American Library, W. H. Freeman and Company (\$ 32.95)

«**М**ОЖЕТЕ себе представить, как я был удивлен, обнаружив, что световая вспышка, направленная прямо в глаз животного, вызывает очень слабую реакцию», — вспоминал С. Куффлер из Университета Джонса Гопкинса, первым в начале 1950-х годов разгадавший давнюю хитрую загадку, с которой не раз сталкивались нейрофизиологи. С помощью электродов он сумел получить резко усиленные нервные импульсы от ганглиозных клеток, которые в сетчатке образуют сеть перед

слоем палочек и колбочек, служащих фоторецепторами в глазу человека и других млекопитающих. Чтобы вызвать электрический ответ, Куффлеру не нужно было освещать крупные участки сетчатки; напротив, он проходил по ней узким световым лучом. Более того, во втором случае реакция оказывалась сильнее.

Куффлер обнаружил, что, когда размер светового пятна на сетчатке превышает определенную небольшую часть поля зрения, клеточный ответ ослабляется до медленной нерегулярной импульсации, не отличающейся от происходящей в полной темноте. Очень мелкое пятно также вызывает слабую реакцию, но она растет по мере расширения пятна, достигая четкого максимума, а затем резко падает. Стимулы, поступающие на соседние точки сетчатки, которая формирует изображение так же, как оно складывается из отдельных точек на газетной фотографии, преобразуются нервными клетками сетчатки в специфические сложно устроенные рецептивные поля. Ганглиозные клетки реагируют на светлые пятна определенного размера, находящиеся на темном фоне; если пятно крупнее или мельче, чем нужно, импульсация подавляется. Вообще, существуют два типа рецептивных полей ганглиозных клеток; второй противоположен первому: требуется темный центр определенной величины на светлом фоне.

Напрашивается существенный вывод: тормозный ответ сетчатки так же важен для зрения, как и возбуждающий. Даже на этих дальних подступах к мозгу синаптические связи между нейронами, образующими три взаимосвязанных слоя общей толщиной в четверть миллиметра, осуществляют синтез раздражений, переводя их на язык элементарных зрительных восприятий. Входящие в состав сетчатки 125 млн. фоторецепторных клеток передают сигналы всего лишь миллиону ганглиозных клеток — такое концентрирование обеспечивает «значимость» информации. До Куффлера никто не догадывался, что «зрительный нерв практически не реагирует на такую тривиальную вещь, как рассеянный свет». Дейвид Хьюбел — ныне лауреат Нобелевской премии, руководитель известной лаборатории при Медицинской школе Гарвардского университета, — тогда был молодым научным сотрудником Куффлера (их творческий союз длился еще много лет).

Эта прекрасно иллюстрированная книга, задуманная как введение в теорию зрения, отличается доступностью для неподготовленного читате-



*Издательство МИР предлагает:*

---

*Сибеста Р.*

**СТРУКТУРНОЕ  
ПРОГРАММИРОВАНИЕ  
НА ЯЗЫКЕ АССЕМБЛЕРА  
ДЛЯ ЭВМ VAX-11**

Перевод с английского

---

Р.Сибеста

**Структурное  
программирование  
на языке  
ассемблера**

**VAX-11**

Издательство «МИР»

---

Излагаются основы программирования на языке ассемблера для ЭВМ ВАКС-11, которая отличается от ПДП-11 более развитой архитектурой, возможностью обработки 32- и 64-разрядных слов, виртуальной памятью до 4 Гбайт и большим быстродействием. Пользуясь данной книгой, можно достаточно быстро освоить

процедуры составления программ для создаваемых в нашей стране перспективных машин серии СМ ЭВМ.

Для специалистов, работающих в области разработки программного и информационного обеспечения, а также студентов, изучающих вычислительную технику.

1988, 25 л., 2 р. 10 к.

Предварительные заказы на книгу принимаются магазинами научно-технической литературы

---



Издательство **МИР** предлагает:



В 2-х томах.  
Перевод с английского  
Под редакцией  
Дж. Киршвинка, Д. Джонса,  
Б. Мак-Фаддена.

Монографический сборник американских авторов — первый в мировой литературе обобщающий труд по магнито-биологии. В книге собрана исчерпывающая информация о наблюдаемых биологических эффектах магнитного поля, сформулированы концепции относительно их физических основ, подробно описаны новые методы и технология палеомагнитных и магнитных исследований. Большое внимание уделено вопросу о магниторецепции человека. Представлена обширная библиография, которая (как и вся книга) охватывает тематику, находящуюся на стыке биологии, геофизики, физики, палеонтологии, медицины и новой аппаратной техники.

Содержание: Биоминерализация железа: геобиологические аспекты. Ферримагнитные свойства магнетита. Геомагнитное поле: физика, биологическое значение. Техника биомагнитных исследований. Магниторецепция: теория. Исследования магниторецепции у различных животных и человека. Биогенный магнетит в палеонтологическом материале.

Для специалистов-биологов (биофизиков, физиологов, зоологов, микробиологов, палеонтологов), медиков (физиотерапевтов, гигиенистов), геофизиков.

1988, 61 л. Цена 9 р. 10 к. за комплект

Предварительные заказы следует направлять  
в книжные магазины, распространяющие  
научно-техническую литературу.



ля, хотя и вполне научна. Автор успешно лавирует между двумя крайностями, избегая как поверхностного изложения, так и излишней детализации. В результате перед нами впечатляющий обзор различных аспектов проблемы, предназначенный для всех, кто интересуется нейробиологией; читатель получает возможность познакомиться с данными микроанатомических исследований, нейрофизиологических экспериментов и клинических наблюдений.

Как только сетчатка сформировала «значимый» сигнал, он передается дальше по зрительному тракту. Сегодня трудно избежать очевидной и полезной метафоры: в мозгу при помощи проводов, роль которых играют нервные волокна, создается ряд последовательных мозаичных проекций исходной картины. Вот первый уровень — три плотно упакованных слоя клеток, образующих сетчатку; на ее «выходе» несколько сантиметров толстого кабеля — зрительный нерв, ведущий к латеральным коленам, состоящим из 1,5 млн. клеток, организованных в 6 слоев. Рецептивные поля этих клеток, по-видимому, соответствуют рецептивным полям ганглиозных клеток сетчатки. Отсюда веером расходятся тонкие провода — нервные волокна к первичной зрительной коре в затылочной доле больших полушарий. В коре, как показали Хьюбел и Торстен Визель со своими коллегами, находятся клетки с более сложными рецептивными полями: они реагируют не только на светлые и темные пятна, но и на движение, ориентацию и даже длину световых полос, проецирующихся на сетчатку.

На сегодняшний день получены убедительные подтверждения результатов картирования первичной коры; поначалу оно было проделано с помощью электродных отведений, а теперь эти данные существенно дополнены. На одной из приведенных в книге фотографий показан замороженный срез так называемой стриарной зоны коры макака-резуса. На сетчатку анестезированной обезьяны, которой ввели радиоактивную метку, в течение 45 мин проецировалось изображение в форме мишени. Активные клетки захватывали метку, и благодаря ее радиоактивности можно было определить положение этих клеток в коре мозга с помощью фотопластинки. Был получен вполне различимый, хотя и несколько искаженный рисунок мишени — он как бы по-разному увеличен в разных участках коры.

Зрительная кора может быть описана как мозаика из «модулей», каждый из которых состоит из несколь-

ких сот детекторов, в большинстве своем взаимосвязанных. Каждый модуль — это небольшой (1—2 мм<sup>3</sup>) участок коры, представляющий некоторую область сетчатки. Каждая из таких областей включает полный набор детекторов, воспринимающих линии любой ориентации. Соответствующие им участки представлены с плавными переходами вдоль одной из осей модуля. Вдоль другой оси сигналы от обоих глаз чередуются. Конечно, это схема весьма идеализированная. Реально сигналы, поступающие от разных точек поля зрения, неодинаковы; к тому же рецептивные поля существенно перекрываются.

Прогресс в изучении зрения очевиден, причем при рассмотрении различных сторон проблемы прослеживается единый принцип, в том числе применительно к цветовому зрению. В коре обнаружены небольшие группы клеток, возбуждающихся светом в определенном интервале длин волн (если только цветовые пятна не слишком велики), но не реагирующие на ориентацию и белый свет. Их цветовая специфика сложно закодирована и отчасти напоминает систему противопоставления центра пятна его окружению, открытую Куффлером для ганглиозных клеток. Глава, посвященная цветовому зрению, отвечает самым строгим требованиям, которым должны удовлетворять изложение столь спорного вопроса. Восприятие «коричневого» и «пурпурного» в объяснении автора так же понятно, как и чистых спектральных цветов. Гипотетическая модель, построенная Хьюбелом вместе с Маргарет Ливингстон, близка к идеям Эдвина Лэнда о пограничном сравнении цветовых полей; естественно, она подкреплена нейробиологическими данными. Однако цвет — лишь одна из характеристик объектов внешнего мира, и удивительно, что мы еще и близко не подошли к пониманию зрительного восприятия целостной формы. Соблазнительная для ученых попытка объяснить «перевод» сигналов, поступающих извне, на привычный для нас язык зрительных образов пока остается за пределами экспериментального изучения.

Современные ЭВМ состоят из огромного количества сложно организованных и взаимосвязанных компонентов, содержат множество поперечных связей, встроенные контуры, накопленную память. Описывая зрительную систему, автор не злоупотребляет этими броскими аналогиями, обращая главное внимание на процессы, существование которых способен доказать. Одна клетка может входить в 100 комплексов, каждый из которых

включает 1000 клеток. Их перекрывающиеся рецептивные поля являются основой наших представлений о мире. Эти идеи еще недостаточно разработаны (что Хьюбел признает), однако в принципе параллелизм в устройстве и функциях между ЭВМ и мозгом очевиден. Многостороннее взаимодействие тонко запрограммированных алгоритмов, по-видимому, в обоих случаях формально эквивалентно. Книга не ведет непосредственно к такому заключению, и до окончательного ответа далеко, но путь к нему ясен, а пройденные на сегодняшний день этапы внушают оптимизм.

## Книги издательства „Мир“

Дж. Уэстон  
ТЕХНИКА  
СВЕРХВЫСОКОГО  
ВАКУУМА

Перевод с английского  
В книге специалиста из Великобритании рассмотрены вопросы теории и практики сверхвысокого вакуума. Представлены сведения о материалах, используемых в условиях вакуума, средствах получения и сохранения высоких степеней разряжения и способах измерения давлений. Описаны методы контроля герметичности. Рассмотрены некоторые модели новейшего научного и промышленного оборудования.

Для специалистов в области вакуумной техники, а также для широкого круга экспериментаторов, работающих в смежных областях техники и использующих вакуум в своей практической деятельности.

Из рецензии академика А.И. Шальникова: «Существенной особенностью книги Дж. Уэстона является то, что в ней рассмотрены практически все аспекты проблемы получения ультравысокого вакуума, интересующие широкий круг читателей».

1988, 25 л. Цена 2 р. 20 к.



# Вниманию читателей!

ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ И ВЫСЫЛАЮТСЯ НАЛОЖЕННЫМ ПЛАТЕЖОМ  
СЛЕДУЮЩИЕ ТЕМАТИЧЕСКИЕ ВЫПУСКИ ЖУРНАЛА «ТИИЭР»  
(«Труды Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике» —  
перевод журнала *Proceedings of the IEEE*, США)

## ТИИЭР, т. 73, № 12 (декабрь 1985)

Малый тематический выпуск

### ИНЖЕНЕРНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

#### СОДЕРЖАНИЕ

Нововведения в программном обеспечении  
ЭВМ Explorer фирмы Texas Instruments  
Языки ограничений и декларативные языки  
для инженерных приложений  
Автоматизированное проектирование и изготов-  
ление чертежей на персональных ЭВМ  
Автоматизированная система разработки на  
основе пакета программ MATRIX/PC: Модели-  
рование и оптимизация на персональных ЭВМ  
Обработка сигналов и решение инженерных за-  
дач на персональных ЭВМ  
Обзор программного обеспечения персональ-  
ных ЭВМ в Японии

Кроме того, вне рамок малого тематического выпус-  
ка в номере опубликованы следующие обзорные  
статьи:

Прямые методы анализа динамической устой-  
чивости энергосистем: Новые результаты  
Применение ультразвука в неразрушающем  
контроле  
Оценка перспективности технологий  
Оценки, энтропия, правдоподобие

## ТИИЭР, т. 74, № 11 (ноябрь 1986)

Малый тематический выпуск

### МАГНИТНАЯ ЗАПИСЬ

#### СОДЕРЖАНИЕ

Основные принципы магнитной записи  
Порошковые магнитные материалы для носите-  
лей магнитной записи  
Тонкопленочные носители магнитной записи  
Магнитные головки для информации с высо-  
кой плотностью  
Устройства магнитной записи  
Магнитооптическая запись  
Достижения в области ЗУ на цилиндрических  
магнитных доменах

Кроме того, вне рамок малого тематического выпус-  
ка в номере помещена обзорная статья  
Спектральный анализ и различение сигналов  
по пересечениям нуля

Цена номера 3 р. 30 к. Журнал можно приобрести в Москве в следующих магазинах:  
Московский Дом книги (пр. Калинина, 26, секция издательства «Мир»),  
магазин № 19 «Мир» (Ленинградский проспект, 78).

У иногородних читателей заказы на отправку отдельных номеров  
наложенным платежом принимает редакция журнала.  
Заказы следует присылать  
**на открытках отдельно на каждый номер**  
(с указанием требуемого количества экземпляров) по адресу:  
129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2, редакция ТИИЭР.



# Книги издательства „Мир“

А. Кокс, Р. Харт

## ТЕКТОНИКА ПЛИТ

Перевод с английского

В книге известных геофизиков из США впервые рассматриваются проблемы количественного расчета относительного движения плит, анализ абсолютных движений и движущий механизм тектоники плит. Ясно и доступно излагается весь арсенал средств, которыми пользуются при плито-тектоническом анализе. Рассматривается геометрия плит, векторы их движения и использование палеомагнитных данных для определения поворота одного блока относительно другого. Несмотря на простоту изложения и минимальное привлечение математического аппарата вся книга написана на высоком научном уровне и отвечает современному состоянию наших знаний по тектонике плит. Такую книгу и профессор, и студент, и рядовой геолог ждали давно. Впервые в мировой литературе появилась монография, которую можно назвать «Численная тектоника плит». Она удачно сочетает черты монографического описания численной тектоники плит и учебного пособия.

Для широкого круга геологов и геофизиков, кроме того может быть использована как учебное пособие в геологических вузах.

1989, 27 л. Цена 5 р. 40 к.

Предварительные заказы направляйте в магазины, распространяющие научно-техническую литературу.

Издательство заказы не принимает.



## КОМПЬЮТЕРЫ И МУЗЫКА

THE TECHNOLOGY OF COMPUTER MUSIC. Max V. Mathews, Joan E. Miller, F. R. Moore, J. R. Pierce and J. C. Risset. The M.I.T. Press, 1969.

THEORY AND APPLICATION OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING. Lawrence R. Rabiner and Bernard Gold. Prentice-Hall, Inc., 1975.

THE ACOUSTICAL FOUNDATIONS OF MUSIC. John Backus. W. W. Norton & Company, Inc., 1977.

THE BYTE BOOK OF COMPUTER MUSIC. Edited by Christopher P. Morgan. BYTE Books, 1979.

## СВОЕ, ЧУЖОЕ И АУТОИММУНИТЕТ

LINES OF T LYMPHOCYTES INDUCE OR VACCINATE AGAINST AUTOIMMUNE ARTHRITIS. Joseph Holoshitz, Yaakov Naparstek, Avraham Ben-Nun and Irun R. Cohen in *Science*, Vol. 219, No. 4580, page 56-58; January 7, 1983.

IMMUNIZATION TO INSULIN GENERATES ANTIIDIOTYPES THAT BEHAVE AS ANTIBODIES TO THE INSULIN HORMONE RECEPTOR AND CAUSE DIABETES MELLITUS. Irun R. Cohen, Dana Elias, Ruth Maron and Yoram Shechter in *Idiotypy in Biology and Medicine*, edited by Heinz Köhler, Jacques Urbain and Pierre-André Cazenave. Academic Press, Inc., 1984.

T LYMPHOCYTE CLONES ILLUMINATE PATHOGENESIS AND AFFECT THERAPY OF EXPERIMENTAL ARTHRITIS. Irun R. Cohen, Joseph Holoshitz, Willem van Eden and Ayalla Frenkel in *Arthritis and Rheumatism*, vol. 28, No. 8, pages 841-845; August, 1985.

CLONING OF THE MYCOBACTERIAL EPITOPE RECOGNIZED BY T LYMPHOCYTES IN ADJUVANT ARTHRITIS. Willem van Eden, Jelle E. R. Thole, Ruud van der Zee, Alie Noordzij, Jan D. A. van Embden, Evert J. Hensen and Irun R. Cohen in *Nature*, vol. 331, No. 6152, pages 171-173; January 14, 1988.

## МЕМБРАННЫЙ ПОДХОД В ТЕОРИИ ЧЕРНЫХ ДЫР

THE STRUCTURE OF SCIENTIFIC REVOLUTIONS. Thomas S. Kuhn. University of Chicago Press, 1970.

Имеется перевод: Кун Т. СТРУКТУРА НАУЧНЫХ РЕВОЛЮЦИЙ. — М.: Прогресс, 1977.

BLACK HOLES: THE MEMBRANE PARADIGM. Kip S. Thorne, Richard

H. Price and Douglas A. Macdonald. Yale University Press, 1986.

Новиков И. Д. ЭНЕРГЕТИКА ЧЕРНЫХ ДЫР. — М.: Знание, 1987.

Новиков И. Д., Фролов В. Г. ФИЗИКА ЧЕРНЫХ ДЫР. — М.: Наука, 1986.

Полнарев А. Г. ПАРАДОКСЫ ЧЕРНЫХ ДЫР. — Энергия, 1985, № 6, с. 86.

## ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫЕ ЗДАНИЯ

A NEW PROSPERITY: BUILDING A SUSTAINABLE ENERGY FUTURE. Solar Energy Research Institute. Brick House Publishing, 1980.

SUPPLYING ENERGY THROUGH GREATER EFFICIENCY: THE POTENTIAL FOR CONSERVATION IN CALIFORNIA'S RESIDENTIAL SECTOR. Alan Meier, Janice Wright and A. H. Rosenfeld. University of California Press, 1983.

ENERGY SOURCES: CONSERVATION AND RENEWABLES. Edited by David Hafemeister, H. Kelly and B. Levi. American Institute of Physics, 1985.

## СВЕТОВЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ГЕНОВ У РАСТЕНИЙ

THE CONTROL OF GROWTH AND DIFFERENTIATION IN PLANTS. P. F. Wareing and I. D. J. Phillips. Pergamon Press, 1978.

Льюин Б. Гены: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988.

REGULATION OF GENE EXPRESSION IN HIGHER PLANTS. Cris Kuhlemeier, Pamela J. Green and Nam-Hai Chua in *Annual Review of Plant Physiology*, vol. 38, page 221-257; 1987.

## СПИНОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В ГАЗАХ

TRANSPORT PROPERTIES IN A SPIN POLARIZED GAS. C. Lhuillier and F. Laloë in *Journal de Physique*, vol. 43, No. 2, page 197-241; February, 1982.

LECTURES ON SPIN-POLARIZED HYDROGEN. T. J. Greytak and D. Kleppner in *New Trends in Atomic Physics: Proceedings of Les Houches Summer School*, vol. 38, edited by G. Grynberg and R. Stora. Elsevier Science Publishing Co., 1984.

SPIN WAVES IN SPIN-POLARIZED HYDROGEN GAS. D. M. Lee and J. H. Freed in *Physics Today*, vol. 38, No. 1, pages S-18; January, 1985.

Башкин Е. П. СПИНОВЫЕ ВОЛНЫ И КВАНТОВЫЕ КОЛЛЕКТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В БОЛЬЦМАНОВСКИХ ГАЗАХ. — Успехи

# Книги издательства „Мир“

## БИОТЕХНОЛОГИЯ. Принципы и применение.

Под редакцией И. Хиггинса,  
Д. Беста, Дж. Джонса

Перевод с английского

Книга, написанная коллективом в основном английских авторов, представляет собой учебник по биотехнологии, совмещающий как новые, так и традиционные отрасли биопромышленности.

Содержание: Что такое биотехнология? Применение биотехнологии для получения богатого энергией топлива, пищевых продуктов и напитков, биоматериалов, для концентрации и выделения металлов из растворов. Биологический катализ в химической промышленности. Окружающая среда и биотехнология (деградация токсических отходов и воспроизводство ресурсов). Генетика и биотехнология. Использование биотехнологии в медицине и сельском хозяйстве. Технологические проблемы (принципы конструирования и эксплуатации технологических линий, классификация и оценка микробиологических и инженерных факторов).

Из отзыва академика А. А. Баева: «Книга долго не устареет и будет очень полезной для преподавателей и студентов вузов, не говоря о тех, кто соприкасается с фундаментальными исследованиями и разработками в области биотехнологии».

Для студентов вузов и специалистов, занимающихся исследованиями и разработками в области биотехнологии.

1988, 30 л. Цена 2 р. 70 к.



физических наук, 1986, т. 148, вып. 3, с. 433.

## ПОВЕДЕНИЕ УСАТЫХ КИТОВ

CALF DEVELOPMENT AND MOTHER-CALF SPATIAL RELATIONSHIPS IN SOUTHERN RIGHT WHALES. Sara Taber and Peter Thomas in *Animal Behaviour*, vol. 30, Part 4, pages 1072-1083; November, 1982.

COMMUNICATION AND BEHAVIOUR OF WHALES (AAAS SELECTED SYMPOSIUM 76). Edited by Roger Payne. Westview Press, 1983.

SOURCE OF THE HUMPBACK'S SONG. Jim Darling in *Oceans*, vol. 17, No. 2, pages 4-10; March-April, 1984.

BEHAVIOR OF BOWHEAD WHALES, *BALAENA MYSTICETUS*, SUMMERING IN THE BEAUFORT SEA: A DESCRIPTION. Bernd Würsig, Eleanor M. Dorsey, Mark A. Fraker, Roger S. Payne and W. John Richardson in *Fishery Bulletin*, vol. 83, No. 3, pages 357-377; July, 1985.

POPULATION BIOLOGY, SOCIAL BEHAVIOR AND COMMUNICATION IN WHALES AND DOLPHINS. Peter Tyack in *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 1, No. 6, pages 144-150; December, 1986.

WILD WHALES. James Darling. West Coast Whale Research Foundation. 1987.

## ПОЛИПЫ ТРАМБЛЕ

TISSUE GRAFTING IN ANIMALS: ITS DISCOVERY IN 1742 BY ABRAHAM TREMBLEY AS HE EXPERIMENTED WITH HYDRA. Howard M. Lenhoff and Sylvia G. Lenhoff in *Biological Bulletin*, vol. 166, No. 1, pages 1-10; February, 1984.

FROM TREMBLEY'S POLYPS TO NEW DIRECTIONS IN RESEARCH ON HYDRA: PROCEEDINGS OF A SYMPOSIUM HONORING ABRAHAM TREMBLEY (1710-1784). Edited by Howard M. Lenhoff and Pierre Tardent in *Archives des Sciences*, vol. 38, No. 3; September-December, 1985.

HYDRA. Howard M. Lenhoff and Sylvia PERIMENTAL BIOLOGY — 1744: ABRAHAM TREMBLEY'S MÉMOIRES CONCERNING THE POLYPS. Sylvia G. Lenhoff and Howard M. Lenhoff. The Boxwood Press, 1986.

NATURE'S ENIGMA: THE PROBLEM OF THE POLYP IN THE LETTERS OF BONNET, TREMBLEY AND REAUMUR. Virginia P. Dawson. American Philosophical Society, 1987.

HYDRA. Pierre Tardent in *Neujahrsbl. Naturforsch. Ges. Zurich*, 1988, N190, pages 1-100.

Канаев И. И. АБРААМ ТРАМБЛЕ. — Л.: Наука, 1972.

Трамблэ А. МЕМУАРЫ К ИСТОРИИ

ОДНОГО РОДА ПРЭСНОВОДНЫХ ПОЛИПОВ С РУКАМИ В ФОРМЕ РОГОВ. — М.-Л.: Биомедгиз, 1937.

## НАУКА ВОКРУГ НАС

CONTACT ELECTRIFICATION OF INSULATORS AND ITS RELEVANCE TO ELECTRETS. D. K. Donald in *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 115, No. 3, pages 270-272; March, 1968.

Евдокимов Ю. М. АВТОРЕФЕРАТ КАНД. ДИСС. — М.: Московский технологический институт легкой промышленности, 1968.

Мешик М. С. ФИЗИКА РАСЩЕПЛЕНИЯ СЛЮД. — Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1967.

## В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 20.05.88.  
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,25 бум. л.

Усл.-печ. л. 12,00.

Уч.-изд. л. 15,14.

Усл. кр.-отт. 51,36.

Изд. № 25/6064. Заказ 388.

Тираж 24720 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в Межиздательском фотонаборном центре издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Государственного комитета СССР

по делам издательств,

полиграфии и книжной торговли.

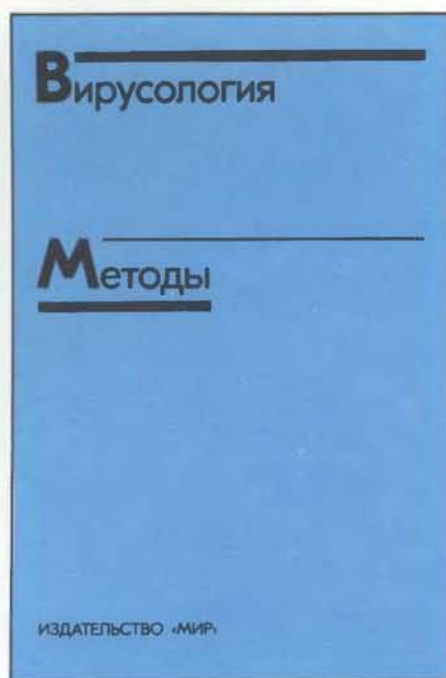
127576, Москва, Илимская, 7



# Книги издательства „Мир“

## ВИРУСОЛОГИЯ. МЕТОДЫ

Перевод с английского



Книга английских авторов дает подробные методики для работы с вирусами животных, представляющими интерес в качестве возбудителей заболеваний либо инструментов для исследования проблем молекулярной и клеточной биологии. Каждый раздел включает подробное описание методов выращивания вирусов определенной группы, способы концентрации и очистки, определение биологи-

ческой активности. Приводятся соответствующие методики работы с новорожденными мышами, куриными эмбрионами, насекомыми, различными клеточными культурами. Несмотря на небольшой объем, книга охватывает основные приемы работы с вирусами животных.

Для вирусологов, генетиков, молекулярных биологов, генных инженеров.

1988, 22 л. Цена 2 р. 10 к.



*В следующем номере:*

---



СЖАТЫЙ СВЕТ

---

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ

---

ФАКТОР НЕКРОЗА ОПУХОЛЕЙ

---

ОБРАЩЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

---

УТКОНОС — ПРИМИТИВ ИЛИ СОВЕРШЕНСТВО?

---

АЭРОГЕЛИ

---

ГРУППОВОЕ ЗАХОРОНЕНИЕ  
В НОВОЙ АНГЛИИ

---

ТАЙНА КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ ПОСТОЯННОЙ

---

ФИЗИКА РОСТА СОСУЛЕК

---

ГРАФОТВОРЧЕСТВО НЕВИДИМОГО ПРОФЕССОРА,  
СКРЫТОГО ЗА ЭКРАНОМ ДИСПЛЕЯ