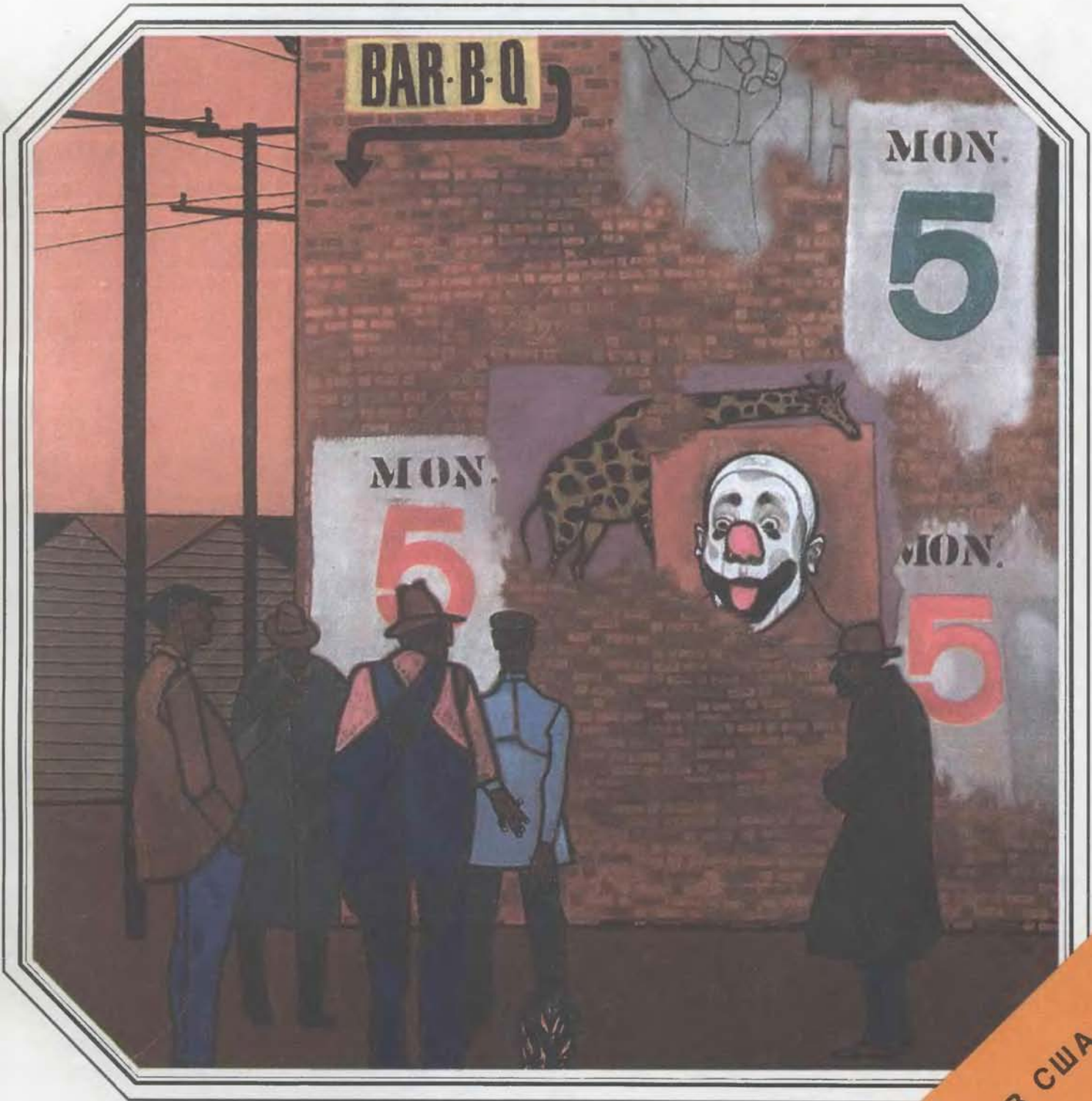


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Апрель **4** 1987

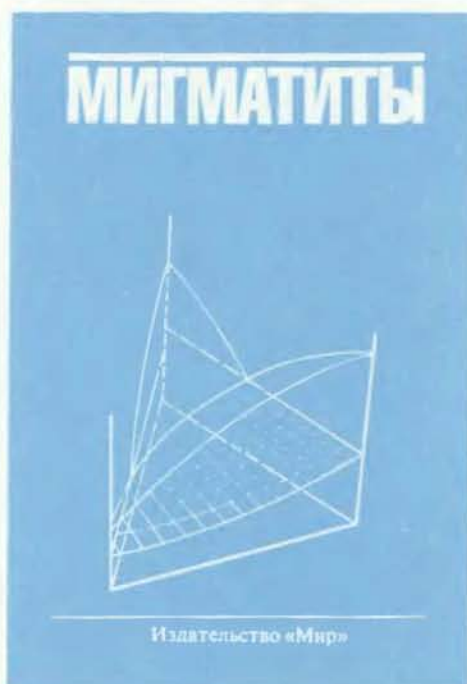
ГОЛОД В США

Издательство МИР предлагает:

МИГМАТИТЫ

Под редакцией Дж. Эшуорта

Перевод с английского



Рассматривается проблема генезиса мигматитов с привлечением новых экспериментальных данных по гранитным системам, по флюидным включениям в минералах мигматитов, а также по фазовым равновесиям, отмечающимся при частичном плавлении пелитовых пород. Делается вывод о комплексной природе процессов мигматизации. Приводится детальное описание текстур и структур мигматитов, а

также методика подсчета баланса вещества при их образовании. Дается геолого-петрологическая характеристика мигматитов Шотландии и северной части Аппалачей, а также детально рассматриваются новые данные по флюидным включениям в минералах мигматитов Южной Норвегии и Колорадо.

Для петрологов, минералогов, геохимиков и геологов широкого профиля.

1988, 23 л. Цена 3 р. 80 к.

Предварительные заказы на книги выпуска 1988 г. принимаются магазинами — опорными пунктами издательства «Мир» с января — февраля, а остальными магазинами научно-технической литературы с апреля — мая 1987 г.

Издательство заказов не принимает.



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

№ 4 - АПРЕЛЬ 1987

В номере:

СТАТЬИ

- 4 **Голод в США** *Дж. Ларри Браун*
 Вследствие сокращения федеральных расходов на социальные нужды голод, фактически исчезнувший в стране в 70-е годы, вновь стал уделом многих американцев. По некоторым оценкам в США голодают 12 млн. детей и 8 млн. взрослых
 (Scientific American, February 1987, Vol. 256, No. 2)
- 12 **Микротрубочка — внутриклеточный мотор** *Роберт Дей Аллен*
 Микротрубочки — это компонент цитоскелета, поддерживающий форму клетки и организующий ее деление. Новый метод световой микроскопии позволил выявить другую функцию микротрубочек — участие в цитоплазматическом транспорте
 (Scientific American, February 1987, Vol. 256, No. 2)
- 22 **Самые старые пульсары** *Якоб Шейхем*
 Эти необычные пульсары представляют собой плотные компактные звезды, вращающиеся со скоростью несколько сотен оборотов в секунду. Почему они вращаются так быстро? Полагают, что в ходе эволюции они «погасают», но затем возрождаются под воздействием аккреции вещества
 (Scientific American, February 1987, Vol. 256, No. 2)
- 30 **Генетическая рекомбинация** *Франклин У. Сталь*
 Воспроизведению организма часто предшествует перетасовка его генетической информации. Хромосомы обмениваются друг с другом участками в процессе рекомбинации, сложный молекулярный механизм которой мы начинаем понимать
 (Scientific American, February 1987, Vol. 256, No. 2)
- 44 **Баллистические электроны в полупроводниках** *Мордехай Хайблум, Лестер Ф. Истмен*
 Приборы, в которых электрический ток создается движением электронов, не претерпевающих рассеяния, в принципе должны обладать гораздо более высоким быстродействием, чем существующие типы приборов. Структуры такого рода позволяют более глубоко изучить квантовомеханические свойства электронов
 (Scientific American, February 1987, Vol. 256, No. 2)
- 56 **Киты и моржи — пахари морского дна** *К. Ханс Нельсон, Кирк Р. Джонсон*
 В результате того, что серые киты и тихоокеанские моржи собирают пищу со дна, в северо-восточной части Берингова моря возникают ямы и борозды в таком количестве, что это не уступает нарушениям, вызванным геологическими процессами
 (Scientific American, February 1987, Vol. 256, No. 2)
- 64 **Женщины в науке** *Джонатан Р. Коул, Гарриет Цукерман*
 Женщины, занимающиеся исследовательской деятельностью, публикуют меньше научных статей, чем мужчины. Замужество и семейные обязанности, как правило, не объясняют это различие: замужние женщины, имеющие детей, публикуются так же часто, как и одинокие женщины
 (Scientific American, February 1987, Vol. 256, No. 2)
- 72 **Компьютер в роли музыкального инструмента** *М. В. Мэттьюз, Дж. Р. Пирс*
 Достаточно компьютеру сгенерировать определенную последовательность чисел, чтобы произвести любой звук, в том числе и такой, какого еще никто не слышал. Благодаря широкому спектру возможностей цифровой синтез звука уже нашел свое место в музыке
 (Scientific American, February 1987, Vol. 256, No. 2)

РУБРИКИ

- 3 Об авторах
 11, 42, 55, 87, 100 Наука и общество
 82 Занимательный компьютер
 88 Наука вокруг нас
 94 Книги
 99 50 и 100 лет назад
 111 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Harry Myers
PUBLISHER

Jonathan Piel
EDITOR

BOARD OF EDITORS

Philip Morrison
BOOK EDITOR

Armand Schwab, Jr.
Timothy Appenzeller

John M. Benditt

David L. Cooke, Jr.

Ari W. Epstein

Gregory R. Greenwell

John Horgan

Robert Kunzig, James T. Rogers

Ricki L. Rusting, Karen Wright

Samuel L. Howard

ART DIRECTOR

Richard Sasso

DIRECTOR OF PRODUCTION

Georg-Dieter von Holtzbrinck

PRESIDENT

Gerard Piel

CHAIRMAN OF THE BOARD

© 1987 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

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ
М. М. Попова
М. В. Суrowова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Т. Д. Франк-Каменецкая

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА
Г. С. Азимов

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Л. П. Чуркина

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», 1987

На обложке



ГОЛОД В США

Изображенная на обложке сцена — фрагмент картины американского художника Р. Готми «Bar B-Q», написанной в 1978 г., — показывает ту социальную среду, представители которой составляют в США армию голодающих, насчитывающую 20 млн. человек всех рас из различных регионов страны (см. статью Дж. Л. Брауна «Голод в США» на с. 4). Остро социальные картины Готми, как правило, изображают бедняков из сельских и городских районов, влачащих жизнь в нищете и голоде. Если голодом считать хронический дефицит питательных веществ, необходимых для нормального роста и поддержания удовлетворительного состояния здоровья, то в США голодает около 9% населения.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Robert G. Gwathmey, с любезного разрешения Terry Dintenfass, Inc.

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
4	Jim Kelly		Francisco		(<i>вверху</i>); C. Hans Nelson (<i>внизу</i>)
7-9	Johnny Johnson	32	Andrew Christie	61	William K. Sacco
13	Carol Donner	33	Andrew Christie (<i>вверху</i>); Charles M. Radding, Yale University School of Medicine (<i>внизу слева</i>); Andrew Taylor, Fred Hutchinson Cancer Research Center (<i>внизу справа</i>)	62	Andrew Tomko
14	U.S. Geological Survey	35-40	Andrew Christie	66-70	Jerome Kuhl
15	Jeffrey L. Travis, Vassar College	44	Michael Rosenfield, Carmello Aliotta, Gordon Wilson, IBM Thomas J. Watson Research Center	73	David Rentas
16	Dieter Seitz-Tutter, Dieter G. Weiss, Technical University of Munich	46-52	George V. Kelvin, Science Graphics	74-76	Gabor Kiss
17	Alan D. Iselin (<i>вверху</i>); Dieter Seitz-Tutter, Dieter G. Weiss (<i>внизу</i>)	56-57	Peter Ott	78	James Kilkelly
18	Dieter Seitz-Tutter, Dieter G. Weiss	58	Andrew Tomko (<i>вверху</i>), Hank Iken (<i>внизу</i>)	79	Gabor Kiss
19	Alan D. Iselin (<i>вверху</i>); George M. Langford, University of North Carolina School of Medicine (<i>внизу</i>)	59	William K. Sacco, Yale University	83	Quesada/Burke
23-29	George Retseck	60	Larry Martin, LGL Ecological Associates, Inc.	84-86	Michael Goodman
30	Sheldon Wolff, University of California at San			89-93	Carter Bays, Philip Moore, University of South Carolina

Об авторах

J. Larry Brown (Дж. Ларри Браун «Голод в США») — преподаватель в Школе здравоохранения при Гарвардском университете и исполнительный директор университетской программы улучшения здоровья населения, а также председатель специальной комиссии врачей по вопросам голода в США при Гарвардском университете. Научный интерес к голоду как социальному явлению в стране Браун начал проявлять в 1966 г., когда «Корпус мира» привлек его к изучению этой проблемы в мировом масштабе и командировал в Индию. По возвращении в США в 1968 г. Браун защитил диссертацию в Университете Брандейса, получив степень доктора философии в области социальной политики. В 1971 г. он перешел на работу в департамент здравоохранения шт. Массачусетс. В 1976 г. Браун был назначен правительством на должность руководителя проектов «Корпуса мира». В Гарвардском университете работает с 1978 г.

Robert Day Allen (РОБЕРТ ДЕЙ АЛЛЕН «Микротрубочка — внутриклеточный мотор»). Этот замечательный исследователь умер в марте 1986 г. от рака. Публикация его статьи подготовлена Д. Вейссом из Технического университета в Мюнхене. Аллен получил степень доктора философии в 1953 г. в Пенсильванском университете, после чего как гуггенхаймовский стипендиат работал в Швеции. В 1956 г. стал преподавать в Мичиганском университете, а через 4 года перешел в Принстонский университет. В 1966 г. возглавил кафедру биологии Университета шт. Нью-Йорк в Олбани. С 1974 г. профессор биологии в Дартмутском колледже. Периодически вел исследования в Лаборатории биологии моря в Вудс-Холе.

Jacob Shaham (ЯКОБ ШЕЙХЕМ «Самые старые пульсары») приехал в Колумбийский университет в 1982 г. из Израиля как стипендиат фонда Эрнеста Кемптона Адамса. В 1984 г. стал профессором физики и приступил к работе в лаборатории астрофизики. Степени бакалавра (1963 г.), магистра (1965 г.) и доктора философии (1971 г.) получил в Еврейском университете. После получения докторской степени находился три года на стажировке в Иллинойском университете в Эрбана-Шампейн, а затем в течение 12 лет работал в Еврейском университете в Иерусалиме. Основная область научных интересов Шейхема — физика нейтронных звезд и черных дыр.

Franklin W. Stahl (ФРАНКЛИН У. СТАЛЬ «Генетическая рекомбинация») — профессор биологии в Институте молекулярной биологии Орегонского университета. Степень бакалавра получил в Гарвардском колледже в 1951 г., степень доктора философии в Рочестерском университете в 1956 г. Несколько лет работал в Калифорнийском технологическом институте, в 1958 г. перешел в Университет шт. Миссури. С 1959 г. сотрудник Орегонского университета. В качестве приглашенного профессора, а также в свои годичные отпуска для научной работы вел исследования и преподавал в Лаборатории Совета медицинских исследований Великобритании, в Еврейском университете в Иерусалиме и в Международной лаборатории генетики и биофизики в Неаполе.

Mordehai Heiblum, Lester F. Eastman (МОРДЕХАЙ ХАЙБЛУМ, ЛЕСТЕР Ф. ИСТМЕН «Баллистические электроны в полупроводниках») встретились в 1985 г., когда Истмен стал внештатным сотрудником Исследовательского центра им. Т. Уотсона фирмы IBM, где Хайблум работал с 1978 г. Хайблум родился в Израиле, в 1973 г. получил степень бакалавра в Израильском технологическом институте, а в 1974 г. — магистра в Университете Карнеги — Меллона. Получив степень доктора философии в Калифорнийском университете в Беркли в 1978 г., он начал работать в фирме IBM. Хайблум, как он сам говорит, посвящает много времени своим научным исследованиям, которые в настоящее время в основном сосредоточены на проблеме переноса баллистических электронов. Истмен получил степень доктора философии в Корнеллском университете в 1957 г. и с тех пор преподает на электротехническом факультете этого университета. В этом же университете он получил степень бакалавра (1953 г.) и степень магистра (1955 г.). Помимо работы в фирме IBM, он был внештатным сотрудником фирмы RCA Laboratories в Принстоне и Лаборатории им. Линкольна при Массачусетском технологическом институте. Истмен также руководит выполнением «Комплексной программы исследований в области электроники» в Корнеллском университете, составленной им же.

C. Hans Nelson, Kirk R. Johnson (К. ХАНС НЕЛЬСОН, КИРК Р. ДЖОНСОН «Киты и моржи — пахари морского дна»). Проблемой, которой посвящена статья, эти исследователи занимаются помимо своей ос-

новной научной деятельности. Нельсон — сотрудник Геологической службы США (с 1967 г.); в настоящее время он в качестве морского геолога принимает участие в финансируемом министерством иностранных дел междисциплинарном исследовании континентальных окраин Атлантического океана и Средиземного моря у берегов Испании. Степень бакалавра получил в 1959 г. в Карлтон-колледже (Нортфилд, шт. Миннесота), магистра — в 1962 г. в Миннесотском университете, доктора философии в области океанографии — в 1968 г. в Университете шт. Орегон. Как приглашенный профессор Нельсон сотрудничает в Барселонском, Утрехтском и Станфордском университетах. Джонсон получил степень бакалавра в Амхерстском колледже (шт. Массачусетс). В 1982 г. стал работать в Геологической службе, где и познакомился с Нельсоном. В 1985 г. в Пенсильванском университете ему была присвоена степень магистра. В настоящее время готовится к защите диссертации на соискание степени доктора философии в области геологии и палеоботаники в Йельском университете.

Jonathan R. Cole, Harriet Zuckerman (ДЖОНАТАН Р. КОУЛ, ГАРРИЕТ ЦУКЕРМАН «Женщины в науке») — приглашенные ученые в организации Russell Sage Foundation. Основное место работы — факультет социологии Колумбийского университета. Исследование различий в научной продуктивности мужчин и женщин, проводимое ими в настоящее время, продолжает их прежнюю работу по изучению системы оплаты труда научных работников. Коул получил степени бакалавра (1964 г.) и доктора философии (1969 г.) в Колумбийском университете. После этого работал на факультете социологии, кроме трех лет (с 1973 по 1975 г.), в течение которых занимал должность профессора в Колледже Барнарда Колумбийского университета. Он также руководит Центром социальных наук Колумбийского университета. Цукерман много лет занимается изучением связи между социальной структурой в науке и ее продуктивностью. Она является автором многих книг и статей, в 1980 г. была стипендиатом фонда Гуггенхайма. Степень бакалавра искусств она получила в Колледже Вассара в 1958 г., а доктора философии в Колумбийском университете в 1965 г. и с тех пор работает в этом университете.

Max V. Mathews, John R. Pierce (МАКС В. МЭТТЮЗ, ДЖОН

(продолжение см. на с. 111)



РАЗДАТОЧНЫЙ ПУНКТ в одной из церквей Нью-Йорка — характерный для США пример того, как частные благотворительные организации пытаются справиться с ростом

числа голодающих, обусловленным сокращением средств на социальные программы. В данном пункте бесплатно получают пищу 275 человек в неделю.

Голод в США

Вследствие сокращения федеральных расходов на социальные нужды голод, фактически исчезнувший в стране в 70-е годы, вновь стал делом многих американцев.

По некоторым оценкам в США голодают 12 млн. детей и 8 млн. взрослых

ДЖ. ЛАРРИ БРАУН

ХОТЯ общепринятого определения понятия «голод» не существует, в медицине голодающим считается тот, кто хронически недоедает, т. е. не получает необходимого питания для роста и поддержания нормального состояния здоровья. Сколько же американцев голодают, если исходить из этого определения? Статистика поразительна — 12 млн. детей и 8 млн. взрослых или около 9% населения страны. Лишь немногие из них недоедают вследствие собственного невежества или безразличия к жизни. Большинство же являются жертвами существующего экономического порядка, при котором жизненный уровень многих семей находится ниже порога бедности, а система социального вспомоществования такова, что не предоставляет им достаточной помощи.

Ирония ситуации состоит в том, что об охватившем большую группу населения голоде стало известно три десятилетия назад, и что в результате принятых в 60-е и 70-е годы правительственных мер голод фактически был ликвидирован. Программа по обеспечению голодающих продовольственными талонами была расширена и охватила 20 млн. человек. Были утверждены программы, направленные на то, чтобы накормить одиноких престарелых людей. Увеличились средства, выделяемые на завтраки и обеды для школьников, с тем чтобы дети из бедных семей получали питание, позволяющее им успешно учиться. Одновременно была принята программа, предусматривавшая дополнительное питание и консультации по вопросам питания для беременных женщин и матерей с низким доходом, а также обеспечение питанием их малолетних детей.

Начиная с 1981 г. администрация президента Рейгана приступила к свертыванию и изменению всех этих программ. К 1982 г. повсеместно стали появляться признаки наступающего голода. Все большее число людей,

обращавшихся в церкви и учреждения социального вспомоществования, жаловались, что они недоедают. Врачи в некоторых регионах страны начали все чаще слышать от своих пациентов, что те голодают, и обнаруживать болезни, связанные с недоеданием, такие как малокровие, туберкулез, замедленный рост у детей и остеопороз (пористость костей) у взрослых.

Позднее в том же году появился первый из целого ряда докладов, в котором была дана количественная оценка голода в США. С октября 1982 г. по март 1986 г. было проведено 20 исследований в масштабах всей страны по изучению проблемы голода. Исследования проводили такие организации как Конференция мэров США, Национальный совет церквей, министерство сельского хозяйства, а также руководимая автором специальная комиссия врачей по вопросам голода в США при Гарвардской школе здравоохранения. Результаты всех исследований свидетельствовали, что голод в США вновь стал серьезной национальной проблемой.

Показательными являются данные, полученные Конференцией мэров, которая в конце 1984 г. обследовала крупные и мелкие города с целью определить, как влияет и влияет ли вообще отмечаемое оздоровление экономики на положение бедных. Почти 75% муниципалитетов сообщили, что в 1984 г. необходимость в оказании немедленной продовольственной помощи беднякам возросла. Число пунктов питания (включая бесплатные столовые и пункты раздачи продовольственных товаров) увеличилось за год на 15%. Общее количество выданных бесплатных порций пищи возросло на 50% по сравнению с 1983 г. В некоторых крупных городах этот показатель вырос еще больше: на 200% в Бостоне, на 182% в Чикаго и на 100% в Далласе.

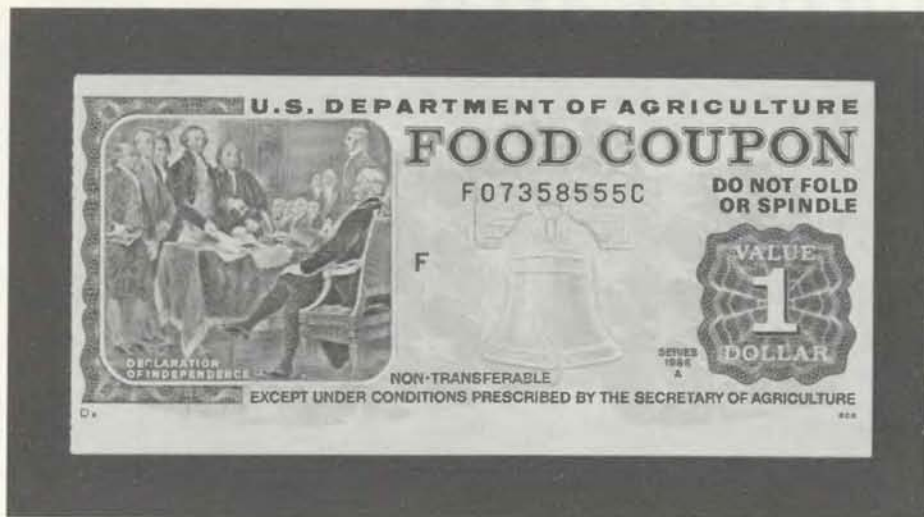
В ноябре 1984 г. Центр по проблемам обеспечения продовольствием

обследовал 300 программ по оказанию чрезвычайной помощи голодающим и установил, что в 65% случаев было зафиксировано увеличение в течение года числа голодающих семей, нуждавшихся в дополнительном питании. Число семей, получавших бесплатное питание, увеличилось на 20%. С большинства раздаточных пунктов сообщали, что более половины обслуживаемых ими голодающих составляют семьи с детьми.

По данным специальной комиссии врачей в 1985 г. в стране насчитывалось 20 млн. голодающих. Хотя данных на более поздний период нет, имеются свидетельства того, что проблема голода в США стала еще острее.

ДЛЯ ЛЮДЕЙ определенной группы голод чреват особенно серьезными последствиями. Беременные женщины и дети, с одной стороны, и престарелые — с другой, по-видимому, в наибольшей степени страдают от неполноценного питания. Недоедание в любом возрасте может привести к ослаблению организма и апатии. Оно может ослабить деятельность иммунной системы, снизить сопротивляемость к различным инфекционным заболеваниям. Отсутствие в рационе некоторых компонентов приводит к авитаминозу, ухудшающему состояние всего организма. Длительное и сильное недоедание может прямо или косвенно привести к смерти.

Для беременной женщины качество и количество потребляемой ею пищи являются фактором, определяющим здоровье ее ребенка. Если во время беременности женщина не получает полноценного питания, ее здоровью угрожает не одна опасность. Первая из них — это анемия, свидетельствующая о недостатке в организме железа, потребность в котором во время беременности возрастает. Другая — токсемия, выражающаяся комплексом симптомов, включая повышенное давление крови и отечность тка-



ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫЕ ТАЛОНЫ выпускаются министерством сельского хозяйства США в целях оказания помощи нуждающимся. Талоны принимаются в продовольственных магазинах. В результате недавно принятых изменений в порядке выдачи талонов ими сейчас пользуются только 19 млн. американцев, хотя бедных насчитывается 33,4 млн. В среднем стоимость продуктов, получаемых на талоны в расчете на один прием пищи равна 49 центам.

ней, вызываемые чрезмерной задержкой жидкости в организме, — распространенный и серьезный недуг, опасный для беременных; результаты недавних исследований дают основание полагать, что токсемия может возникнуть в результате неполноценного питания (особенно вследствие нехватки белков).

Развивающийся в матке плод требует диеты, богатой витаминами, белками и органическими веществами, необходимыми для формирования тканей и органов эмбриона. Поэтому неполноценное питание матери может стать причиной слабого здоровья ребенка. Не исключены риск преждевременных родов (на 37-й неделе беременности или раньше), а также рождение ребенка с малым весом (менее 2500 г). Недоношенные дети рискуют получить расстройство дыхательных органов и иммунную недостаточность. Неполноценное питание матери (даже при полном сроке беременности) может стать причиной таких заболеваний ребенка, как гипогликемия (недостаток сахара в крови), гипокальцемия (недостаток кальция в крови), полицитемия (избыток гемоглобина в крови), а также отставание в росте и развитии.

Болезни, угрожающие ослабленным новорожденным, повышают вероятность смерти ребенка в младенческом возрасте. Даже в тех случаях, когда на помощь призывают сложные и дорогостоящие методы и средства, ребенок, родившийся с весом меньше нормального, имеет в 40 раз больше шансов умереть, не прожив и года. Низкий вес новорожденного — показатель, характерный для

более половины всех случаев детской смертности и для 75% детей, умирающих в возрасте до одного месяца.

Потенциальные опасности, угрожающие беременной женщине и ее будущему ребенку вследствие недоедания, могут быть устранены, если в период беременности женщина будет получать дополнительное питание. Во время второй мировой войны, когда продовольствия не хватало, в Великобритании позаботились о том, чтобы беременные женщины получали полноценную пищу, в результате чего детская смертность действительно снизилась. В то же время, например, в Ленинграде или в Нидерландах, где беременные женщины не получали специального питания, средний вес новорожденных упал, а детская смертность возросла.

Исследования, проведенные сравнительно недавно, показывают, что обеспечение беременных женщин дополнительным питанием положительно сказывается на состоянии их здоровья. Было изучено, какое влияние оказала Специальная программа по обеспечению дополнительным питанием женщин и малолетних детей, которая начала проводиться в жизнь правительством в 1972 г. Восемь исследований, проведенных с 1976 по 1986 г., показали, что данная программа способствовала улучшению здоровья матерей и более благоприятному исходу беременности. В частности, было установлено, что на 20% снизилось число случаев рождения детей с весом меньше нормального, уменьшилось число мертворожденных и недоношенных, сократилась детская смертность.

ПРИ КАКИХ бы условиях ни происходило развитие ребенка в утробе и его появление на свет, здоровье новорожденного находится под угрозой, если он не получает достаточного питания. Человеческий мозг развивается наиболее быстро от момента зачатия до трехлетнего возраста ребенка. Если в течение этого срока организм не получает достаточного питания, функциональная деятельность мозга может быть нарушена. Другими нежелательными последствиями могут быть замедленный рост (определяемый как рост ниже 5-го процентиля для данного возраста и пола) и исхудание (когда вес меньше 5-го процентиля для данного возраста и роста). Кроме того, голодающие дети особенно уязвимы по отношению к вредному влиянию свинца и других присутствующих в окружающей среде токсичных веществ, которые могут поражать мозг и усугублять последствия недоедания для интеллектуального развития ребенка.

Как и в любом возрасте, недоедание в детстве может ослабить сопротивляемость к инфекции. Детям, не получающим нормального питания, с большей вероятностью угрожают простуда, ушные и различные инфекционные заболевания. Таким образом, пагубное влияние недоедания на развитие ребенка в дальнейшем может усугубиться тем, что он лишится возможности учиться в школе и даже в какой-то мере заниматься обычной деятельностью, характерной для ребенка.

Результаты последних исследований говорят о том, что функциональные нарушения у детей могут возникнуть вследствие недоедания даже в отсутствие каких-либо заметных отклонений в их физическом развитии. Исследования показывают, что еще до того, как появятся легко поддающиеся определению отклонения от нормального развития, и до того, как станут явными вызванные недоеданием болезни, организм ребенка может адаптироваться к получению недостаточного количества пищи путем снижения интенсивности обмена веществ. Иными словами, ребенок может не обнаруживать никаких явных признаков ухудшения здоровья и все же оказаться лишенным возможности приобретать социальный опыт и познавать окружающий мир, что необходимо для его развития.

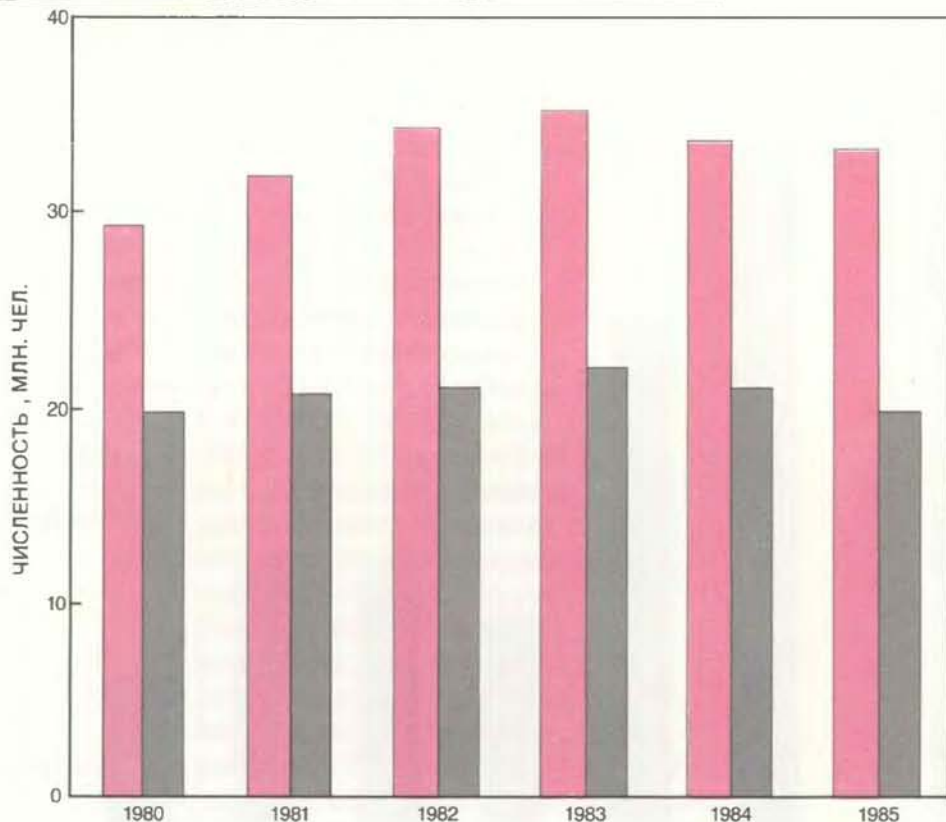
Утрата функциональных способностей вследствие недоедания может возникнуть также у молодых людей и людей среднего возраста. Результатом может быть как снижение производительности труда, так и нарушение социальных функций. Кроме то-

го, при недоедании взрослые независимо от возраста в большей степени подвергаются инфекционным заболеваниям и нарушениям обмена веществ.

Недоедание в пожилом возрасте чревато еще более серьезными последствиями. В старости роль питания в сохранении здоровья и в предупреждении болезней особенно важна. Пожилые люди часто нуждаются в специальной диете, поскольку многие из них страдают такими заболеваниями, как гипертония и диабет. При заболеваниях, связанных с различными видами недостаточности, увеличивается потребность организма в определенных продуктах; например, чтобы избежать остеопороза, требуется повышенное потребление кальция. В силу определенных условий у людей пожилого возраста может нарушаться пищеварение или усвоение пищи, так что особую важность для них приобретает выбор диеты, богатой питательными веществами. В то же время в силу своего возраста эти люди часто не в состоянии питаться должным образом. Испытываемые стариками трудности с хождением за продуктами, приготовлением пищи и пережевыванием некоторых продуктов, снижение общего тонуса, вызванное одиночеством и возникающим вследствие этого подавленным состоянием — все это мешает нормальному питанию в пожилом возрасте.

В ЭТОМ перечне последствий недоедания его влияние на здоровье детей необходимо рассмотреть более подробно. Детская смертность в стране (выражаемая числом детей, умерших на первом году жизни, на 1000 живорожденных) является общепринятым показателем, по которому можно судить о состоянии здоровья людей в данном обществе. Если подходить с этой меркой, то в США дела обстоят хуже, чем в других промышленно развитых странах. По уровню детской смертности, равному 11,2, страна занимает 18-е место в мире. Япония, Швеция и Великобритания числятся среди благополучных в этом отношении стран; Испания и Гонконг также стоят впереди США.

За этой цифрой скрывается неодинаковость положения различных групп населения США. Среди небелого населения вероятность смерти ребенка на первом году жизни примерно вдвое выше, чем среди белых. В докладе «Американские дети в нищете», составленном в 1984 г. Фондом защиты детей, говорилось: «Детская смертность среди небелого населения в нашей столице выше, чем на Кубе и Ямайке — странах, значительно бо-



ЧИСЛО ЛЮДЕЙ, имеющих право получать продовольственные талоны, уменьшилось по отношению к общему числу бедных с 1980 г. (в 1985 г. официальный уровень бедности соответствовал доходу 10 989 долл. в год на семью из четырех человек). На диаграмме показано изменение числа людей, живущих в бедности (цветные столбцы) и пользующихся продовольственными талонами в рамках соответствующей федеральной программы (серые столбцы).

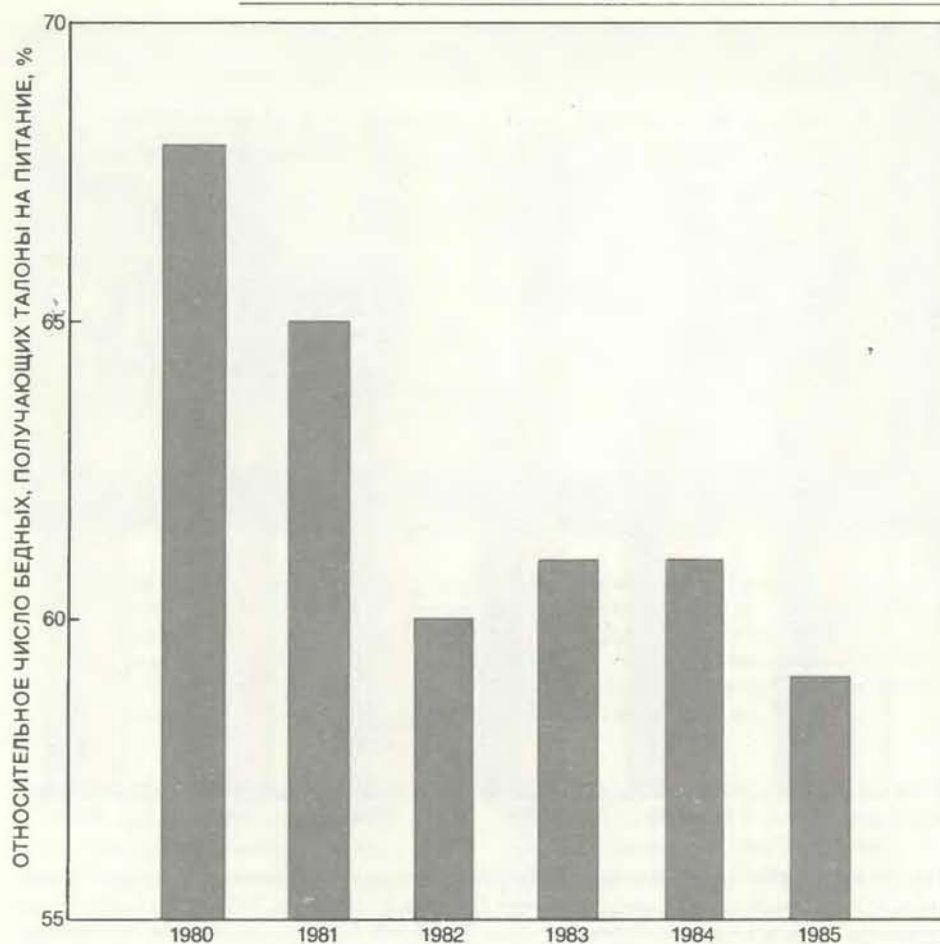
лее бедных, чем наша. За цифрами, характеризующими тот или иной штат в целом, не видна гораздо более серьезная проблема детской смертности, присущая некоторым городским кварталам. Например, две переписи населения, проведенные в Балтиморе, показали, что детская смертность в городе составляет 59,5 на 1000 живорожденных. Это выше уровня детской смертности в Коста-Рике, Панаме, Гайане и Тринидаде и Тобаго по состоянию на 1981 г. и более чем вдвое превышает соответствующий показатель в Советском Союзе».

Другой факт, вызывающий озабоченность, заключается в том, что в начале 80-х годов в 11 штатах и нескольких крупных городах детская смертность фактически выросла. Беспокорство вызывает и то обстоятельство, что снижение детской смертности в США в целом, возможно, вовсе не означает, что дети рождаются более здоровыми. В США существует, пожалуй, самая передовая практика выхаживания новорожденных, появившихся на свет намного раньше срока или с настолько низким весом, что возможность их самостоятельного выживания исключается. Современная медицина спасает от смерти довольно большую часть недоношен-

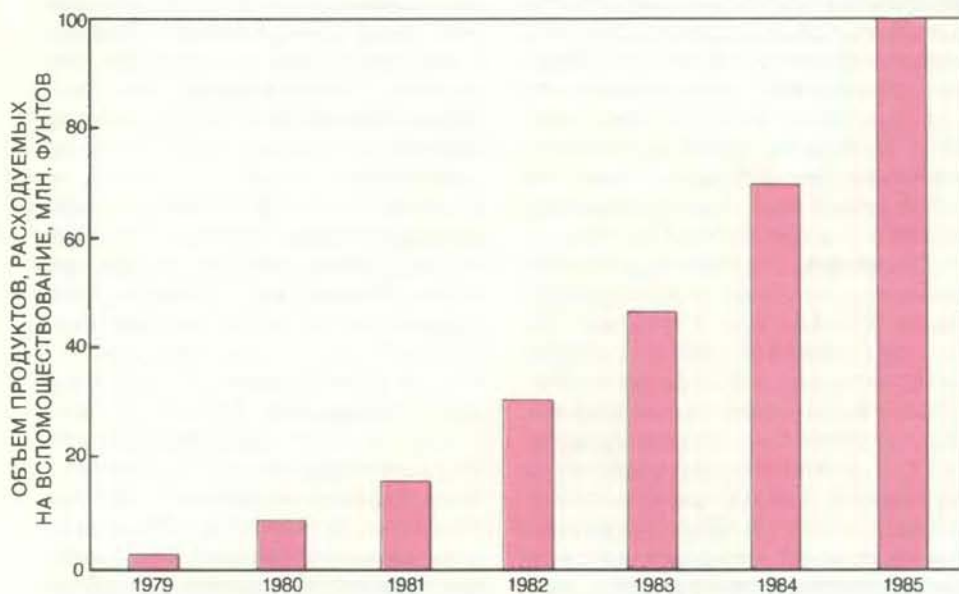
ных детей; в результате искажается картина последствий, к которым приводят недоедание и недостаточная охрана здоровья женщин в предродовой период.

Детская смертность — это не единственное явление, которое свидетельствует об ослабленном здоровье и неполноценном питании будущих матерей. Статистические данные о случаях рождения детей с весом ниже нормального показывают, что это явление, как и детская смертность, не равномерно распространено среди различных групп населения. Исследование причин, влияющих на здоровье детей, проведенное Университетом шт. Северная Каролина, показало, что вероятность рождения детей с низким весом у черных американцев вдвое больше, чем у белых. В Нью-Йорке, где статистика веса новорожденных ведется по отдельным районам, Гарлем, населенный преимущественно черными, в 1982 г. имел самый высокий процент (16,3) новорожденных с низким весом, а в богатом районе Ист-Сайд, где главным образом проживает белое состоятельное население, этот процент (5,4) был наименьшим.

По данным Нашвиллской городской больницы, полученным при об-



ЧИСЛО людей, получавших продовольственные талоны, по отношению к общему числу живущих ниже уровня бедности. Объем средств, выделяемых правительством на программу продовольственных талонов, за 6 лет уменьшился на 7 млрд. долл., а число лиц, имеющих право пользоваться данным видом вспомоществования, сократилось.



РАСХОД ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ на вспомоществование бедным, осуществляемый банковской корпорацией Second Harvest National Food Bank Network, увеличился с 2,5 млн. фунтов (1,1 млн. кг) в 1979 г. до 100 млн. фунтов (45,4 млн. кг) в 1985 г., что свидетельствует о попытках частных благотворительных организаций бороться с ростом числа голодающих. Упомянутая корпорация осуществляет свою деятельность через отделения в штатах.

следовании пациентов с низким доходом, можно судить о том, что бедность является причиной рождения детей с низким весом. Для черных и белых рассматриваемые показатели в 1981 г. были очень близки (14,4 и 12,9% соответственно). Эти данные говорят о том, что различия в здоровье детей объясняются не каким-либо биологическим признаком, связанным с расовой принадлежностью, а размером дохода родителей.

АНАЛОГИЧНЫЕ социально-экономические различия отражаются в статистике роста детей. Из множества показателей, характеризующих состояние здоровья и уровень питания американских детей, антропометрическими данными (к которым относятся рост, вес и другие параметры) пользуются наиболее широко. Рост и вес — показатели, обычно регистрируемые врачами при осмотрах детей, и поэтому их удобнее всего использовать для анализа.

Анализ зависит от наличия норм, с которыми можно сравнивать данные, относящиеся к конкретному ребенку. Измерив рост и вес ребенка, врач наносит показатели на карту, где вычерчивается график изменения этих показателей с возрастом ребенка. Такой график позволяет проводить сравнение с данными о других детях того же возраста и пола. Например, если трехлетняя девочка имеет вес, соответствующий 40-му перцентилю на шкале веса, это означает, что она тяжелее, чем 40% всех других девочек ее возраста. Чтобы получить усредненные нормы по различным группам населения, были проведены массовые измерения роста и веса детей. Врач по кривым роста и веса трехлетней девочки пытается выяснить, во-первых, находятся ли ее показатели в пределах нормы для ее возраста и пола и, во-вторых, увеличиваются ли эти показатели со временем достаточно стабильно.

Как правило, дети с весом (при данном росте) выше 95-го перцентиля или с весом либо ростом ниже 5-го перцентиля должны тщательно наблюдаться. Для некоторых детей такое отклонение от нормы может быть обусловлено генетическими факторами и считаться вполне нормальным; для других же оно может означать патологию, вызванную неполноценным питанием или другими причинами, отрицательно сказывающимися на здоровье.

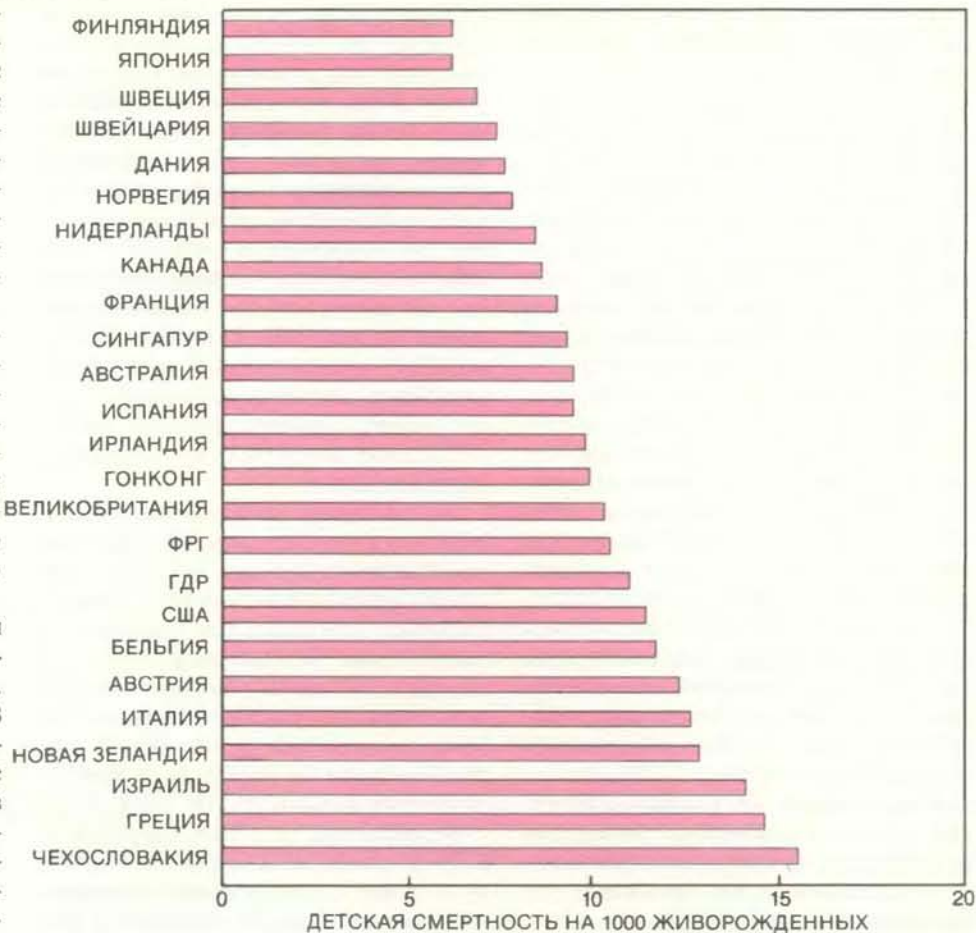
Многие исследования в США, связанные с изучением состояния здоровья детей в различных этнических и расовых группах, показали, что существует тесная связь между беднос-

тью и нарушением нормального роста. Так, исследование состояния питания, проведенное в шт. Массачусетс (в соответствии с принятым в штате решением определить состояние здоровья детей в семьях с низким доходом), показало, что 18,1% обследованных детей имели признаки хронического недоедания. Это явление было выражено тем сильнее, чем меньше были доходы родителей.

Исследования, о которых я упоминал, показывают, что голод и недоедание непосредственно связаны с бедностью и что многие нарушения здоровья, вызванные неполноценным питанием, имеют прямое отношение к размеру дохода семьи. Бедные, именно в силу того, что они бедны, просто не могут себе позволить нормально питаться.

Уровень бедности*, определенный федеральным правительством, в настоящее время составляет 10 989 долл. в год на семью из четырех человек. В процессе ряда клинических исследований было выявлено, что недоедание значительно чаще наблюдается в семьях с доходом ниже уровня бедности, чем в семьях, доход которых выше. Результаты национального исследования потребления продуктов питания в семьях, опубликованные в 1982 г. министерством сельского хозяйства, показывают, что более 80% всех семей, в которых расходы на питание такие же, как в «средней» семье, пользующейся продовольственными талонами, не могут получить питания оптимального состава, рекомендованного Национальной академией наук. По данным департамента здравоохранения шт. Массачусетс, вероятность того, что дети недоедают, в семьях с низким доходом в два раза выше, чем в семьях со средним доходом. Другие данные о состоянии здоровья указывают на то, что среди бедных широко распространены болезни, возникающие на почве недоедания.

Хотя низкий доход — это не единственный фактор, обуславливающий слабое здоровье, он, как представляется, — один из главных. К чему же, собственно, сводится эта связь? Одно из часто выдвигаемых предположений заключается в том, что причиной повышенного числа недоедающих и больных среди бедных слоев населения служит не сама малая величина дохода, а скорее недостаточная осведомленность людей о том, как следу-

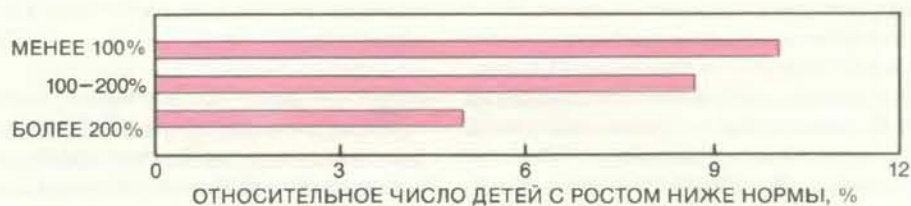


УРОВЕНЬ ДЕТСКОЙ СМЕРТНОСТИ в разных странах. По этому показателю США занимают 18-е место среди 25 промышленно развитых стран с численностью населения не менее 2,5 млн. человек. Показатель исчисляется количеством детей, умерших на первом году жизни, на 1000 живорожденных. Вследствие неполноценного питания женщин в период беременности дети нередко рождаются с весом менее 2500 г.

ет питаться, какие продукты покупать и как готовить из них различные блюда.

Неправильные представления о питании — широко распространенное явление, однако вряд ли можно сказать, что оно представляет проблему именно для неимущих. Реальные факты свидетельствуют как раз об обратном. Исследования потребления продуктов питания, проводящиеся в масштабах страны, постоянно подтверждают, что бедняки покупают более

питательные продукты, чем остальная часть населения. Очевидно, мало состоятельные люди больше думают о том, как разумнее потратить имеющиеся у них деньги, с тем чтобы отложенной на питание суммы хватило на возможно больший срок. Реальные факты и здравый смысл говорят о том, что наблюдающийся в последние годы скачок в численности голодающих нельзя отнести на счет необразованности бедных слоев населения. Те, кто выдвигает эту гипотезу,



* Как показывают исследования прогрессивных американских экономистов, доход, равный уровню бедности, не может обеспечить семье удовлетворение основных потребностей. — Прим. ред.

БЕДНОСТЬ И ЗАДЕРЖКА В РОСТЕ коррелируют. Диаграмма построена по данным исследований потребления продовольствия в шт. Массачусетс, проведенных в 1983 г. Цифры внизу показывают процент детей, имеющих недостаточный для своего возраста рост, цифры слева — отношение дохода их родителей к уровню бедности (в процентах).

должны объяснить, почему неимущие неожиданно стали такими невеждами.

ТЕСНАЯ связь между бедностью и голодом наводит на мысль, что для понимания того, почему в стране растет число голодающих, необходимо изучить положение семей с низкими доходами. В этом смысле голод подобен инфекционной болезни: он имеет причину. Представляется, что «болезнь», имя которой «голод», обусловлена тремя факторами. Первый — это состояние «страховочной сетки», т.е. системы вспомоществования людям, живущим за порогом бедности или приблизившимся к нему вплотную. Второй — все возрастающая опасность ухудшения благосостояния людей в результате экономического спада в стране. Третий — проводимая в последние годы социальная политика, в особенности сокращение расходов на федеральные программы по обеспечению продуктами питания неимущего населения.

Американская «страховочная сетка» вспомоществования неимущим уступает аналогичным системам, существующим в других промышленно развитых странах. Например, США являются одной из двух стран в мире (другая — ЮАР), в которых отсутствует какая-либо национальная программа страхования здоровья. Более чем в половине штатов бедные семьи с детьми не имеют права на материальную помощь при наличии обоих родителей; федеральная программа Помощи неимущим семьям с детьми на иждивении родителей (ПНСДИ), вступает в действие, только если семья распадается. Во многих из числа тех же штатов расходы на лечение членов семей, определяемых как «семьи, нуждающиеся в медицинской помощи», не покрываются из средств программы «Medicaid»^{*}.

Почти половина неимущих американцев не получают продовольственных талонов. А те, кто их получает, обеспечиваются талонами из расчета 49 центов на один прием пищи. Надо отметить также, что министерство сельского хозяйства связывает выдачу продовольственных талонов с «планом экономного питания», который был принят с расчетом на оказание помощи людям в периоды, когда они испытывают кратковременные материальные трудности. Еще во время разработки этого плана специа-

листы по вопросам питания из министерства предупреждали, что семьи, живущие на средства, из которых они могут потратить на питание не больше предусмотренной этим планом суммы, не будут получать ежедневно рекомендованного медиками диетического комплекса. Как это ни странно, но министерство сельского хозяйства использует сейчас этот план как документ, устанавливающий норматив на питание. Поэтому размер помощи, оказываемой в виде предоставления талонов, настолько мал, что люди, пользующиеся ими, могут с большой вероятностью считаться недоедающими.

За последнее десятилетие размер реального дохода семьи, получающей пособия по программе ПНСДИ, снизился в среднем почти на 40%. Иными словами, покупательная способность такой семьи уменьшилась более чем на треть, поскольку размер пособий не поспевал за темпами инфляции. Ни одна из отраслей экономики за последние годы не страдала от инфляции столь сильно.

Безработица в США выросла с 6,2% в начале 80-х годов до 10,8% в 1983 г. Хотя с тех пор она уменьшилась примерно до 7%, сегодня безработных в стране больше, чем их было в 1980 г. Кроме того, эти цифры не отражают всей остроты данной проблемы.

В настоящее время пособие по безработице получает меньшая часть людей, не имеющих работу, чем во все последние годы. В период экономического спада в 1975 г., например, пособия получали почти 80% безработных из сферы производства, сегодня — только 29%, меньше чем за все время существования программы помощи. Причина заключается в затянувшемся экономическом застое и в перемене политики федерального правительства, имеющей целью ограничить права безработных на получение материальной компенсации. Сегодня почти в половине штатов, если безработный, живущий с женой и детьми, утратил право на получение всех видов помощи, его семья уже не может рассчитывать ни на какие иные пособия по программам ПНСДИ и «Medicaid».

ЭТИ И ДРУГИЕ факторы, вместе взятые, породили в последние годы такие экономические трудности, которых население раньше никогда не знало. Постоянно увеличивалось число людей, нуждающихся в помощи, оказываемой в рамках федеральных программ по борьбе с голодом. Правительство же в свою очередь стремилось урезать помощь неимущим. За

всю историю страны это были самые большие сокращения средств, выделяемых на федеральные программы помощи голодающим. Две основные программы (предоставление продовольственных талонов и обеспечение питанием детей в школах) претерпели существенные сокращения. Две другие программы (вспомоществование престарелым и обеспечение дополнительным питанием женщин и малолетних детей) тоже были бы урезаны, если бы не вмешался конгресс.

Помимо того что расходы на программу продовольственной помощи в период с 1982 по 1985 финансовый год сократились в общей сложности на 7 млрд. долл., не были введены поправки на инфляцию 1982 г., а поправки на инфляцию в последующие годы вносились с задержкой. Более того, семьи с доходом, едва превышающим официально установленный уровень бедности, исключались из числа имеющих право на помощь, если в этих семьях не было стариков или инвалидов. Некоторые другие изменения, вносимые в упомянутую программу, снижали размер предоставляемой помощи, и это в то время, когда увеличивалась инфляция, росла безработица, а бедных становилось все больше. В результате сегодня, когда по признанию правительства 33,4 млн. человек в стране живут в бедности, только около 19 млн. американцев получают продовольственные талоны.

В 1982 г. около 23 млн. детей получали бесплатные или частично оплачиваемые завтраки в школах. Введение этой программы было самым крупным мероприятием по оказанию помощи детям из бедных семей. В том же 1982 г. расходы на эту программу были существенно урезаны. Размер дохода семьи, от которого зависит право на получение помощи по этой программе, был пересмотрен, а порядок предоставления льгот изменен таким образом, что разобратся, на кого распространяется это право, стало более трудным. В общей сложности в период с 1982 по 1985 финансовый год средства, выделяемые на все программы по обеспечению детей дополнительным питанием, сократились на 5 млрд. долл. Результат сказался немедленно: 1 млн. детей перестали получать школьные завтраки. Кроме того, вследствие внесенных в программу изменений в 2700 школах действие программы было отменено. Что же касается программы школьных завтраков, то ее действие перестало распространяться на 400 тыс. детей и 800 школ.

Одно из ощутимых вспомоществований по школьным программам за-

^{*} Программа «Medicaid» рассчитана на оказание медицинской помощи лицам, живущим за порогом бедности. — *Прим. ред.*

ключается в гарантированном предоставлении в учебный период одно-, а часто и двухразового питания детям из семей с низким доходом. Кроме того, многие школьные администраторы признают, что эти программы имеют большое социальное значение и содействуют школьному образованию.

Принятие законодательного решения о сокращении на 12 млрд. долл.

средств, выделяемых на все федеральные программы продовольственного вспомоществования, пришлось на то время, когда бедность в стране достигла наивысшего уровня за последние двадцать лет. Это сокращение лишило материальной поддержки многих людей — тех, кто был бедным, и тех, кто стал им недавно. И нет никакой «страховочной сетки», чтобы поддержать их.

шеству недешево. Исследователи отмечают, что в 1985 г. федеральные расходы в рамках различных программ на помощь семьям, создавшимся после рождения ребенка у девушки-подростка, составили 17 млрд. долл. При этом они указывают, что данная проблема не связана с бедностью: беременные девушки-подростки встречаются во всех социальных слоях американского общества и у людей с различным уровнем дохода.

К этим настораживающим и неопровержимым фактам специалисты добавляют еще один: усилия, направленные на то, чтобы воздействовать на молодежь и удержать ее от половой активности, оказываются безрезультатными. Применение противозачаточных средств, как говорят исследователи, должно стать «главной стратегической мерой», а сами эти средства необходимо сделать широко доступными как для юношей, так и для девушек, дешевыми или даже бесплатными. Большое значение имеет и организация службы по консультированию девушек, желающих сделать аборт, и оказанию помощи тем, кто хочет сохранить ребенка.

Судя по словам министра образования У. Беннетта, который идею о создании при школах специальных консультационных кабинетов по вопросам деторождения назвал узколобой политикой, похоже, что администрация Рейгана не собирается прислушаться к рекомендациям исследователей. Однако к их докладу в конгрессе был проявлен интерес, и не исключено, что в ближайшее время вопрос будет заслушан в соответствующей комиссии. Федерман выражает надежду, что это послужит также стимулом к действию на всех правительственных уровнях и побудит частные организации выделить деньги и приложить усилия, необходимые для решения проблем, выявленных рабочей группой.

Какие же следующие задачи стоят на повестке дня Национальной академии наук в спектре социальных проблем? Ф. Пресс, президент академии, сказал, что он не сомневается в том, что проводимые ими исследования оказывают «большое влияние» на решения, принимаемые конгрессом, и на распределение средств в государственном бюджете. «Мы проявляем осторожность, когда речь идет о социальных проблемах, — сказал Пресс. — Мы ограничиваемся только теми вопросами, которые поддаются исследованию, с тем чтобы мы могли представить данные, указывающие на то, какие меры являются эффективными, а какие нет».

Наука и общество

Социальные проблемы в поле зрения ученых

В ПОСЛЕДНИЕ месяцы Национальная академия наук США составила ряд докладов о состоянии в стране различных наиболее острых социальных проблем, с тем чтобы изыскать пути их решения. Объектом внимания академии стали такие проблемы, как преступность, угроза заражения синдромом приобретенного иммунного дефицита и загрязнение окружающей среды продуктами человеческой деятельности. Представленные в докладах сведения являются результатом исследований, проведенных группами влиятельных ученых, назначенными Национальным советом по научным исследованиям — органом, осуществляющим от имени академии руководство исследовательскими работами.

К этому перечню академия сейчас добавила еще одну проблему — беременность в подростковом возрасте. Факты хорошо известны, но представляют их так, будто они не должны вызывать особой озабоченности, поскольку характерны только для определенной социальной группы населения.

В этом году, как отмечают специалисты, которых Национальный совет по научным исследованиям привлек к изучению данной проблемы, в США забеременеют около 1 млн. девушек моложе 19 лет. Ожидается, что результатом этого будут 470 тыс. слу-

чаев рождения, 400 тыс. аборт и 130 тыс. выкидышей. Эти факты, указывают исследователи, создают важную социальную проблему, для решения которой не предпринимается никаких мер.

Упомянутая группа специалистов, возглавляемая Д. Федерманом из Медицинской школы Гарвардского университета, включала врачей и социологов. Финансирование исследований осуществляли пять фондов (Форда, Рокфеллера, Уильяма и Флоры Хьюлет, Роберта Вуда Джонсона и Стюарта Мотта), которые на протяжении последних 10 лет вкладывали деньги в программы, связанные с изучением рассматриваемого социального явления и оказанием помощи беременным девушкам подросткового возраста.

Авторы проведенного исследования пришли к выводу, что у многих молодых матерей до 20 лет и их детей тяжелые условия жизни. Для многих будущих матерей существует риск осложнения беременности и рождения ребенка с весом ниже нормального, для которых вероятность замедленного физического развития впоследствии выше, чем для детей с обычным весом. Родители в возрасте до 20 лет имеют «крайне ограниченные возможности профессионального роста» и поэтому не исключено, что они окажутся зависимыми от помощи со стороны общественных организаций. В то же время беременность в подростковом возрасте обходится об-

Микротрубочка — внутриклеточный мотор

Микротрубочки — это компонент цитоскелета,
поддерживающий форму клетки и организующий ее деление.

Новый метод световой микроскопии позволил выявить
другую функцию микротрубочек — участие
в цитоплазматическом транспорте

РОБЕРТ ДЕЙ АЛЛЕН

МИКОТРУБОЧКИ сравнительно недавно были включены в список обязательных структур клетки, необходимых ее элементов. Тридцать лет назад о существовании в клетке этих тонких нитей можно было только догадываться. Впервые их обнаружили примерно 25 лет назад. Как только был найден способ выявлять микротрубочки, выяснилось, что они входят в самые разные структуры — от веретена, организующего клеточное деление, до пучка филаментов, который охватывает кольцом изнутри никогда не делящиеся клетки крови. За микротрубочками скоро закрепилась репутация опорного элемента цитоскелета.

Сейчас стало понятно, что роль микротрубочек не исчерпывается чисто структурными функциями. С помощью нового метода — компьютерного усиления изображения, получаемого в световом микроскопе, — нам удалось увидеть, как микротрубочки удивительно быстро перемещают пузырьки и органеллы в цитоплазме. Каждая микротрубочка представляет собой тонкую нить длиной несколько микрометров, состоящую из белка, называемого тубулином. Эта нить способна двигать частицы одновременно в двух противоположных направлениях. Более того, изолированная микротрубочка и даже ее фрагменты могут сами перемещаться по предметному стеклу микроскопа.

Мои коллеги и я пытались выяснить, с помощью каких механизмов микротрубочки движутся сами и перемещают «грузы» внутри клетки. Ряд исследователей, в том числе мы, изучая нервные клетки, установили, что с микротрубочками связан транспорт, обеспечивающий сообщение между телом нейрона и его отростками. Возможно, дефекты микротрубочек являются причиной некоторых неврологических заболеваний человека. По-

мимо деятельности нервной системы, от транспортной функции микротрубочек зависят столь различные явления, как, например, изменение интенсивности окраски у рыб и перемещение вирусных частиц внутри зараженной клетки. Наши исследования, таким образом, могут оказаться важными для понимания многих биологических процессов.

ДВИЖЕНИЕ частиц, которое мы сейчас называем «зависимым от микротрубочек транспортом», стали изучать задолго до открытия самих микротрубочек. Четкое описание этого явления дал еще в XIX в. натуралист и микроскопист Джозеф Лейди. Лейди обнаружил в пруду неподалеку от дома любопытное животное, примечательное своими псевдоподиями («ложноножками»). Это едва видимое невооруженным глазом животное, названное им *Gromia*, относится к фораминиферам — пресноводным родственникам планктона. В похожих на щупальца филоподиях (т. е. нитевидных псевдоподиях) *Gromia* Лейди наблюдал движения, которые он так описал в докладе, представленном Геологической службе США в 1879 г.: «Псевдоподиальные выросты *Gromia* состоят из бледной гранулярной протоплазмы с более грубыми и четко очерченными гранулами . . . которые непрерывно движутся вдоль нитей, перемещаясь в обоих направлениях, что заметно возле всех нитей, за исключением самых тонких».

Впоследствии другие исследователи повторили подробное описание филоподий *Gromia*, данное Лейди, но мало что добавили к пониманию природы этого необычного направленного движения. Опыт подсказывал, что внутри замкнутого пространства движение может осуществляться только в одном направлении — по градиенту давления. Меня и других исследовате-

лей поразило то обстоятельство, что внутри каждой филоподии *Gromia* частицы двигались с разными скоростями и в обоих направлениях, как будто фораминиферы не подчиняются физическим законам.

Чтобы проникнуть в тайну *Gromia*, потребовалось некоторое время. В 1957 г. я поехал в Калифорнийский университет в Беркли к З. Арнольду, чтобы исследовать движение в филоподиях морской фораминиферы *Allogromia laticollaris*, которую он разводил. Это животное и другое, похожее на него — *Allogromia sp. N. F.* — стали исходным материалом для важных экспериментов, в которых была выявлена наконец связь между движением частиц и микротрубочками. Они похожи на *Gromia*, но в отличие от него хорошо растут в лабораторных условиях и их легко получать в больших количествах, что удобно для исследований.

Я «познакомился» с *Allogromia* за шесть лет до того, как были открыты микротрубочки. Тогда техника микроскопии была слишком примитивной и не позволяла описать внутриклеточные структуры более детально, чем это сделал Лейди. На эксперименты уходило много времени и сил. Тем не менее мы смогли проработать несколько гипотез, предсказывая характер движения и проверяя предсказания простыми наблюдениями. Используя такой подход, Т. Жан и Р. Ринальди из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе в 1959 г. пришли к предположению, что движущиеся частицы захватыва-

ВНУТРИ НЕРВНОЙ КЛЕТКИ микротрубочки (желтые) транспортируют синаптические пузырьки (голубые и красные) и органеллы (бордовые) от тела клетки к окончанию ее длинного отростка — аксона.

ются нитями геля, которые способны ползать одна по другой, смешивая друг друга маленькими «ножками».

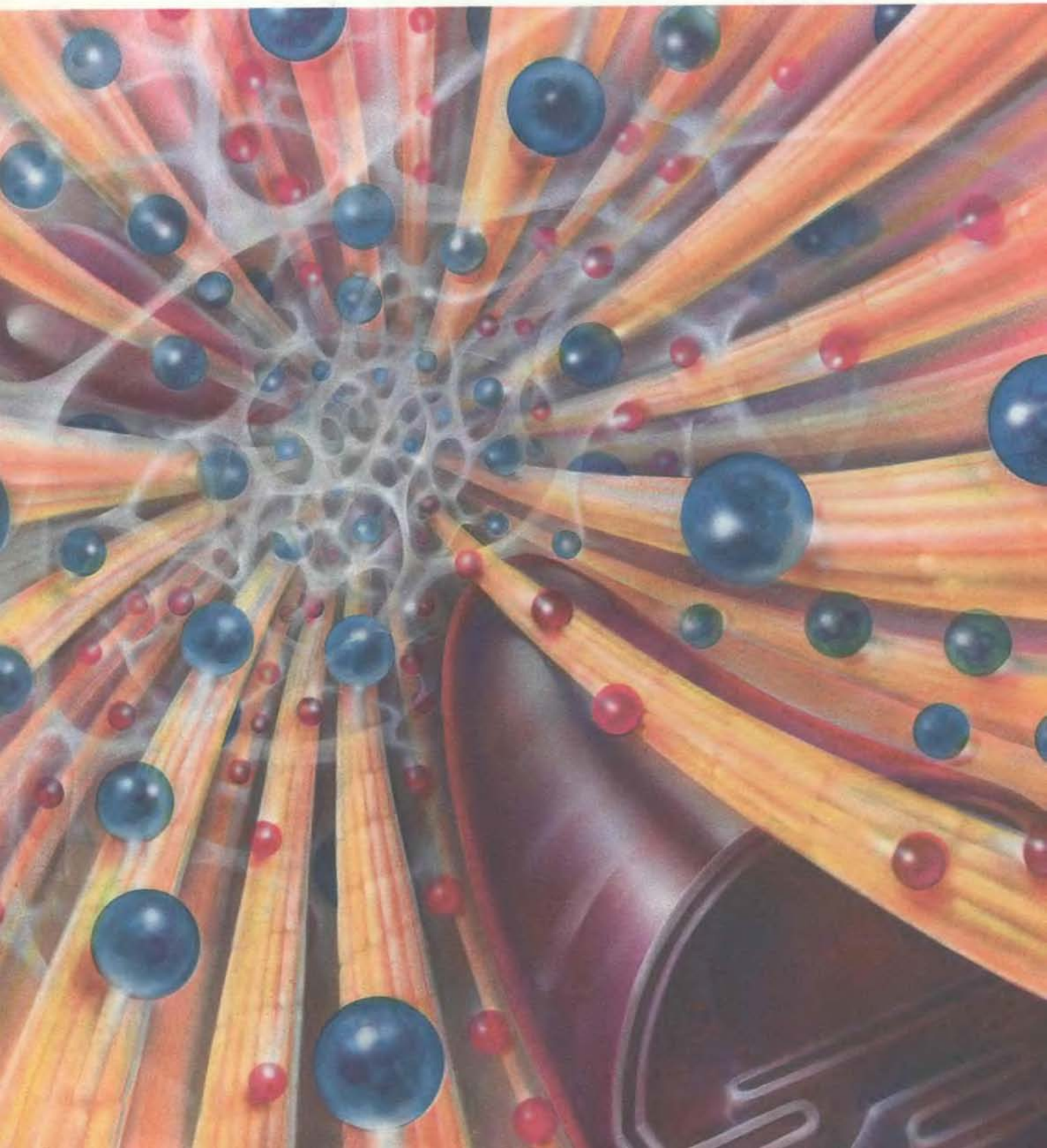
Опыт моей работы в Лаборатории биологии моря Роскофф во Франции, где я изучал *Allogromia* и некоторых родственных фораминифер, дал мне основания думать, что гипотеза Жана и Ринальди слишком проста. Она не объясняла, например, почему в самых тонких филоподиях частицы двигались в направлении к кончику быстрее, чем обратно. Я предложил следующее. В самых маленьких филоподи-

ях имеются V-образные нити геля, которые в области изгиба, расположенного у конца филоподии, сокращаются. Хотя эта модель могла объяснить более быстрое движение частиц в одном направлении, дальнейшие исследования показали, что я был не ближе к истине, чем Жан и Ринальди.

В ходе своих ранних исследований, однако, я заметил, что филоподии ярко светятся, когда их рассматриваешь в поляризационный микроскоп. Это свечение могло означать, что в филоподиях имеются ориентированные

субмикроскопические нити. Что бы собой не представляли эти нити, они, должно быть, были очень хрупкие и нестабильные, так как при малейшем изменении внешних условий разрушались, распадаясь на ряды капель цитоплазмы, связанных между собой мембранными «чулками».

Именно из-за этой нестабильности на протяжении почти 10 лет все мои попытки показать, что микротрубочки во множестве присутствуют в филоподиях фораминифер, оказались неудачными. Впервые микротрубочки



были идентифицированы в других объектах. В 1963 г. Д. Слауттербек из Медицинской школы Висконсинского университета обнаружил микротрубочки у пресноводного кишечнополостного *Hydra*. В том же году М. Ледбеттер и К. Портер из Гарвардского университета открыли их в растительных клетках. Мы сразу решили, что микротрубочки являются «элементами жесткости» филоподий *Allogromia*. Однако лишь в 1971 г. С. Мак-Ги-Руссель и я (в то время мы работали в Университете шт. Нью-Йорк в Олбани) придумали, как усовершенствовать методы приготовления образцов, чтобы избежать разрушения микротрубочек.

И опять прошло 10 лет, прежде чем нам удалось экспериментально доказать прямую связь микротрубочек с движением частиц. В 1981 г. в моей лаборатории в Дартмутском колледже были получены результаты, которые привели к значительному прогрессу в проблеме выявления нестабильных внутриклеточных нитей. Дж. Тревис, выполнявший под моим руководством дипломную работу, посвященную проблеме движения у *Allogromia*, изобрел способ выращивать этот организм на покровных стеклах, используемых для световой микроскопии. Стекла обрабатывались положительно заряженными веществами, например полилизинном, и

филоподии прилипали, распластываясь, к их поверхности, образуя тонкие широкие «ленты», в которых было очень удобно наблюдать движение органелл. Тревис получил также препараты цельных клеток, не расчлененных на срезы, и это впервые позволило на уровне электронной микроскопии увидеть сложное хитросплетение внутриклеточной системы микротрубочек.

Тем временем я разработал метод, названный впоследствии микроскопией Аллена с телевизионным увеличением контраста (сокращенно AVEC, от английского Allen video enhanced contrast), который позволил вернуться к световой микроскопии и наблюдать структуры на порядок меньшие, чем можно различить в обычный световой микроскоп. Можно было видеть отдельные микротрубочки, хотя их диаметр всего 25 нм. С помощью микроскопии AVEC Тревис и я впервые проследили за взаимодействием частиц с микротрубочками. Оказалось, что простого физического контакта с микротрубочкой достаточно, чтобы покоящаяся частица приобрела ускорение. Кроме того, мы увидели, что сами микротрубочки находятся в движении и перемещаются вдоль и поперек внутри филоподий. Нам не удалось определить, однако, активно ли они толкают сами себя, или их что-то подтягивает. Неясно было также,

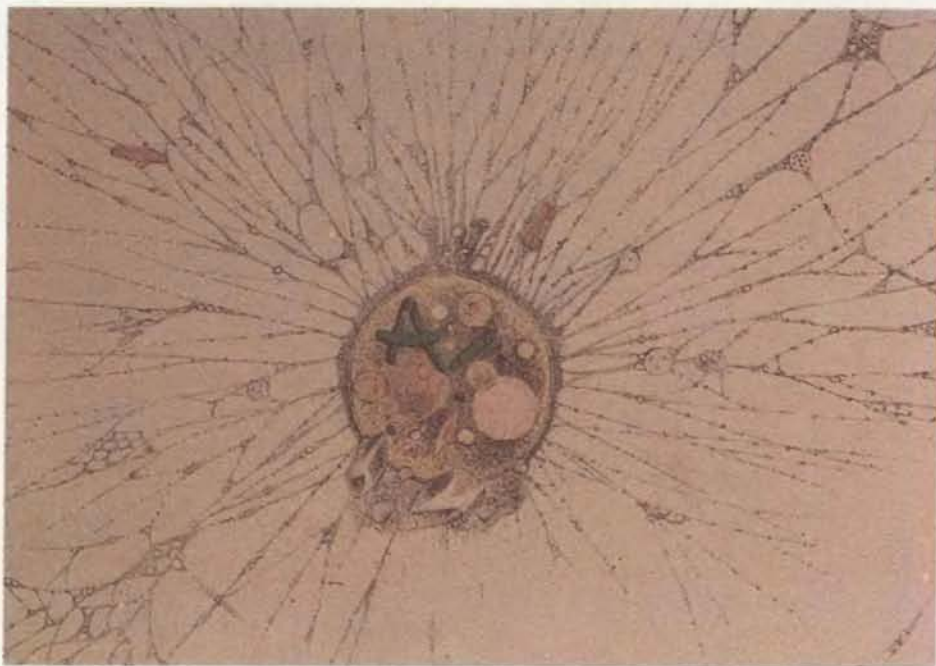
могут ли частицы двигаться по одной отдельно взятой микротрубочке.

Решив, что эти ограничения обусловлены особенностями объекта, мы оставили *Allogromia* и обратились к другим клеточным системам, которые можно исследовать с помощью микроскопии AVEC. В этой связи интерес вызывал транспорт органелл вдоль аксонов нервных клеток — длинных отростков, по которым передаются нервные импульсы. Было известно, что в нейронах цыпленка частицы движутся вдоль аксонов с высокой по микроскопическим масштабам скоростью — 200 мкм в день. Быстрый транспорт в аксонах был впервые описан в 1965 г. У. Бердвудом, также работавшим в моей лаборатории над своим дипломом. Сообщение о его наблюдениях произвело поистине революционный эффект. В последующие 15 лет предлагалось много различных объяснений обнаруженного Бердвудом явления, но прямые доказательства их отсутствовали, поэтому ни одна из гипотез не была лучше остальных.

ЛЕТОМ 1981 г., которое я провел в Лаборатории биологии моря в Вудс-Холе, я решил посмотреть, годится ли микроскопия AVEC для изучения аксонального транспорта. В качестве объекта исследования я выбрал гигантский аксон кальмара. Этот аксон — отросток большого прозрачного нейрона — идеально подходил для моих целей во всех отношениях, кроме одного: никто никогда не видел никакого движения в его цитоплазме. Я пригласил к себе в Вудс-Хол несколько коллег, имевших большой опыт работы с нейронами беспозвоночных, в надежде, что вместе нам удастся что-нибудь сделать.

Без AVEC изображение, которое давал световой микроскоп, работающий по принципу дифференциального интерференционного контраста, никуда не годилось. Видны были лишь смутные очертания аксолеммы (мембраны, окружающей аксон) и тонкий слой клеток соединительной ткани вокруг аксона. Никакого движения заметно не было. Когда же мы подключили аппаратуру AVEC и вывели изображение на экран телевизионного монитора, оказалось, что внутри аксона кишат крошечные частицы, которые перемещаются в обоих направлениях вдоль каких-то «филаментов». Нетрудно себе представить охвативший нас восторг!

В июле мы получили первые видеомангнитофонные записи транспорта частиц в гигантском аксоне кальмара. Удалось идентифицировать большую часть частиц по их размерам. В боль-



GROMIA — пресноводный родственник планктонных организмов; без микроскопа он выглядит не крупнее песчинки. У *Gromia* впервые был обнаружен внутриклеточный транспорт, связываемый ныне с микротрубочками. Этот рисунок сделан в 1879 г. Дж. Лейди, который описал «гранулы», перемещающиеся в обоих направлениях по филоподиям — длинным тонким «ложноножкам», отходящим от тела животного наподобие щупалец. Поиски объяснения встречному движению внутри единого замкнутого пространства привели автора статьи к исследованиям, о которых здесь рассказано.

ших вытянутых образованиях, которые двигались в обоих направлениях рывками, мы узнали митохондрии (в этих органеллах синтезируется АТФ — универсальный донор энергии для различных клеточных процессов). Более мелкие сферические частицы, направлявшиеся к телу клетки, представляли собой агрегаты пузырьков (называемые мультивезикулярными тельцами), в виде которых переносились «излишки» мембран. Самые маленькие и хуже всего различимые частицы непрерывно перемешались целыми скоплениями, похожими на плотные стайки мелкой рыбешки, по направлению к синаптическому окончанию аксона. Это были предшественники синаптических пузырьков, транспортирующие нейромедиаторы (вещества, опосредующие передачу нервного импульса от клетки к клетке) к синапсу, где они выделяются из окончания в ответ на стимуляцию нейрона. Прежде в световой микроскоп синаптические пузырьки никто не видел.

КОГДА улеглись страсти, мы смогли оценить свои результаты. По меньшей мере наши эксперименты установили, в каких направлениях движутся разные частицы, и показали, что более крупные частицы перемещаются медленнее, чем мелкие. Кроме того, мы, похоже, получили первое свидетельство непрерывного движения частиц в клетках животных. Это было неожиданным, поскольку непрерывное движение до сих пор наблюдалось только в клетках растений в случае так называемого циклоза. Движения частиц в клетках животных всегда считались прерывистыми.

Что же вызывает движение частиц? Судя по всему, частицы не увлекались каким-то током протоплазмы, как это происходит в растительных клетках. Некоторые исследователи предполагали, что аксональный транспорт осуществляется за счет электрического заряда, сопровождающего нервные импульсы. Но эксперименты показали, что электрическая стимуляция аксонов на транспорт не влияет. В своем движении частицы неизменно следовали вдоль «линейных элементов», которые выглядели совсем как микротрубочки, которые мы видели у *Allogromia*.

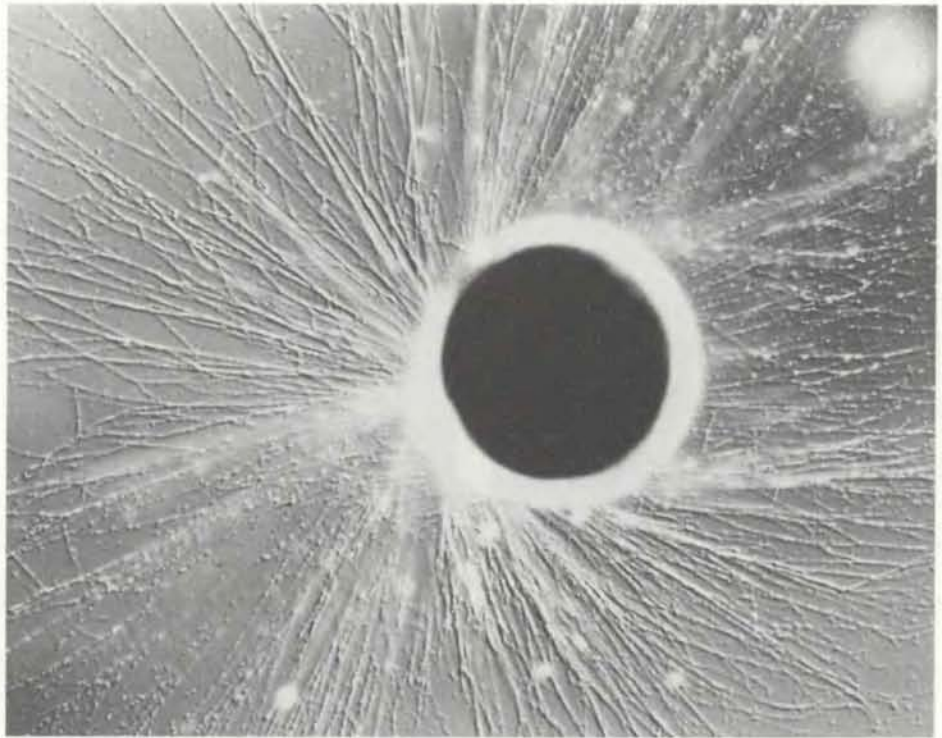
Сопоставляя различные свои наблюдения, мы стали подозревать, что в транспорте частиц и у фораминифер, и в нейронах могут участвовать микротрубочки. Следовало, однако, признать, что в аксонах есть и другие линейные элементы, такие, как нейрофиламенты и F-актин, и в

1981 г. преобладало мнение, что непосредственное участие в аксональном транспорте наиболее вероятно для F-актина. (см. J. Schwartz. The Transport of Substances in Nerve Cells, «Scientific American», April, 1980).

Разрешение светового микроскопа не превышает 100 нм и нельзя было определить, что собой представляют линейные элементы, как плотно они

упакованы и каким образом они взаимодействуют с транспортируемыми частицами. Чтобы ответить на эти вопросы, имело смысл разрушить аксон, выделить линейные элементы и частицы и пронаблюдать за их взаимодействием.

Ведущий специалист в области аксонального транспорта Р. Ласек из Медицинской школы Университета



СЕТЬ ПЕРЕПЛЕТЕННЫХ ФИЛОПОДИЙ *Allogromia*. Эта микрофотография получена с помощью обычного интерференционно-контрастного микроскопа. Филоподии имеют вид тонких прозрачных нитей, отходящих от темного круга — тела клетки. Изучение этого объекта дало первые прямые доказательства участия микротрубочек в транспорте внутриклеточных частиц. Размер клетки *Allogromia* 0,5 мм в поперечнике.



ПУЧКИ МИКРОТРУБОЧЕК в филоподии *Allogromia* ориентированы упорядоченно — вдоль длинной оси филоподии. Внутри пучков видны пятнышки — это рыхлые спирали из белка тубулина. Между пучками располагаются транспортируемые пузырьки. (Электронная микрофотография; увеличение $\times 24\,000$.)

Кейса и один из его сотрудников С. Брэди (который в настоящее время работает в Научно-исследовательском медицинском центре Техасского университета) посоветовали нам применить методику, разработанную в Вудс-Холской лаборатории еще сорок лет назад Р. Биром, Ф. Шмиттом и Дж. Янгом. Эти исследователи научились выдавливать цитоплазму из отдельных аксонов. Желеподобное содержимое отростка не растекалось, а сохраняло свою целостность, оставаясь в виде длинной узкой колбаски.

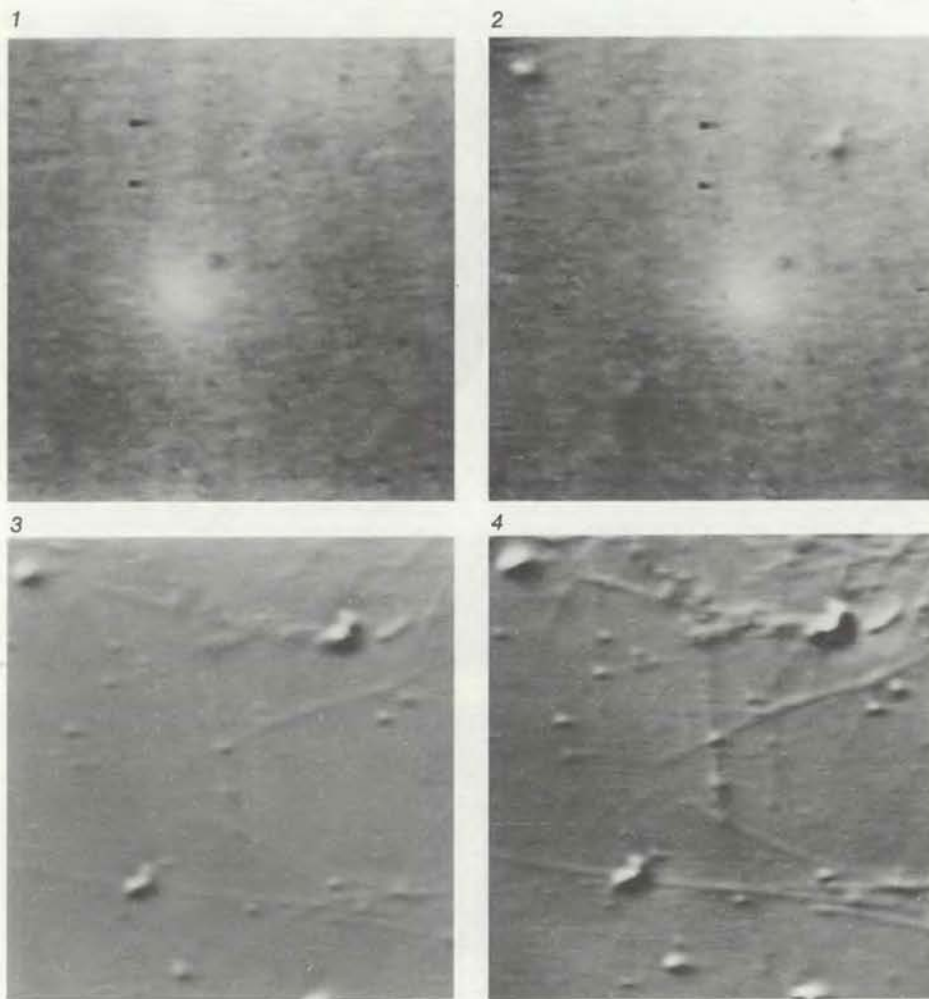
Эта методика, несколько измененная Брэди, сразу привела к успеху. Оказалось, что в аксоплазме, даже лишенной клеточной мембраны, транспорт не ослабевал, а в присутствии раствора определенных солей, аминокислот и АТФ, служившего источником энергии, мог продолжаться часами, что давало достаточное время для экспериментальной работы. Я предложил «перемешать» выдавленную цитоплазму, чтобы выяснить, зависит ли механизм транспорта от целостности ее структуры. Перемешивание

также не прекращало транспорта; он становился лишь менее организованным, но частицы по-прежнему следовали по путям, обозначенным линейными элементами. Во мне росла уверенность, что и изолированные микротрубочки сохраняют свою способность к перемещению клеточных частиц; это доказало бы их прямое участие во внутриклеточном транспорте.

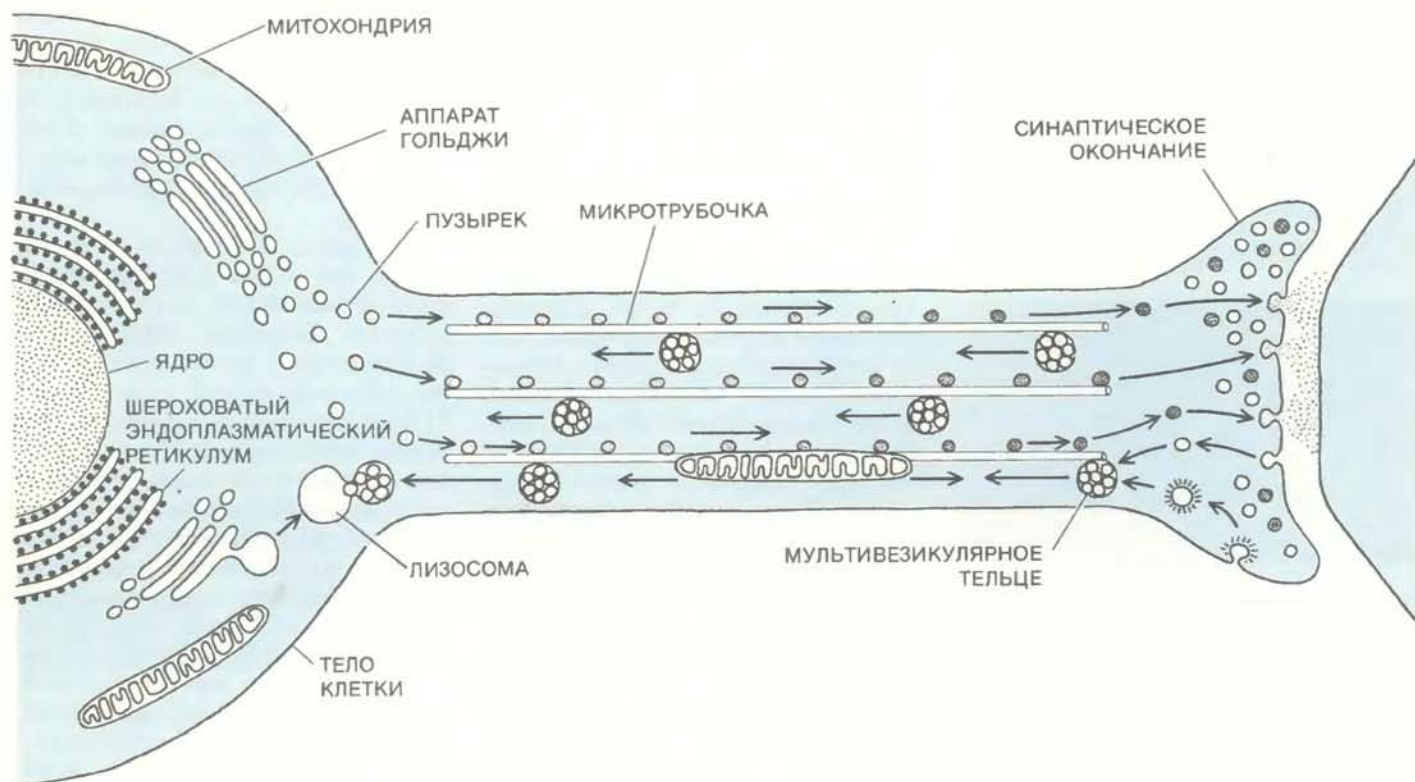
Серьезные доводы в пользу этого были получены Дж. Хайденом, работавшим после получения докторской степени в моей лаборатории в Дартмутском колледже. Хайден выделил из глаз лягушки специализированные клетки соединительной ткани, называемые кератоцитами. Эти клетки отличаются тем, что периферические участки у них очень тонкие. В краевых участках кератоцитов с помощью микроскопии AVEC мы увидели частицы, двигавшиеся вдоль нитей, похожих на «линейные элементы», которые наблюдались в гигантском аксоне кальмара. Хайден исследовал состав этих нитей при помощи антител к тубулину, предоставленных Р. Голдманом из Медицинской школы Северо-Западного университета. Антитела связывались с нитями, а это означало, что фибриллы, по которым следовали частицы, представляли собой не что иное, как микротрубочки.

Способна ли одна отдельно взятая микротрубочка обеспечивать движение частиц в обоих направлениях или только в одном? Во второй серии экспериментов, потребовавших большого мастерства в приготовлении образцов, Хайден сначала зарегистрировал движение вдоль микротрубочек с помощью микроскопии AVEC, а затем зафиксировал эти же кератоциты для исследования в электронном микроскопе. Сопоставив два изображения, он увидел, что одни и те же микротрубочки перемещали частицы в обоих направлениях. Это было первое убедительное доказательство того, что единичная микротрубочка может обеспечивать загадочное движение в двух направлениях, которое у *Allogromia*, казалось, нарушало законы физики. Собственно говоря, мы были уже уверены, что микротрубочки участвуют в движении частиц во всех исследованных нами системах: у фораминифер, в культивируемых кератоцитах, в нейронах.

РЕЗУЛЬТАТЫ Хайдена поставили новые вопросы. Для любого направленного движения в клетке требуются химическая энергия и какой-нибудь «двигательный» фермент для превращения этой энергии в механи-



МИКРОСКОПИЯ AVEC использует тот факт, что телевизионная камера может улавливать слабые изменения контраста лучше, чем глаз человека. В данном случае при формировании изображения усиливаются различия в яркости объектов и уменьшается средняя яркость всего телевизионного изображения. Световой микроскоп с дифференциальным интерференционным контрастом снабжен линзой, обеспечивающей дополнительное увеличение. Оптика микроскопа настраивается таким образом, чтобы через нее проходило как можно больше света; это улучшает отношение сигнал/шум и оптимизирует условия работы телекамеры, но изображение становится трудноразличимым, поскольку рассеянный свет слепит глаза. Изображение 1 получается, когда переменное напряжение телевизионного сигнала усиливается и увеличиваются различия в яркости, а напряжение постоянного тока, отражающее яркость фона, вычитается. Хотя в результате некоторые элементы препарата (в частности, два пузырька в верхней половине изображения) видны лучше, одновременно более заметными становятся частицы пыли и дефекты линз, что снижает качество изображения. Поскольку эта шумовая картина сохраняется, когда образец выводится из фокуса объектива микроскопа (2), ее можно вычистить из всех поступающих телевизионных кадров и получить более ясное изображение (3). Контрастность этого изображения может быть повышена при помощи электронного усиления, а отношение сигнал/шум может быть улучшено путем усреднения входных сигналов от различных кадров (4).



ТРАНСПОРТ ВДОЛЬ МИКРОТРУБОЧЕК позволяет быстро переносить нужные вещества от тела нервной клетки к окончанию ее аксона, которое образует особым образом устроенный контакт (синапс) с клеткой-мишенью. Синаптические пузырьки, содержащие нейромедиатор (вещество, посредством которого нервный импульс передается от одной клетки к другой), формируются в аппарате Гольджи и переносятся к синапсу. Мембраны пузырьков, освободившиеся после выброса медиатора из клетки, собираются в

агрегаты (мультивезикулярные тельца), которые возвращаются в тело клетки и затем разрушаются в лизосомах. Митохондрии перемещаются в обоих направлениях, удовлетворяя энергетические потребности клетки. Транспорт пузырьков непрерывен, а митохондрии движутся прерывисто. Установлено, что одна и та же микротрубочка поддерживает транспорт в обоих направлениях, но механизм транспорта до сих пор до конца не ясен. (Рисунок сделан без соблюдения масштаба.)

ческую, за счет которой и совершается движение. Обычно источником энергии в клетке служит АТФ. При взаимодействии АТФ с водой происходит химическая реакция, называемая гидролизом, в которой АТФ расщепляется и выделяется запасенная в

нем энергия. Мы предположили, что энергию для зависимого от микротрубочек транспорта поставляет АТФ, поскольку в его отсутствие транспорт частиц по микротрубочкам останавливался. Большой интерес вызывали гипотетические «двига-

тельные» ферменты. Хотелось узнать, каковы их состав, структура и механизм действия, связаны они с микротрубочками или же с частицами, или и с теми и с другими. Чтобы получить ответы на эти вопросы, нужно было выделить и исследовать



ИЗОЛИРОВАННЫЕ МИКРОТРУБОЧКИ способны скользить и извиваться. Это указывает на то, что какой-то двигательный фермент связан непосредственно с ними самими. Микротрубочка может двигаться только в одном направлении. Когда скользящая микротрубочка наталкивается

на препятствие, она начинает извиваться змеей, скручиваться и выписывать узоры серпантина. Такие движения довольно быстрые: эти изображения, полученные с помощью микроскопии АВЕС, разделены во времени всего на 18 с.

отдельные микротрубочки.

Летом 1983 г. мы снова работали в Вудс-Холе и возобновили исследования аксоплазмы кальмара. Нам удалось получить «разбавленную» аксоплазму, в которой длинные микротрубочки находились на значительном расстоянии друг от друга. Судя по изображениям, полученным с помощью AVEC, характер движения частиц по одиночным микротрубочкам был таким же, какой наблюдал Хайден в интактных кератоцитах. Мы заметили также, что очень длинные микротрубочки (более 100 мкм в длину) могли во время движения частиц медленно изменять свою форму, иногда образуя клубки, банты или звезды.

К сожалению, эти структуры были такими длинными, что простирались за пределы поля зрения микроскопа, так что невозможно было сказать, изгибаются ли они от столкновения с неподвижными структурами либо просто деформируются силами взаимодействия с частицами, поверхностью стекла или другими микротрубочками. Ласек, Брэди, Д. Марц (который тоже работал в Университете Кейса) и я наблюдали изменения формы вытянутых митохондрий в выдавленной аксоплазме кальмара. Причиной этих изменений явно было то, что внешняя мембрана митохондрий растягивалась в разные стороны, прикрепленная в нескольких точках к близлежащим микротрубочкам. Вероятно, аналогичное «перетягивание на канате» происходило и между самими микротрубочками.

НИ ОДНОЙ гипотезе о природе движения микротрубочек нельзя было отдать предпочтение до тех пор, пока не удалось расчленить их на более короткие сегменты, а с этой процедурой мы в то лето так и не справились. Через год в Вудс-Холл приехал Д. Вейсс из Зоологического института Мюнхенского университета и стал работать с нами. К тому

ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ в противоположных направлениях по одной микротрубочке демонстрирует эта серия фотографий, полученных с помощью микроскопии AVEC. Крупная частица, представляющая собой, вероятно, мультивезикулярное тельце, перемещается по криволинейной траектории, форма которой определяется S-образно изогнутой микротрубочкой. На третьем (считая сверху) кадре более мелкая частица вытянутой формы связывается с вершиной образуемого микротрубочкой «горба» и начинает ползти влево вниз. Вся серия снята за 13 с. (Увеличение $\times 9000$.)

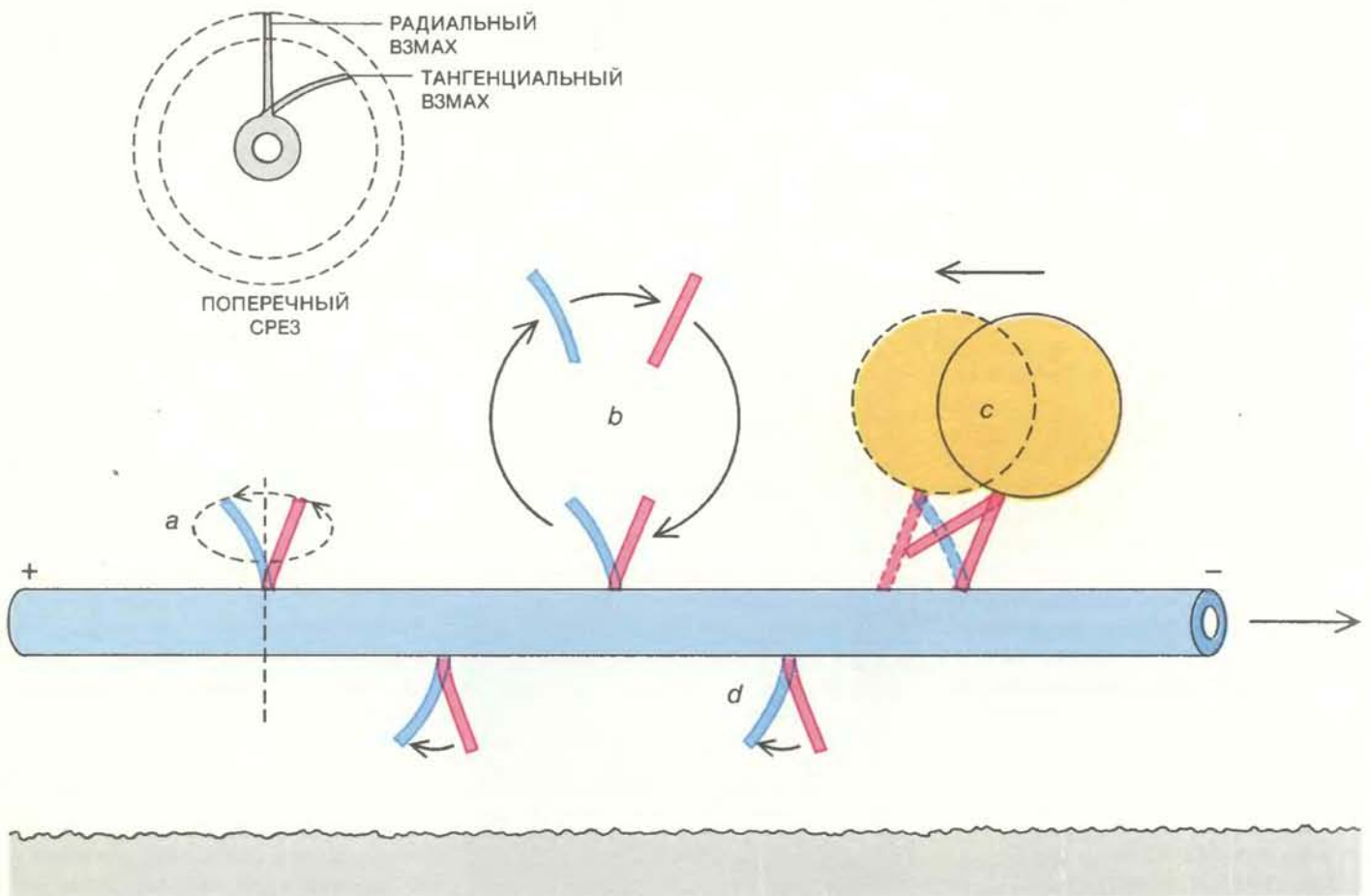
времени накопилось около 45 часов видеоманитофонных записей, сделанных с нормальной скоростью и параллельно с в 10 раз большей (с помощью цейтраферной съемки). В этих записях открывался микромир многообразных, быстрых и неожиданных движений.

Но самые эффектные открытия ждали нас, когда наконец удалось фрагментировать микротрубочки, которые достигают обычно сотен микрометров в длину. Были получены сегменты разной длины — от 25 мкм, что равнялось диаметру поля зрения микроскопа до 1 мкм и меньше. Каково было наше изумление, когда оказалось, что короткие сегменты микротрубочек способны свободно скользить по стеклу. Каждый сегмент перемещался в одном направлении и никогда не менял его на противоположное, причем двигался всегда по прямой до тех пор, пока не наткнулся на какое-нибудь препятствие, например органеллу, прилипшую к покровному стеклу. Он мог делать скачок в сторону под углом или, упершись передним концом во что-нибудь, начать извиваться как змея, рисуя правильные узоры наподобие серпантина. Это коловращение фрагментов микротрубочек протекало вне зависимости от того, транспортировались по ним в данный момент частицы или нет.

Хотя эта картина была искусственной, она дала нам информацию, важную для понимания природы двигательных ферментов. Несколькими годами раньше другие исследователи открыли способ сборки микротрубочек из отдельных субъединиц (см. P. Dustin. Microtubules, «Scientific American», August, 1980). Вскоре после того, как мы описали движущиеся фрагменты микротрубочек, Т. Рис из Национального института неврологических болезней, речевых расстройств и инсульта и его коллеги из Вудс-Хола обнаружили, что микротрубочки, искусственно полученные путем самосборки, не движутся, пока в среду не добавлена некая растворимая фракция аксоплазмы. Этот факт привел нас к выводу, что местом действия двигательного фермента является поверхность микротрубочки и что в цитоплазме должны находиться запасы такого фермента. Из этого факта следовало также, что двигательный фермент не прочно присоединен к микротрубочке, а связывается с ней свободно. Поэтому мы называем двигательный фермент «белком, взаимодействующим с микротрубочками».

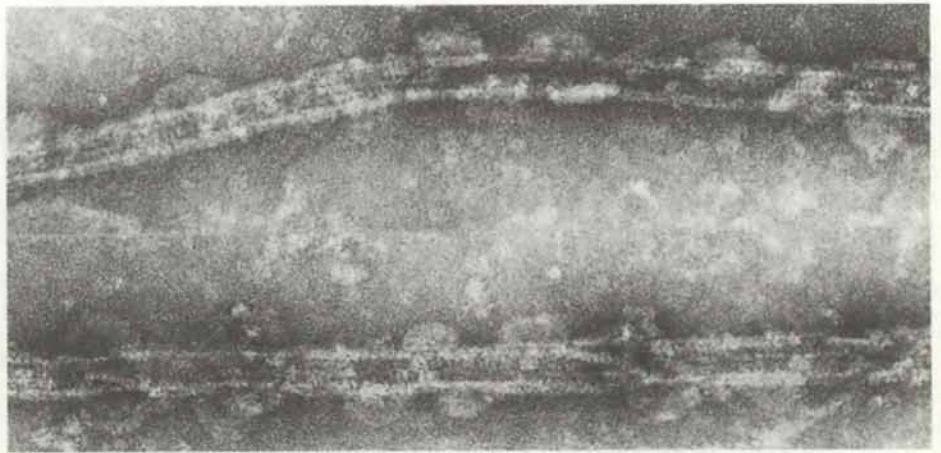
Как согласовались наши результаты с установившимися уже представ-





МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТА, предложенная автором, предполагает, что и скольжение микротрубочек, и движение органелл осуществляются за счет действия одного и того же элемента — двигательного фермента, конформация которого циклически изменяется. Молекулы этого белка располагаются на выростах, связывающих микротрубочки с органеллами или с субстратом. Они могут быть либо в активированном состоянии (*красные*), либо в покоящемся (*голубые*). Фермент может активироваться, находясь на микротрубочке (*a*), в растворе (*b*) или на органелле (*c*). Случай *a* лучше всего укладывается в гипотезу «обратного взмаха», которая показана на схеме вверху, где изображен поперечный срез микротрубочки. Согласно этой гипотезе,

совершаемый двигательным ферментом активный взмах выроста ориентирован радиально, а пассивный — тангенциально, благодаря чему частицы, транспортируемые в противоположных направлениях, не сталкиваются. Случай *c* подходит к гипотезе «шагающего» движения: органелла удерживается на микротрубочке и перемещается в результате координированной активации и инактивации соединенных буквой V боковых выростов. Микротрубочка сама по себе обладает полярностью (*показано знаками «+» и «-»*), поэтому связывание выростов также может быть направленным и каждая микротрубочка будет перемещаться только в одном направлении, которое определяется ее собственной структурой.



МИКРОТРУБОЧКИ И ПУЗЫРЬКИ, участвующие в транспорте, могут приобретать боковые выросты. При наличии источника энергии (АТФ) молекулы выростов прилипают к поверхности пузырьков (*слева*). Когда вместо АТФ присутствует его негидролизующий аналог АМР—PNP, молекулы выростов связываются с микротрубочками (*справа*; на

этом снимке выросты заметны хуже, чем на снимке пузырька — они имеют вид палочек, расположенных между крупными округлыми структурами). Электронные микрофотографии получены Дж. Лэнгфордом из Медицинской школы Университета Северной Каролины. (Увеличение $\times 210\,000$.)

лениями о механизмах аксонального транспорта? Д. Смит из Университета Майами и другие исследователи обнаружили по электронным микрофотографиям, что микротрубочки имеют выросты или поперечные мостики. Было показано также, что в аксонах некоторые пузырьки и органеллы связаны с микротрубочками мостиками различной длины. По предположению С. Окса из Медицинской школы Университета Индианы, высказанному им в 1972 г., эти поперечные мостики состоят из белка, который в результате энергозависимой реакции изменяет свою конформацию, вследствие чего органелла перемещается. Некоторые ученые считали, что роль таких двигательных белков могут играть актин и миозин, обеспечивающие сокращение мышц. Но они предсказывали, что движение по отдельным нитям должно быть прерывистым и осуществляться только в одном направлении, тогда как мы обнаружили непрерывное движение частиц, причем в обоих направлениях по одной и той же микротрубочке.

Поначалу наши попытки выявить боковые выросты на микротрубочках не имели особого успеха, но Брэди и Ласек проводили эксперименты, результаты которых вселяли некоторые надежды. Для выяснения механизма транспорта по микротрубочкам они использовали аналог АТФ, обозначаемый AMP—PNP. Это вещество замещает АТФ в активном центре двигательного фермента, но не гидролизует и, следовательно, не может обеспечить движение энергией. Брэди и Ласек знали, что AMP—PNP вызывает присоединение пузырьков и органелл к микротрубочкам и поэтому предположили, что он стабилизирует боковые выросты. Обработывая выдавленную аксоплазму негидролизующим аналогом АТФ, Брэди добился успеха и получил изображение боковых выростов на электронных микрофотографиях. В таких же препаратах Брэди идентифицировал фермент, называемый АТФазой, который вполне может играть роль двигательного фермента. В Вудс-Холе Рис с сотрудниками применили подход Брэди, но получили в результате другой белок.

Где исходно локализируются молекулы, образующие боковые выросты, тоже предстояло выяснить. Находятся ли элементы, формирующие поперечные мостики, на микротрубочках, на пузырьках и органеллах, или они свободно плавают в цитоплазме? И вновь разные исследователи пришли к разным заключениям. Как бы то ни было, не вызывало сомнения, что при определенных обстоятельствах и

микротрубочки, и пузырьки, которые они переносят, могут связывать компоненты боковых выростов. Поэтому мы задумались о том, как должны действовать молекулы боковых выростов и двигательный фермент, чтобы начался зависимый от микротрубочек транспорт.

Объединив фактический материал, полученный в наших экспериментах, и представления о том, как вообще может быть организован такой транспорт, я во время своего последнего периода работы в Вудс-Холе в 1985 г. разработал модель функционирования микротрубочки. Вместе со мной над этой моделью трудились Вейсс, Дж. Ленгфорд из Медицинской школы Университета Северной Каролины и Д. Сейц-Туттер, который теперь работает вместе с Вейссом в Техническом университете в Мюнхене. Согласно нашей модели, каждый боковой вырост содержит двигательный фермент — АТФазу, который в ходе гидролиза АТФ вызывает пространственную перестройку компонентов бокового выроста: они переходят из «активной» конформации в «пассивную». Как только конформация молекул боковых выростов изменяется, они либо формируют временные поперечные мостики между пузырьком и микротрубочкой, либо взаимодействуют с ближайшей поверхностью. При этом сила конформационной перестройки бокового выроста, которая возникает вследствие гидролиза АТФ, используется для движения пузырьков вдоль микротрубочки или для движения микротрубочки по близлежащей поверхности.

Компоненты боковых выростов, где бы они ни находились изначально — на микротрубочках, на пузырьках и органеллах или в свободном виде, — должны вступать в непосредственный контакт с микротрубочкой; это, по-видимому, является обязательным условием их пространственной перестройки, поскольку пузырьки никогда не движутся независимо от поверхности микротрубочек. Наша модель предполагает, что молекулы боковых выростов перед присоединением к микротрубочкам активируются. Цикл конформационных изменений, возможно, аналогичен перестройке комплекса актина и миозина при мышечном сокращении, при котором также происходит гидролиз АТФ.

На поверхности пузырьков мы обнаружили некие V-образные структуры, похожие на два соединенных боковых выроста, и, хотя мы еще очень мало знаем о механике и гидродинамике переноса частиц микротрубочками, существование таких структур по-

зволяет выдвинуть изящную гипотезу. Можно предполагать, что пока одна из половин V-образной структуры образует поперечный мостик и составляющие ее молекулы проходят цикл конформационных изменений, другая половина за это время активируется. Затем, когда первый мостик заканчивает свой цикл и отделяется от микротрубочки, с ней связывается вторая; потом все повторяется сначала. Такой «шагающий» механизм удерживал бы частицу от броуновского движения, которое постоянно угрожает направленному перемещению. Кроме того, этот механизм требует участия меньшего количества боковых выростов по сравнению с гипотетическим механизмом их свободно присоединения.

Как в рамках нашей модели объяснить направленное движение частиц в обоих направлениях? Я предложил «гипотезу обратного взмаха». Транспорт в противоположных направлениях осуществляет одна и та же молекула, образующая боковой вырост*. Каждая такая молекула изгибается так, что ее активный взмах продвигает частицу по траектории, сравнительно далеко отстоящей от поверхности микротрубочки; затем эта молекула, отсоединившись от органеллы, располагается уже ближе к поверхности микротрубочки, поворачивается в обратном взмахе и переносит другую более крупную частицу на некоторое расстояние в обратном направлении. При этом частицы, движущиеся в противоположных направлениях, не сталкиваются, так как перемещаются в разных плоскостях.

Наша модель — это только гипотеза; известные факты можно интерпретировать и иначе. Рис, например, считает, что существуют два типа выростов, каждый из которых обеспечивает движение только в одном направлении. Разногласия в этом вопросе, конечно, исчезнут в ближайшие годы, поскольку теперь у нас есть главное — возможность наблюдать за зависимым от микротрубочек транспортом прямо в живой клетке. Со временем мы поймем природу явления, интерес к которому возник много лет назад; и станет ясно, каким образом внутри клетки происходит «перевозка грузов».

* В настоящее время показано, что транспорт органелл в противоположных направлениях осуществляется разными переносчиками (см. Vale R. D. et al. Different axoplasmic proteins generate movement in opposite directions along microtubules in vitro. «Cell», V. 43, pp. 623—632, 1985). — Прим. ред.

Иллюстрированный журнал
В МИРЕ НАУКИ

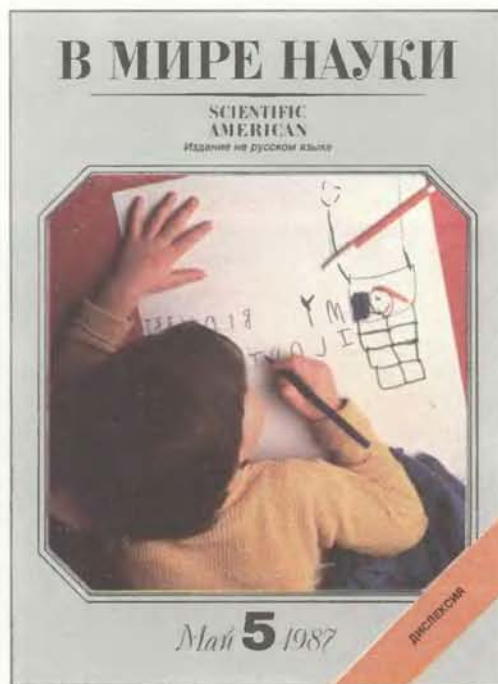
издается в СССР с 1983 года.

Представляет собой издание на русском языке журнала

**SCIENTIFIC
 AMERICAN,**

выходящего в США с 1845 года.

Журнал освещает новейшие достижения в области фундаментальных научных исследований и их практических приложений. Авторы статей, ведущие ученые разных стран, в том числе СССР, знакомят читателей с последними результатами работ по астрофизике и ядерной физике, молекулярной биологии и



истории и психологии. Каждый номер журнала содержит восемь разнообразных по тематике статей, написанных профессионально и увлекательно. Строго научный подход к проблеме сочетается с доступностью изложения и позволяет неспециалисту познакомиться с новейшими гипотезами,

зоологии, вычислительной технике и промышленной технологии, геологии и геофизике, археологии, медицине,

моделями и открытиями. Большую помощь в этом оказывают многочисленные красочные иллюстрации.

Журнал «В мире науки» выходит ежемесячно.

Подписка принимается без ограничений в августе—октябре /по безналичному расчету для организаций— в течение августа/ всеми агентствами «Союзпечати», почтовыми отделениями связи, а также общественными распространителями.

Цена номера — 2 руб. Стоимость годовой подписки — 24 руб.

Подписаться можно на квартал, полгода и год по «Каталогу газет и журналов зарубежных стран», раздел «Переводные научные и научно-технические журналы».

Индекс журнала 91310.



Самые старые пульсары

Эти необычные пульсары представляют собой плотные компактные звезды, вращающиеся со скоростью несколько сотен оборотов в секунду.

Почему они вращаются так быстро?

Полагают, что в ходе эволюции они «погасают», но затем возрождаются под воздействием аккреции вещества

ЯКОБ ШЕЙХЕМ

ОДНАЖДЫ солнечным ноябрьским днем 1982 г. ко мне зашел мой коллега Д. Гелфанд, астроном из Колумбийского университета, и сообщил замечательную новость. Он как раз вернулся из командировки на радиообсерваторию Арецибо в Пуэрто-Рико. Там он узнал, что Д. Бэкер и его сотрудник из Калифорнийского университета в Беркли открыли в созвездии Лисички радиопульсар с периодом следования импульсов 1,558 мс. Открытый объект, которому присвоено официальное обозначение 1937+214, является самым быстрым из известных радиопульсаров.

Сообщение об открытии Бэкера в самом деле было потрясающей новостью. Радиопульсары — звездopodobные небесные объекты, которые излучают как различные частицы, так и электромагнитные волны во многих диапазонах, включая радиоволны. Когда радиотелескоп направлен на такой источник, радиоволны регистрируются в виде периодически повторяющихся импульсов. Самым быстрым (т. е. короткопериодическим) радиопульсаром, известным до открытия объекта 1937+214, был пульсар с периодом 30 мс, который находится внутри Крабовидной туманности — обширной диффузной структуры, по виду напоминающей комок ваты. И вот оказалось, что существует объект, излучающий импульсы с частотой в 20 раз больше.

Со времени открытия пульсара в созвездии Лисички обнаружено еще два сверхбыстрых пульсара. В 1983 г. поступило сообщение об одном из них (1953+29) с периодом 6,13 мс, а в 1986 г. — о другом (1855+09) с периодом 5,362 мс. Упомянутые кандидаты в такие объекты. По мере накопления данных становилось все более очевидным, что природу сверхбыстрых пульсаров можно объяснить, лишь выделив их в новый класс объектов.

Хотя многие особенности небесных объектов этого класса остаются пока неизвестными, выявляются некоторые общие характеристики. Наиболее интересно, что эти объекты, по-видимому, имеют очень большой возраст. Обычные пульсары относительно молоды: как правило, их возраст не превышает миллиона лет; пульсар в Крабовидной туманности, самый молодой из них, можно считать «ребенком» — ему всего 932 года. Сверхбыстрые пульсары по сравнению с обычными представляются очень древними. Вероятно, они возникли в результате эволюционных процессов, протекающих, может быть, уже в течение миллиарда лет (что составляет 1/20 возраста Вселенной) и, по всей видимости, просуществуют еще несколько миллиардов лет.

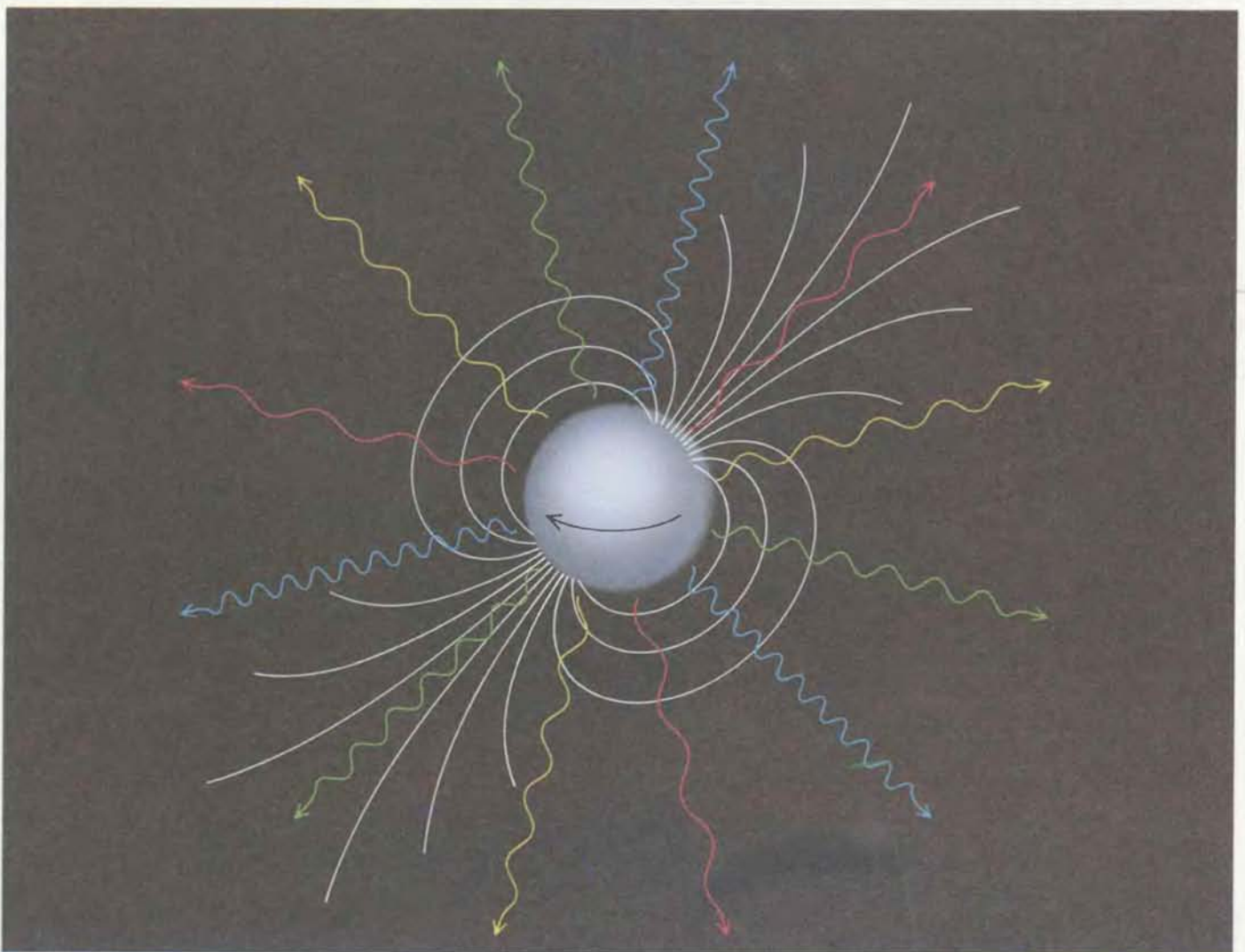
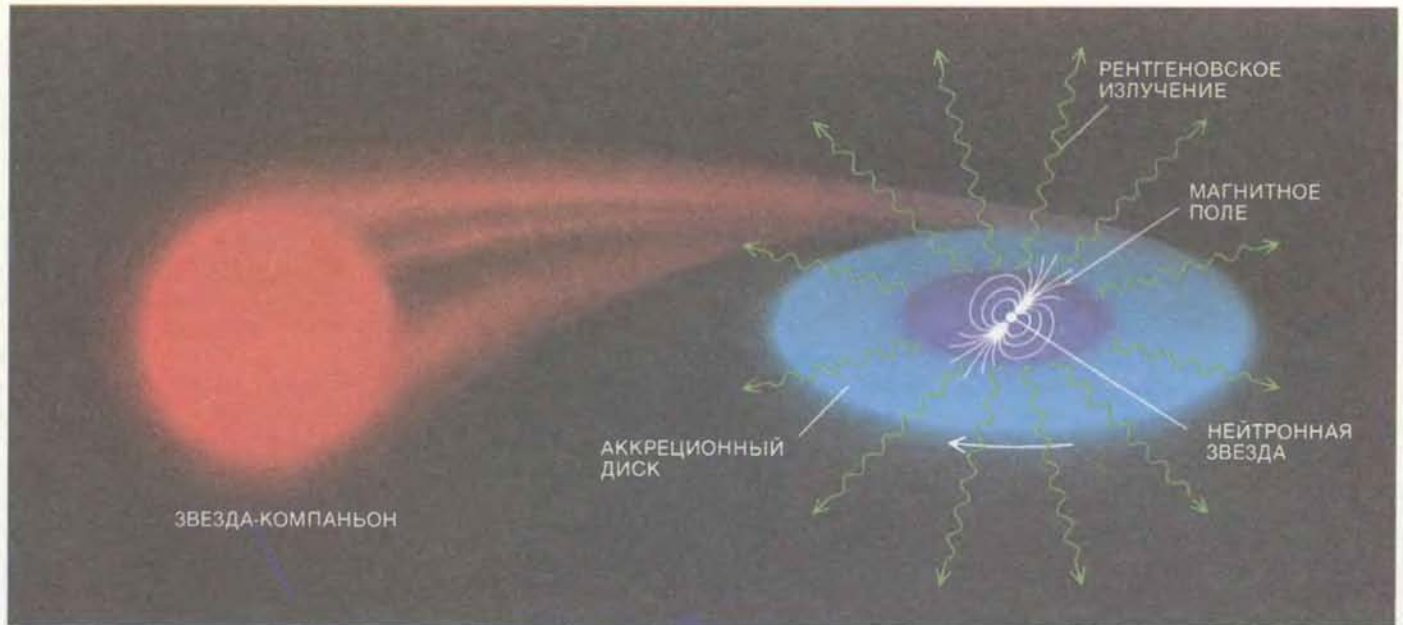
ОБЫЧНЫЕ ПУЛЬСАРЫ — вообще очень интересные объекты. Полагают, что они представляют собой вращающиеся нейтронные звезды — гигантские «ядра», содержащие приблизительно 10^{57} протонов и нейтронов. (Для сравнения заметим, что ядро атома водорода состоит из одного протона, а ядро атома железа — из 56 протонов и нейтронов.) Нейтронная звезда получила такое название, поскольку она содержит приблизительно в 20 раз больше нейтронов, чем протонов. Большая «глыба» ядерного вещества, масса которой сравнима с массой Солнца, сжата в шар радиусом всего лишь примерно 10 км. Такая звезда имеет огромную плотность, несколько превышающую плотность обычного ядерного вещества (которое в 10 триллионов раз плотнее, чем свинец).

Потоки протонов и электронов, движущихся внутри звезды, генерируют магнитное поле. Совместное воздействие магнитного поля и вращения нейтронной звезды порождает пучок направленного радиоизлучения, который при вращении звезды

«просвечивает» окружающее пространство, как луч маяка. При каждом обороте звезды Земля на мгновение попадает в этот луч и радиотелескопы регистрируют импульс излучения. Например, пульсар в Крабовидной туманности представляет собой звезду солнечной массы, которая «втиснута» в оболочку, имеющую размер среднего города, и вращается со скоростью 33 оборота в секунду. (Каждые 30 мс пульсар в Крабовидной туманности совершает один полный оборот.)

Нейтронные звезды — настолько интересные объекты, что можно часами размышлять об их свойствах. Нетрудно вычислить, например, силу тяжести на поверхности нейтронной звезды. Оказывается, она в 100 млрд. раз превышает силу тяжести на земной поверхности. Гравитационное поле нейтронной звезды настолько сильное, что любой притягиваемый ею объект должен распасться, еще не достигнув ее поверхности. Другими словами, объекты не могут падать на нейтронную звезду, они «проливаются», как дождь.

Какие процессы могут приводить к рождению столь необычных звезд? Астрофизики считают, что нейтронная звезда образуется, когда обычная звезда с массой, в несколько раз превышающей солнечную, вспыхивает как сверхновая. Недра такой звезды испытывают взрывной коллапс, образуя нейтронную звезду, а внешние слои выбрасываются наружу, образуя остаток вспышки сверхновой — облако газа и пыли. Часть энергии этого взрыва высвобождается в виде света, так что зрелище может быть очень эффектным. Например, в 1054 г., когда вспыхнула сверхновая, породившая Крабовидную туманность и пульсар в ней, эта звезда была видна невооруженным глазом даже днем в течение трех недель, а по ночам наблюдалась больше года. Высвобождение энергии продолжается и



МИЛЛИСЕКУНДНЫЙ ПУЛЬСАР 1937+214, по-видимому, образовался иначе, чем другие пульсары. Считают, что он представляет собой взродившуюся, т. е. начавшую новый цикл эволюции, нейтронную звезду. Возможно, несколько десятков миллионов лет назад эта звезда была частью рентгеновской двойной системы, которая помимо вращающейся нейтронной звезды включала нормальную звезду (вверху). При движении этих звезд по орбитам относительно друг друга нейтронная звезда медленно аккрецировала вещество, поступающее от ее компаньона. Под воздействи-

ем падающего вещества поверхность нейтронной звезды испускала рентгеновское излучение, а сама звезда вращалась все быстрее. Когда аккреция прекратилась и звезда-компаньон, теряя вещество, закончила свое существование, нейтронная звезда вращалась достаточно быстро, чтобы стать радиопульсаром (внизу). Красными волнистыми линиями показаны радиоволны, желтыми — видимый свет, зелеными — рентгеновское излучение и голубыми — гамма-излучение. В настоящее время остается неясным, почему звезда-компаньон должна исчезать.

после рождения пульсара. Вращающаяся нейтронная звезда испускает частицы высоких энергий, которые поглощаются окружающей туманностью, вызывая ее свечение. Выбрасывая частицы, пульсар теряет энергию вращательного движения, и его вращение замедляется. Чем больше возраст пульсара, тем меньше скорость его вращения — такова общая закономерность, следующая из наблюдений.

Поэтому можно было бы ожидать, что недавно открытые сверхбыстрые пульсары должны быть очень молодыми — во всяком случае, моложе пульсара в Крабовидной туманности, возраст которого 932 года. В конце 1982 г. — начале 1983 г. М. Алпар из Института фундаментальных научных исследований (Турция), Э. Чен из Университета Джона Гопкинса и М. Рудерман из Колумбийского университета вместе с автором этой статьи стали заниматься анализом данных по сверхбыстрому пульсару 1937+214, полученных Бэкером и его сотрудниками (С. Кулкарни и К. Хейлсом из Калифорнийского университета в Беркли, М. Девисом из обсерватории Аресибо и В. Гроссом из Каптейновской лаборатории в

Голландии). Наши вычисления показали, что скорость вращения этого пульсара всего лишь примерно в два раза меньше значения, при котором он должен разорваться на части под действием центробежных сил. Было ясно, что эта нейтронная звезда, когда она родилась, не могла вращаться намного быстрее и, следовательно, не могла существенно затормозиться.

ОДНАКО статистический анализ однозначно приводит к заключению, что сверхбыстрый пульсар 1937+214, несмотря на его высокую скорость вращения, вероятно, является очень древним объектом. Другими словами, он, по-видимому, образовался в процессе длительной эволюции, а не во время взрыва сверхновой.

Статистический анализ в данном случае состоит в исследовании скорости, с которой радиопульсар тормозится. При этом основная закономерность состоит в следующем: чем короче период пульсара, тем быстрее увеличивается его продолжительность, и наоборот — чем длиннее период, тем меньше его увеличение. По этой причине медленных пульсаров должно быть больше, чем быстрых. Обнаружение пульсара 1937+214 с пе-

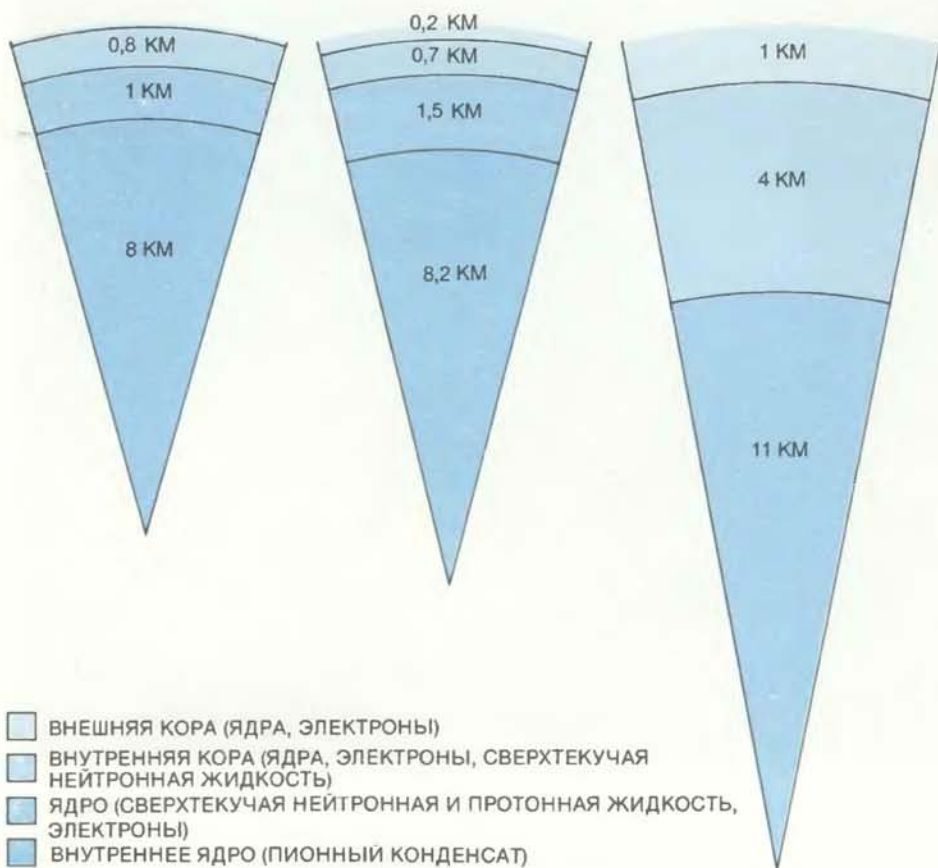
риодом 1,5 мс, если не считать его исключением, означает, что при постоянной скорости рождения должно существовать много пульсаров с периодом от 10 до 30 мс. Однако, несмотря на довольно интенсивные поиски, такие пульсары не были обнаружены. Более того, выяснилось, что, хотя пульсар 1937+214 имеет очень короткий период, его длительность почти не увеличивается. Почему же этот пульсар продолжает вращаться так быстро?

Для объяснения причины расхождения между теорией и наблюдениями мы использовали тот факт, что скорость торможения пульсара зависит также от напряженности магнитного поля на поверхности нейтронной звезды. Чем сильнее магнитное поле, тем больше энергии излучает пульсар и тем быстрее он будет тормозиться. Типичная нейтронная звезда имеет магнитное поле напряженностью около триллиона гаусс — примерно в 100 млн. раз более сильное, чем поле, создаваемое мощным электромагнитом. Мы показали, что если пульсар с периодом 1,5 мс имеет в 1000 раз более слабое поле (около миллиарда гаусс), то время, необходимое для увеличения периода до 10 мс, может быть сравнимо с возрастом Вселенной. Это позволяет объяснить, почему не обнаружено ни одного пульсара с периодом в диапазоне от 10 до 30 мс: они еще не успели замедлить свое вращение.

Простые вычисления показывают также, что если магнитное поле пульсара относительно слабое, то нейтронная звезда может даже «выключиться», т. е. прекратить излучение, прежде чем она сможет существенно замедлить свое вращение. Обычный пульсар, который имеет магнитное поле порядка триллиона гаусс, «выключается», когда скорость вращения становится ниже одного оборота в секунду. Однако пульсар с полем 100 млн. гаусс должен «выключаться», когда скорость вращения падает ниже одного оборота за 10 мс. Другими словами, если даже период пульсара, обладающего слабым магнитным полем, каким-то образом увеличится до 10 мс, то обнаружить такой пульсар в любом случае не удастся.

Учет всех этих соображений позволяет сделать интересный вывод: открытие пульсара 1937+214 означает, что должен существовать новый класс радиопульсаров со слабым магнитным полем на поверхности, причем объекты этого класса сильно отличаются от обычных радиопульсаров.

Этот вывод избавил нас от больших затруднений. Наблюдения излучения от пульсара 1937+214 и его

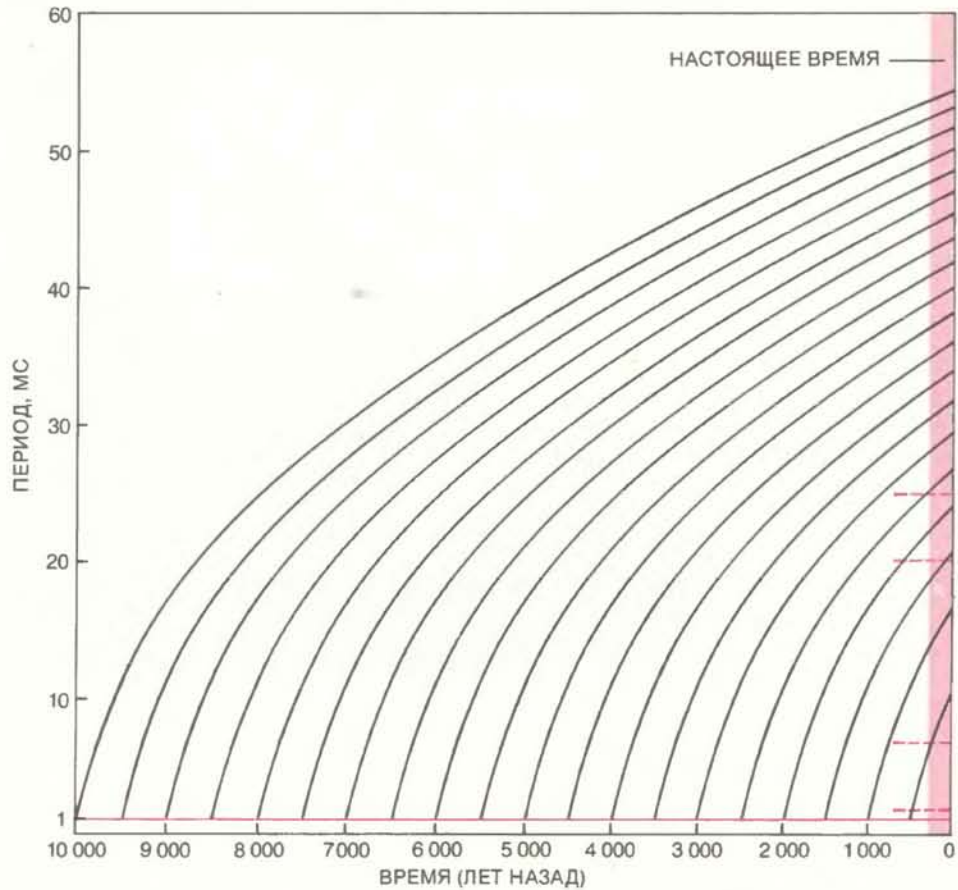


НЕЙТРОННАЯ ЗВЕЗДА показана в сечении согласно трем теоретическим моделям. Нейтронная звезда состоит из нейтронов и протонов, «упакованных» теснее, чем в обычном ядерном веществе, плотность которого приблизительно в 10 млн. раз выше плотности свинца. Изображенная звезда имеет массу 1,4 массы Солнца, однако ее радиус составляет всего 10—16 км.

окрестностей свидетельствуют, что он теряет сравнительно мало энергии. Но если бы обычный пульсар, имеющий сильное магнитное поле, вращался так же быстро, как объект 1937+214, то характерное время его торможения (время, необходимое для увеличения периода вдвое) составляло бы всего несколько лет. Такая нейтронная звезда излучала бы огромное количество энергии и по светимости в несколько миллионов раз превосходила бы пульсар в Крабовидной туманности. По нашим оценкам, согласующимся с данными наблюдений, пульсар 1937+214 благодаря малой величине собственного магнитного поля имеет характерное время торможения около миллиарда лет, а его потери энергии приблизительно в 100 млн. раз меньше. Таким образом, наша теория позволяет успешно объяснить природу этого огромного различия.

ЗАТЕМ мы столкнулись с новой проблемой. Как мог возникнуть пульсар со слабым магнитным полем? По случайному совпадению примерно за две недели до того, как мы узнали о быстром вращении пульсара 1937+214, наше внимание привлекла новая работа Р. Блэндфорда из Калифорнийского технологического института, Дж. Эпплгейта из Колумбийского университета и Л. Хирнквиста из Калифорнийского университета в Беркли. Они показали, что если пульсар образуется при температуре, превышающей 100 млн. кельвинов (уровень, который ниже характерной температуры вспышки сверхновой), то он приобретает сильное магнитное поле. Вывод из результатов этого исследования был ясен: пульсар 1937+214 родился «холодным» (при температурах ниже 100 млн. кельвинов), а это означает, что он не мог возникнуть при вспышке сверхновой. Почему? Потому что «горячее» рождение приводит к сильному магнитному полю и быстрому замедлению вращения; образование пульсара с периодом 1,5 мс и слабым магнитным полем в таких условиях невозможно.

Единственный известный механизм, под действием которого холодная нейтронная звезда может быстро «раскрутиться», — это аккреция медленно вращающегося вокруг нее вещества. Принцип этого явления знаком каждому, кто видел, как конькобежец-фигурист достигает высокой скорости вращения. Вначале он вращается медленно, раскинув руки в стороны, а затем прижимает их к себе, что приводит к увеличению скорости вращения. Для действия аналогичного механизма в случае нейтрон-

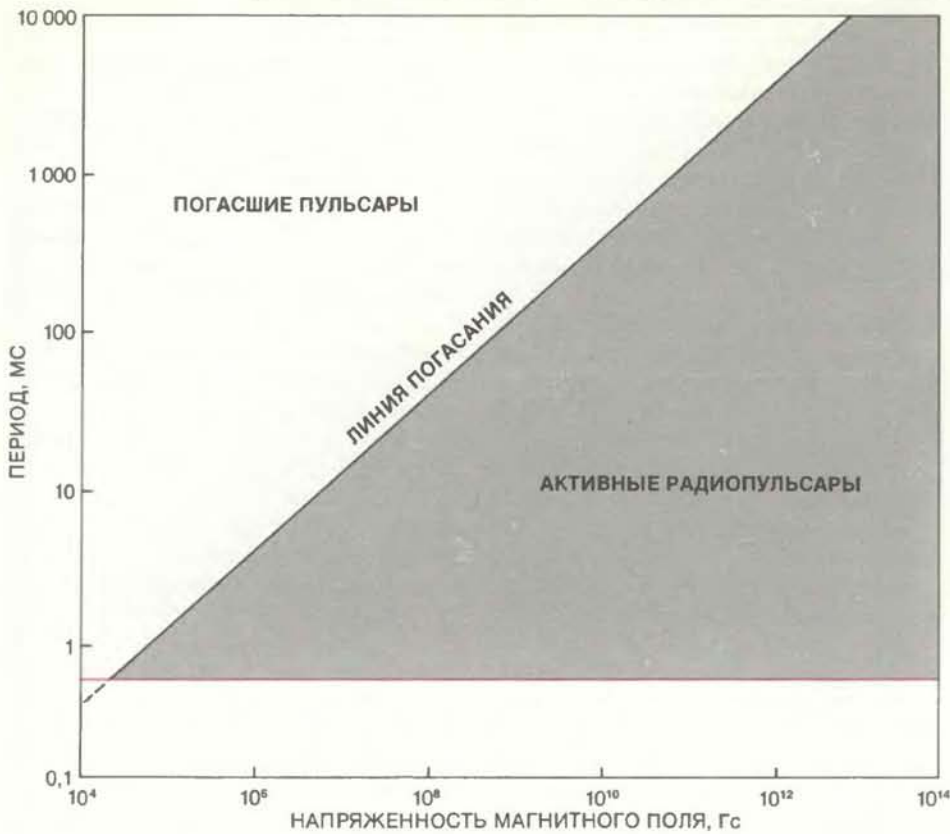


СТАТИСТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ показывают, что миллисекундный пульсар 1937+214 должен иметь магнитное поле, намного более слабое, чем поле обычного пульсара. График, построенный на основе предположения, что миллисекундный пульсар обладает полем напряженностью около триллиона гаусс, иллюстрирует эволюционные треки для семейства миллисекундных пульсаров (*черные кривые*). Одинаковое расстояние между кривыми отражает предположение, что скорость рождения пульсаров сравнительно постоянна. По мере старения пульсара его период становится больше — пульсар тормозится. В общем период пульсара изменяется приблизительно со скоростью, которая обратно пропорциональна значению периода. Другими словами, чем короче период пульсара, тем больше он тормозится, и наоборот, чем длиннее период, тем меньше торможение. Вследствие этого существование миллисекундного пульсара (*нижние штриховые отрезки*) означает, что должно существовать несколько пульсаров с периодом около 20 мс (*верхние штриховые отрезки*). Однако такие пульсары не обнаружены. Это расхождение можно объяснить, если предположить, что миллисекундные пульсары имеют слабые магнитные поля напряженностью порядка миллиарда гаусс. Поскольку эти поля слабее, чем у обычных пульсаров, миллисекундные пульсары излучают меньше энергии, и для увеличения их периода до 10 мс может потребоваться время, сравнимое с возрастом Вселенной. Они могут также «выключаться», т. е. прекращать излучение до того, как период станет равным 10 мс.

ной звезды необходимо, чтобы темп аккреции был низким. В противном случае звезда «перегреется», а магнитное поле станет слишком сильным. Следовательно, образование пульсара 1937+214 должно было происходить в течение длительного интервала времени, составляющего по крайней мере 10 млн. лет или, вероятнее всего, около миллиарда лет.

Эволюция под воздействием медленной аккреции могла протекать по одному из двух сценариев. Согласно первому из них, звезда, называемая белым карликом (которая имеет такую же массу, как нейтронная звезда, но ее радиус в 1000 раз больше), аккре-

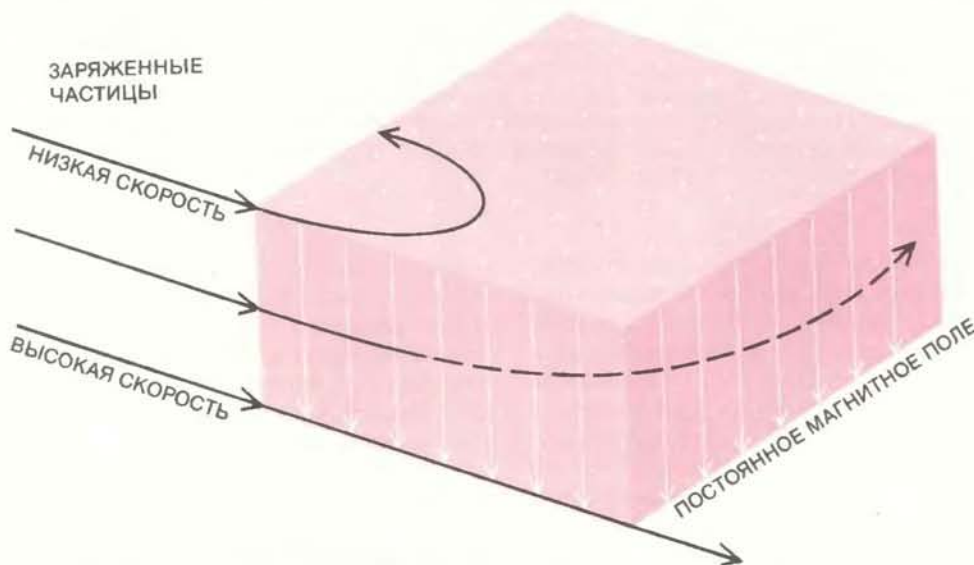
цирует вещество, перетекающее от звезды-компаньона, которая вместе с белым карликом обращается вокруг общего центра масс. В результате накопления этого вещества белый карлик сжимается, превращаясь в нейтронную звезду. Если сжатие происходит достаточно медленно, то нейтронная звезда может постепенно «раскрутиться» и стать миллисекундным пульсаром. По мере продолжения аккреции вещества, перетекающего от звезды-компаньона, скорость вращения нейтронной звезды увеличивается, пока не достигается равновесное значение периода следования импульсов.



РАДИОПУЛЬСАРЫ «выключаются», когда магнитное поле на их поверхности становится слишком слабым или когда период вращения слишком увеличивается. Диаграмма показывает границу между активными и «погасшими» пульсарами в зависимости от величины поля и периода. Поскольку нейтронная звезда должна разрываться, если период вращения становится короче 1 мс, напряженность поля на поверхности активного пульсара должна составлять по крайней мере 100 000 Гс (приблизительно в 10 раз больше поля мощного электромагнита).

Согласно второму сценарию, нейтронная звезда образуется обычным путем (в результате вспышки сверхновой) и ведет себя как типичный пульсар. Приблизительно через

10 млн. лет электрические токи в коре нейтронной звезды в основном затухают и магнитное поле значительно ослабевает. Если такой «мертвый» пульсар входит в состав тесной двой-



ЗАРЯЖЕННАЯ ЧАСТИЦА при движении в направлении, перпендикулярном магнитному полю, отклоняется силой Лоренца таким образом, что «стремится» опisać окружность. Пока магнитное поле слабое и частица имеет высокую скорость, отклонение незначительно (внизу). По мере того как отношение напряженности поля к скорости растет, отклонение увеличивается (в середине), и, наконец, под воздействием поля частица начинает двигаться в обратном направлении (вверху).

ной системы, то он может, медленно аккрецируя вещество, перетекающее от звезды-компаньона, постепенно ускорить свое вращение и «воскреснуть», т. е. начать новый цикл активного существования. В соответствии с обоими сценариями звезда-компаньон должна была исчезнуть в результате потери массы, поскольку в окрестности объекта 1937+214 никаких звезд не обнаружено.

Оба рассмотренных сценария предусматривают действие фактора, который гарантирует, что аккреция не будет слишком быстрой. Когда падающие электроны, атомы и молекулы сталкиваются с поверхностью нейтронной звезды, часть их энергии преобразуется в свет и другие виды электромагнитного излучения. Выходя наружу, излучение взаимодействует с падающими электронами, атомами и молекулами. Поскольку излучение обладает импульсом, оно оказывает давление на падающее вещество. Это давление направлено наружу и, следовательно, противодействует силе гравитационного притяжения, создаваемого нейтронной звездой.

При достаточно высоком темпе аккреции ($6 \cdot 10^{17}$ г/с, или 10^{-8} масс Солнца в год) давление излучения становится таким сильным, что уравновешивает гравитационное притяжение, и темп аккреции уже не увеличивается. Значение светимости, соответствующее темпу аккреции, при котором эти две силы взаимно уравновешиваются, называют пределом Эддингтона (по имени английского астронома сэра Артура Эддингтона). Предел Эддингтона означает, что любой процесс аккреции на нейтронную звезду регулируется своеобразным «встроенным термостатом», который не допускает слишком большого повышения темпа аккреции. В то же время при достаточном количестве аккрецируемого вещества темп аккреции не становится и слишком низким. Такой «термостат» как будто специально предназначен для образования миллисекундных пульсаров, поскольку ограничение темпа аккреции означает ограничение температуры нейтронной звезды уровнем не выше 100 млн. кельвин.

Известно, что процесс регулируемой аккреции играет важную роль при образовании компактных рентгеновских источников — небольших вращающихся нейтронных звезд, которые испускают рентгеновское излучение. Одним из типов компактных рентгеновских источников являются так называемые маломассивные рентгеновские двойные системы, в которых нейтронная звезда аккрецирует вещество, поступающее от карликовой звезды-компаньона. Аккре-

ция может продолжаться в течение 100 млн. лет и более.

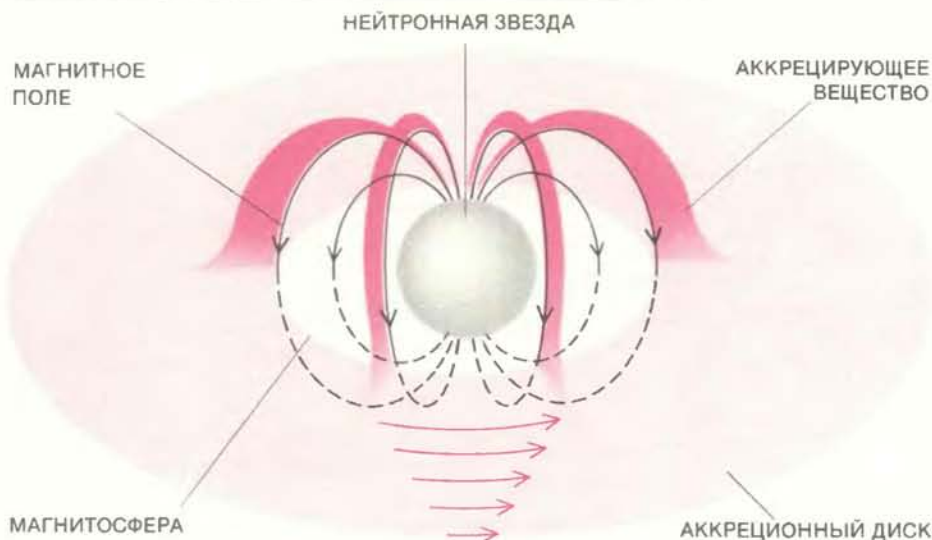
ЕСЛИ ПРИНЯТЬ во внимание столь большую продолжительность периода аккреции в маломассивных рентгеновских двойных, то возникает интересный вопрос: могут ли они быть предшественниками миллисекундных пульсаров? По нашему мнению, обязательно должны быть. Оба рассмотренных нами сценария, как с белым карликом, так и с «мертвым» пульсаром, предполагают длительное существование двойной системы с аккрецией, а единственный известный кандидат в такие объекты — это маломассивная рентгеновская двойная.

Статистические соображения, по-видимому, свидетельствуют в пользу идеи, что маломассивные рентгеновские двойные являются предшественниками миллисекундных пульсаров. Чтобы эта аргументация стала более наглядной, обсудим вначале простую задачу. Предположим, что все люди живут до 80 лет. Людей возрастом 10 лет и меньше будем считать детьми, а остальных — взрослыми. Каким будет среднее отношение числа взрослых к числу детей? Ясно, что на каждого ребенка будет приходиться семь взрослых, потому что время «взрослой» жизни в семь раз больше, чем время детства.

Возвращаясь к звездам, напомним, что миллисекундные пульсары («взрослые») должны жить очень долго до своего «выключения». Для данного случая предположим, что время их жизни составляет около 20 млрд. лет, т. е. равно возрасту Вселенной. Согласно оценкам, маломассивные рентгеновские двойные («дети») живут относительно мало по сравнению с миллисекундными пульсарами — около 100 млн. лет. На этот раз статистика показывает, что отношение числа миллисекундных пульсаров к числу маломассивных рентгеновских двойных должно составлять 20 млрд. к 100 млн., или 200 к 1.

Этот вывод согласуется с данными наблюдений. Как упоминалось выше, пока открыто всего три миллисекундных пульсара. Их обнаружение, безусловно, будет продолжаться, и поэтому разумно полагать, что в нашей Галактике, по-видимому, существует несколько тысяч таких объектов. (С Земли можно обнаружить только достаточно близкие пульсары.) Следовательно, можно было бы рассчитывать на обнаружение в Галактике нескольких десятков маломассивных рентгеновских двойных, что и соответствует реальной ситуации.

Рассмотренные выше статистические оценки дают основания для опти-



АККРЕЦИЯ ВЕЩЕСТВА на нейтронную звезду происходит главным образом в области полярных шапок, поскольку именно здесь сходится большинство силовых линий магнитного поля. Заряженные частицы, движущиеся параллельно силовым линиям, не отклоняются полем и поэтому проявляют тенденцию к накоплению вблизи полюсов. В то же время заряженные частицы, которые движутся перпендикулярно полю, отклоняются, хотя столкновения с другими поступающими к звезде частицами не позволяют им изменить направление движения на обратное. Расстояние до точки на поверхности, где эти частицы останавливаются, называют радиусом магнитосферы. В области внутри этой поверхности — магнитосфере — частицы движутся в основном вдоль силовых линий магнитного поля и вращаются вместе со звездой.

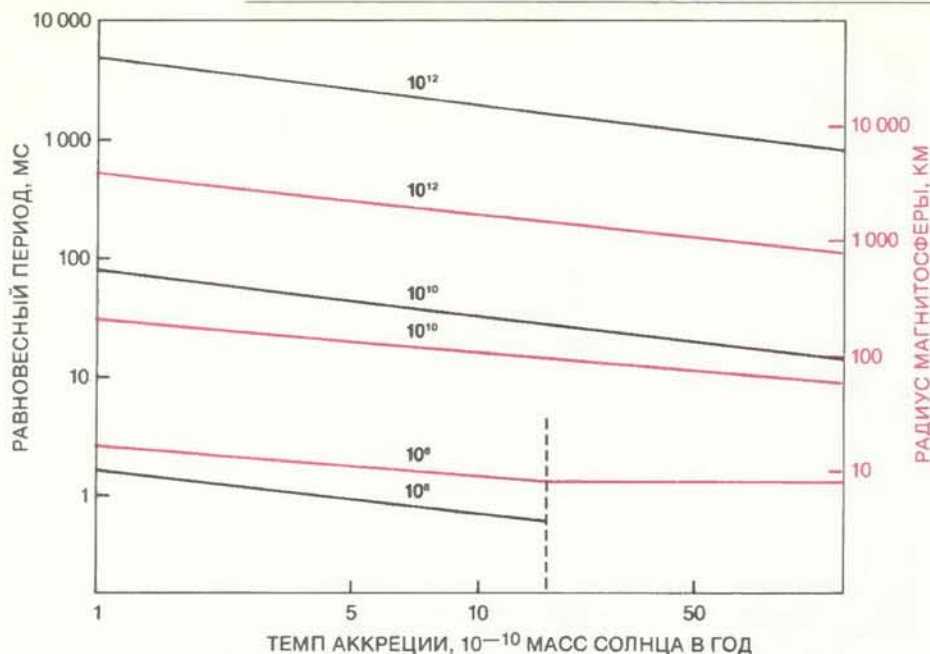
мизма, но, возможно, более важно то, что на основе фундаментальных физических принципов нам удалось построить модель, которая точно предсказывает, насколько быстро должна изменяться скорость вращения пульсара 1937+214. Согласно нашей теории, этот объект представляет собой «воскресший» радиопульсар. Начав свою эволюцию в составе двойной системы, нейтронная звезда под воздействием аккреции приобрела высокую скорость вращения. Когда аккреция прекратилась, эта скорость оказалась достаточно высокой для того, чтобы нейтронная звезда стала радиопульсаром, несмотря на ее относительно слабое магнитное поле. Мы определили, что период радиопульсара 1937+214 должен увеличиваться со скоростью 10^{-20} – 10^{-19} с за секунду. Это значение на много порядков величины меньше, чем для любого быстрого пульсара, известного до 1982 г. Наше предположение подтвердилось: измеренное значение скорости увеличения периода составляет $1,24 \cdot 10^{-19}$ с за секунду с ошибкой $0,25 \cdot 10^{-19}$ с за секунду.

ОДНАКО тайна объекта 1937+214 еще не раскрыта до конца. В частности, если пульсар «раскручивается» под воздействием аккреции, то куда исчезает звезда-компаньон? Этот вопрос приобрел новую остроту в 1983 г., когда был открыт пульсар 1953+29 с периодом 6,133 мс. Его обнаружили В. Борякофф из Корнелл-

ского университета, Р. Буччери из Национального комитета по научным исследованиям Италии и Ф. Фауни из Университета г. Палермо. Оказалось, что у пульсара 1953+29 все же есть звезда-компаньон.

Вскоре после этого открытия Гелфанд, Рудерман и автор данной статьи попытались выяснить, почему пульсар 1953+29 входит в состав двойной системы, а 1937+214 является одиночным объектом. Мы обратили внимание на тот факт, что маломассивные рентгеновские двойные разделяются на два типа: звезды повышенной светимости и звезды низкой светимости. Природу двойных первого типа можно понять, предполагая, что «нормальная» звезда — компонент двойной системы — «раздувается», становясь красным гигантом, и теряет вещество внешней оболочки, которое перетекает к другому компоненту — нейтронной звезде. Рентгеновские двойные второго типа в отличие от рассмотренных могут возникать, когда два компонента двойной системы сближаются, теряя энергию орбитального движения при излучении гравитационных волн.

В течение последних пяти лет ряд исследователей показали, что результатом эволюции маломассивной рентгеновской двойной повышенной светимости может быть только двойная система, состоящая из пульсара и остатка «нормальной» звезды. (Среди этих ученых П. Джосс и С. Раппапорт из Массачусетского технологи-



РАВНОВЕСНЫЙ ПЕРИОД И РАДИУС МАГНИТОСФЕРЫ, представленные как функции темпа аккреции при различной напряженности магнитного поля. Равновесным называется период, с которым вращается вещество в точке, соответствующей радиусу магнитосферы. Вычисления выполнены для нейтронной звезды массой 1,4 масс Солнца.

ческого института, Э. ван ден Хевел и Г. Савоньи из Астрономического института в Амстердаме, Р. Таам из Северо-западного университета и Р. Уэбинк из Иллинойского университета.) Поэтому мы высказали предположение, что пульсар 1953+29, возможно, начал свою эволюцию как маломассивная рентгеновская двойная повышенной светимости, а 1937+214 — как двойная низкой светимости.

Ситуация осложнилась в 1986 г., когда Д. Сегелстейн, Л. Роли, Р. Стайнбрин, А. Фручтер и Дж. Тейлор из Принстонского университета открыли пульсар 1855+09 с периодом 5,362 мс. Он также является компонентом двойной системы. По-видимому, эволюция пульсаров 1855+09 и 1953+29 проходила одинаково и сходна с пятью другими пульсарами, которые входят в двойные системы и, хотя не относятся к «сверхбыстрым», имеют периоды в несколько десятков миллисекунд. Пульсар 1937+214, не имеющий звезды-компаньона, представляет исключение. Предложено несколько сценариев, позволяющих объяснить исчезновение звезды-компаньона. (В одном из них предполагается, что пульсар относительно молодой — его возраст около миллиона лет.) Однако в настоящее время ни одно из объяснений нельзя считать полностью удовлетворительным, и поиски продолжаются.

НАИБОЛЕЕ важным недостающим звеном в нашем рассказе был и остается тот факт, что ни у одной из наблюдаемых маломассивных рентгеновских двойных, по-видимому, пока не обнаружено признаков, позволяющих отождествить один из ее двух компонентов со сверхбыстрой нейтронной звездой. Если маломассивная рентгеновская двойная должна породить сверхбыстрый пульсар, то можно было бы ожидать, что она содержит нейтронную звезду, вращающуюся с периодом в несколько миллисекунд. Почему же такая периодичность не наблюдается?

Здесь возможно несколько объяснений. Наиболее приемлемое из них основано на том факте, что любая нейтронная звезда, обнаруженная в составе маломассивной рентгеновской двойной, вероятно, должна быть очень старой. Следовательно, ее магнитное поле будет «реликтом» сильного поля более ранней эпохи, а именно такие условия необходимы для образования миллисекундного пульсара под воздействием процесса аккреции. Д. Эйклер и Ж. Уонг из Мэрилендского университета в Колледж-Парке показали, что напряженность реликтового магнитного поля сильно зависит от положения на поверхности звезды. В то время как у обычной нейтронной звезды имеются два замагниченных рентгеновских горячих пятна (полярные шапки, которые испускают рент-

геновское излучение), старая нейтронная звезда может иметь на своей поверхности множество рентгеновских горячих пятен.

Если такая звезда вращается и на нее направлен рентгеновский телескоп, то горячие пятна будут проявляться в виде изменений интенсивности рентгеновского излучения. Однако эти изменения не будут очень сильными или резкими; они будут выглядеть как случайные мерцания на гораздо более высоких частотах. Хотя картина изменений интенсивности будет повторяться с каждым оборотом звезды, она окажется настолько «смазанной», что период, а следовательно, и само наличие нейтронной звезды невозможно будет зарегистрировать на фоне нерегулярных изменений рентгеновского потока от этого источника.

Другие эффекты также могут затруднить обнаружение предполагаемого вращения нейтронной звезды. Аккрецируемое нейтронной звездой вещество, перетекающее от звезды-компаньона, может рассеивать рентгеновское излучение горячих пятен, тем самым снижая степень модуляции интенсивности излучения. К тому же нейтронная звезда, вероятно, действует как «гравитационная линза»; она искривляет рентгеновские лучи, еще более уменьшая степень модуляции.

Хотя все изложенные соображения достаточно убедительны, наилучшим аргументом было бы реальное обнаружение вращающейся нейтронной звезды в маломассивной рентгеновской двойной. В 1983 г. Европейское космическое агентство вывело на околоземную орбиту спутник EXOSAT — орбитальную рентгеновскую обсерваторию. Один из экспериментов, выполненных на этом спутнике, состоял в поиске очень коротких периодов в вариациях потока рентгеновского излучения от маломассивных рентгеновских двойных. Хотя четкого единого периода не было обнаружено, у галактического источника, обозначенного GX5-1, были выявлены квазипериодические «всплески». Время между этими «всплесками» изменялось от 25 до 50 мс.

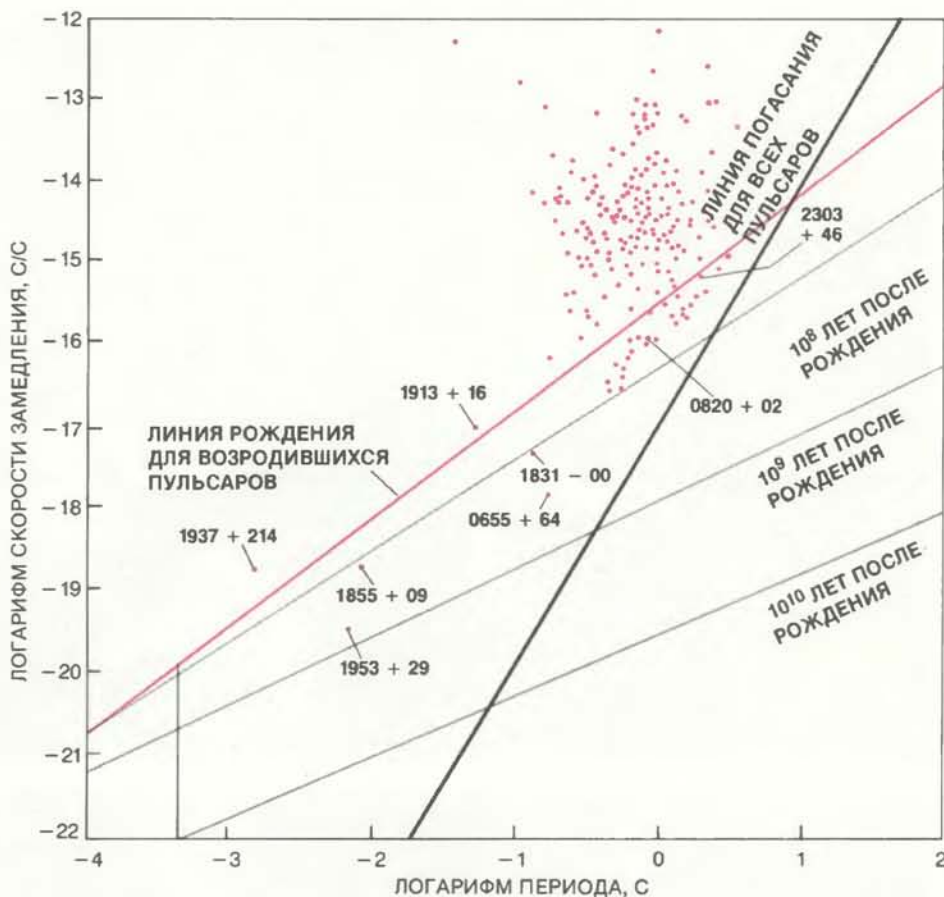
Такая квазипериодичность обладает некоторыми необычными свойствами. Сообщение о ней, появившееся сначала в циркуляре Международного астрономического союза № 4043 от 13 марта 1985 г., а затем в журнале «Nature», было сделано М. ван дер Клисом из Европейского космического агентства и его коллегами (Ф. Янсенем из Лаборатории космических исследований, Дж. ван Парадейсом и М. Стаино из Астрономического ин-

ститута в Амстердаме, И. Трюмпером из Института физики и астрономии им. Макса Планка в Мюнхене и У. Левинном из Массачусетского технологического института). Во-первых, квазипериодичность не постоянна и проявляет значительную изменчивость. Наиболее сильный квазипериодический сигнал соответствует самым большим из наблюдаемых квазипериодов, а по мере уменьшения квазипериода величина сигнала систематически снижается. Самая загадочная особенность этого явления состоит в том, что полная светимость источника GX5-1 непосредственно коррелирует с периодом: чем короче период, тем больше яркость источника.

За несколько недель до появления публикации в циркуляре Международного астрономического союза мне позвонил Алпар, находившийся тогда в Иллинойсе, и сообщил о ее содержании. Один из его европейских друзей присутствовал на семинаре, посвященном результатам наблюдений источника GX5-1, о которых стало быстро известно. Несмотря на необычность этих данных, они казались вполне надежными, и мы знали, что в них содержится важное недостающее звено нашего описания сверхбыстрых пульсаров. Началась напряженная работа по созданию модели, позволяющей объяснить эти новые результаты.

Согласно нашей модели, квазипериодичность порождается веществом, которое обращается вокруг нейтронной звезды и «зацепляется» за ее магнитное поле, вращающееся вместе со звездой. Всплески происходят с частотой, равной разности частот вращения нейтронной звезды и обращения аккрецируемого вещества по орбитам вокруг нее. Вследствие разброса значений частоты, характерного для вещества, обращающегося вокруг звезды, наблюдается квазипериодичность, а не строго периодическое изменение. Согласно проведенному нами анализу, объект GX5-1 должен иметь период вращения от 6 до 10 мс, а напряженность магнитного поля на его поверхности должна составлять приблизительно миллиард гаусс. Обе характеристики хорошо соответствовали значениям, полученным для пульсара 1953+29, который входит в двойную систему.

Итак, новость оказалась поистине замечательной. Наконец-то было получено четкое свидетельство миллисекундной периодичности для активного маломассивного рентгеновского источника. Картина образования миллисекундных пульсаров представлялась теперь полной.



НАБЛЮДАЕМЫЕ СКОРОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ различных пульсаров представлены в зависимости от наблюдаемых периодов. Большинство точек, обозначающих пульсары, находятся в правом верхнем углу диаграммы. Они представляют стандартный класс обычных пульсаров, возникших во время вспышки сверхновой. По мере старения пульсары перемещаются на диаграмме вниз и вправо, пока не достигают «линии погасания» (см. рисунок вверху на с. 26). Шесть из открытых пульсаров располагаются за пределами основной группы. Они (как и два других пульсара, попавших в основную группу) принадлежат новому классу пульсаров, «раскрутившихся» под воздействием процесса медленной аккреции. Все члены этого класса, обозначения которых приведены на диаграмме, расположены выше «линии погасания». За исключением пульсара 1937+214, они являются компонентами двойных систем. Цветная и серые диагональные прямые отмечают разные стадии жизни пульсаров, «раскрутившихся» под воздействием аккреции с темпом 10^{-9} масс Солнца в год. Вертикальным отрезком показан самый короткий период, с которым может вращаться нейтронная звезда, не разрываясь на части.

ОТКРЫТИЕ квазипериодического рентгеновского источника GX5-1, который стали называть квазипериодическим осциллятором, свергло рентгеновскую астрономию в настоящую бурю. На сегодня обнаружено уже более 10 квазипериодических осцилляторов. У семи из них выявлены короткие периоды (от 25 до 250 мс), причем все семь связаны с маломассивными рентгеновскими двойными системами высокой светимости. Вместо четкого интерпретируемого поведения объекта GX5-1 теперь мы имеем дело с огромным разнообразием явлений, наблюдаемых в других квазипериодических осцилляторах. В ближайшие годы это, безусловно, будет стимулировать дальнейшие дискуссии и создание моделей квази-

периодических осцилляторов и миллисекундных пульсаров.

Очень многое еще предстоит сделать. Однако уже сейчас проступают контуры удивительной картины возрождения сверхбыстрых долгоживущих пульсаров из древних нейтронных звезд. Эта картина обрисовывает новые перспективы развития для некоторых самых старых звездных систем в нашей Галактике. Изучение пульсаров уже привело к появлению свежих идей в таких областях физики, как исследования элементарных частиц, ядра, твердого тела, плазмы, сверхтекучести, а также в теории электромагнетизма и общей теории относительности. Теперь самые старые пульсары проливают свет на эволюцию Галактики.



ПЕСТРЫЕ ХРОМОСОМЫ — свидетельство реципрокного обмена ДНК между сестринскими хроматидами (во время деления клетки хромосома состоит из двух идентичных нитей, называемых хроматидами). Для получения этих изображений хромосомы были химически обработаны таким образом, что при окраске флуоресцентным красителем одна из сестринских хроматид светится ярче, чем другая (*вверху*). Агент, повреждающий ДНК, стимулирует мно-

жественный обмен (*внизу*). Это аналогично рекомбинации в том отношении, что размер хроматид сохраняется, т. е. количество генетической информации в них не изменяется. Но при рекомбинации обмен ДНК происходит между гомологичными хромосомами, которые неидентичны, поэтому возникают новые сочетания признаков. Обмен же между сестринскими хроматидами не имеет генетического эффекта. (Изображения предоставлены Ш. Уолффом.)

Генетическая рекомбинация

Воспроизведению организма часто предшествует перетасовка его генетической информации.

Хромосомы обмениваются друг с другом участками в процессе рекомбинации, сложный молекулярный механизм которой мы начинаем понимать

ФРАНКЛИН У. СТАЛЬ

ДЛЯ УСПЕШНОГО воспроизведения живому организму необходимо передать потомкам точную копию своей генетической информации. Как ни странно, важная роль в воспроизведении принадлежит перетасовке части этой информации между различными структурами, в которых она заключена, до передачи ее следующему поколению. Генетическая информация хранится в хромосомах — гигантских молекулах двуспиральной ДНК, в которых она закодирована последовательностью нуклеотидов. Перетасовка информации называется генетической рекомбинацией.

Задолго до 1953 г., когда Дж. Уотсон и Ф. Крик раскрыли молекулярную основу наследственности — структуру двойной спирали ДНК, было известно, что непосредственное генетическое окружение индивидуальных генов — единиц генетической информации — может меняться. Так, два признака, которые у данной особи определялись одной хромосомой, у ее потомства иногда оказываются связанными с разными хромосомами. Это явление столь закономерно, что измерение частоты, с которой те или иные два гена данной хромосомы передаются потомству совместно, стало стандартным способом оценки их физической удаленности друг от друга: чем ближе расположены гены, тем больше вероятность их совместной передачи.

Однако без системы понятий, фундамент которой заложили Уотсон и Крик, невозможно было даже поставить вопрос о том, каким же образом осуществляется перетасовка генетической информации. В настоящее время, более 30 лет спустя, исследования рекомбинации у наиболее простых организмов — вирусов и бактерий — позволили выявить некоторые из запутанных и вместе с тем изящных путей этого процесса.

Можно думать, что аналогичные механизмы действуют и у других ор-

ганизмов, в том числе у человека; генетическая рекомбинация, как и ДНК, является по существу универсальной. У сложных организмов перетасовка генетической информации происходит обычно во время мейоза — процесса клеточного деления, при котором образуются половые клетки (мужские или женские), содержащие в два раза меньше хромосом, чем прочие клетки организма — соматические.

В клетках — предшественниках половых клеток, как и в клетках других тканей организма, содержится двойной набор хромосом: каждой хромосоме имеется гомологичная ей хромосома, которая несет почти идентичную генетическую информацию. (Один набор хромосом поступает из половой клетки отца, второй — от матери). В ходе мейоза гомологичные хромосомы образуют пары и в каждой паре происходит рекомбинация: парные хромосомы обмениваются участками. В результате обмена размер хромосом не изменяется, так что ни одна из них не утрачивает даже части своей генетической информации. Но каждый из тех одиночных наборов хромосом, которые получают дочерние половые клетки, содержит смешанную информацию — из обоих исходных родительских наборов.

Зачем нужна рекомбинация?

Гомологичные хромосомы не идентичны. По-видимому, именно поэтому так важна генетическая рекомбинация. Наборы генов, содержащихся в гомологичных хромосомах, очень близки. Гены, как теперь установлено, представляют собой последовательности нуклеотидов, кодирующие молекулы (обычно белки), которые и определяют форму и функции организма. Однако вследствие мутаций, которые накапливались со временем у данного вида, две копии гена могут

различаться одним или более нуклеотидами и определять поэтому альтернативные признаки. В хромосоме может отсутствовать фрагмент гена или даже целый ген; ген может быть разделен на части последовательностью посторонней ДНК. Рекомбинация означает, что в хромосоме половой клетки могут содержаться не только те сочетания мутаций, которые имеются в родительских хромосомах, но и любые комбинации этих мутаций. Число комбинаций признаков, которые могут быть переданы потомству, практически бесконечно.

Следуя теории Дарвина, приходишь к заключению, что по этой причине и развилась способность к генетической рекомбинации. В условиях постоянно изменяющейся окружающей среды возможность передавать потомству различные комбинации признаков должна обеспечивать организму селективное преимущество (т. е. преимущество в процессе естественного отбора): она повышает вероятность того, что по крайней мере один потомок будет обладать тем самым набором признаков, который необходим, чтобы выжить и размножиться. Другие эволюционисты утверждают, что чаще всего рекомбинация влечет за собой селективный ущерб. В самом деле, комбинация признаков, имеющаяся в родительских хромосомах, по определению адаптивна, поскольку организм с этими признаками преуспел в размножении. И если внешние условия изменяются медленно, наиболее выгодно поддерживать неизменным генетическое наследие, а не перетасовывать его. Согласно такой аргументации, генетическая рекомбинация продолжает существовать только потому, что служит какой-то иной цели. Например, есть указания на то, что процесс рекомбинации — это одно из проявлений механизма репарации ДНК: клетка с высокой точностью реконструирует поврежденную хромосому, восполняя недостающую ин-

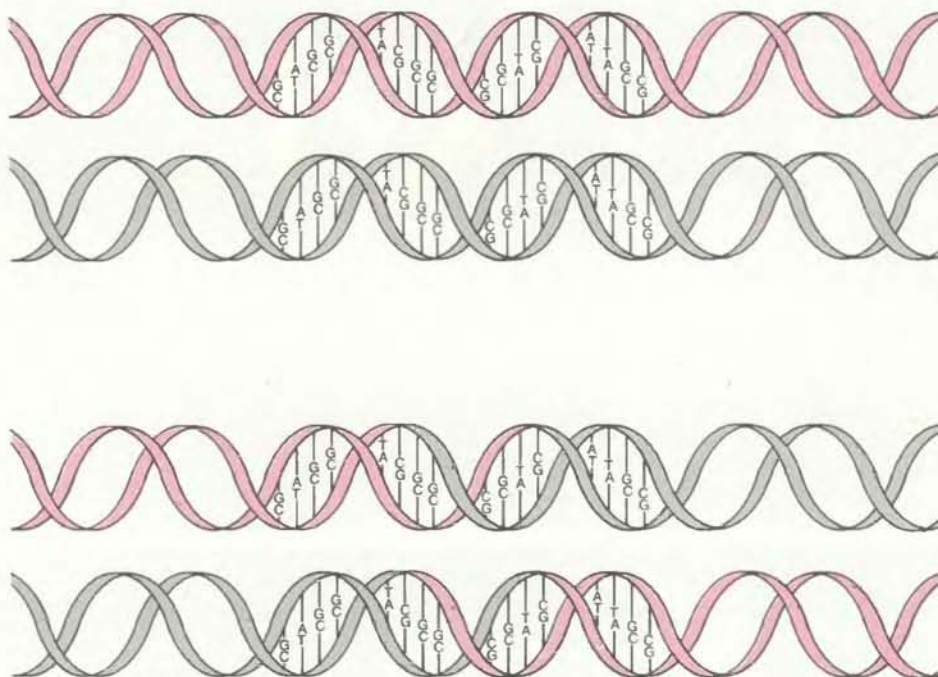
формацию за счет интактной гомологичной хромосомы.

Модель структуры ДНК, предложенная Уотсоном и Криком, позволяет объяснить точность, с которой осуществляется обмен информацией между рекомбинирующими хромосо-

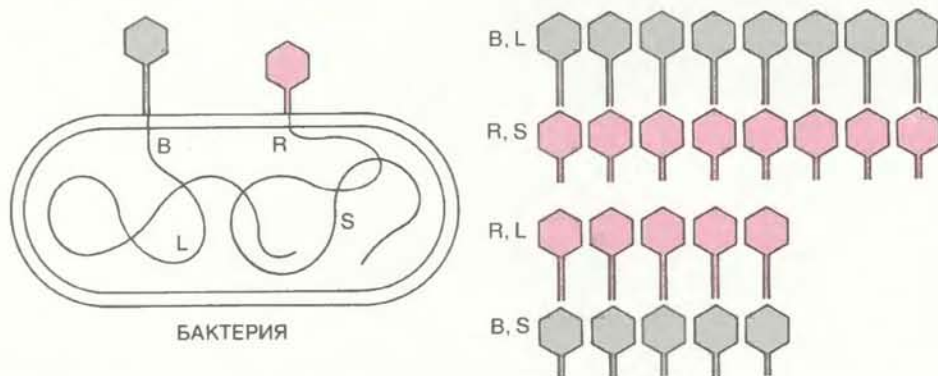
мами. В двухцепочечной молекуле ДНК противолежащие нуклеотиды разных цепей имеют комплементарные основания, поэтому порядок нуклеотидов в одной цепи определяет их порядок в другой. И если во время рекомбинации в одной хромосоме появ-

ляется участок одноцепочечной ДНК, этот сегмент способен узнать соответствующую последовательность в другой хромосоме посредством комплементарного спаривания оснований.

Каким образом одиночная цепь ДНК, экспонированная в одной хромосоме, находит нужный участок в гомологичной хромосоме? Какие процессы приводят к разрывам и воссоединению цепей ДНК взаимодействующих хромосом, в результате чего восстанавливается целостность одной или двух рекомбинантных хромосом, в каждой из которых оказывается новая по сравнению с исходными комбинация мутаций, содержащихся в исходных хромосомах? На эти вопросы и стремились ответить исследователи, в том числе я, разрабатывая молекулярные модели рекомбинации.



РЕКОМБИНАЦИЯ двух хромосом может быть представлена как обмен участками между двумя двухцепочечными молекулами ДНК. Рекомбинация происходит в тех областях взаимодействующих хромосом, где их последовательности нуклеотидов близки или идентичны. В последовательности нуклеотидов ДНК закодирована генетическая информация. В двойной спирали основания нуклеотидов образуют комплементарные пары: напротив аденина (А) в одной цепи всегда находится тимин (Т) в другой, а напротив гуанина (G) — цитозин (С). Благодаря спариванию нуклеотидов одноцепочечный участок одной хромосомы способен найти соответствующую (комплементарную ему) последовательность в гомологичной хромосоме. Таким способом хромосомы выстраиваются бок о бок, «вровень», и обмен сегментами приводит к образованию рекомбинантных хромосом той же длины, что и исходные (внизу). Хотя исходные хромосомы в сайте рекомбинации идентичны (или почти идентичны), в других участках они могут существенно различаться, поэтому в результате рекомбинации возникают новые сочетания признаков.



РЕЗУЛЬТАТЫ РЕКОМБИНАЦИИ показаны схематически на примере двух частиц бактериофага (вируса, заражающего бактерий) и их потомства. Фаговые частицы присоединяются к бактериальной клетке и впрыскивают в нее свои хромосомы (слева). Эти две хромосомы содержат разные варианты воображаемых генов, определяющих цвет оболочки (В либо R) и длину отростка (L либо S). Внутри клетки образуется множество копий фаговых хромосом и происходит их рекомбинация. Вследствие рекомбинации в потомстве имеются все возможные сочетания признаков (справа).

Модельные системы

Основу молекулярных моделей рекомбинации заложил в 1965 г. А. Кларк из Калифорнийского университета в Беркли. Он начал генетический анализ рекомбинации у наиболее исследованной бактерии *Escherichia coli*. Как и для многих других бактерий, для *E. coli* характерен своеобразный половой процесс. Между двумя бактериальными клетками образуется временный «мостик», по которому из «мужской» клетки в «женскую» передается единственная хромосома. Затем две хромосомы обмениваются участками. Работы Кларка и других исследователей привели к идентификации генов, белки — продукты которых катализируют этот процесс рекомбинации.

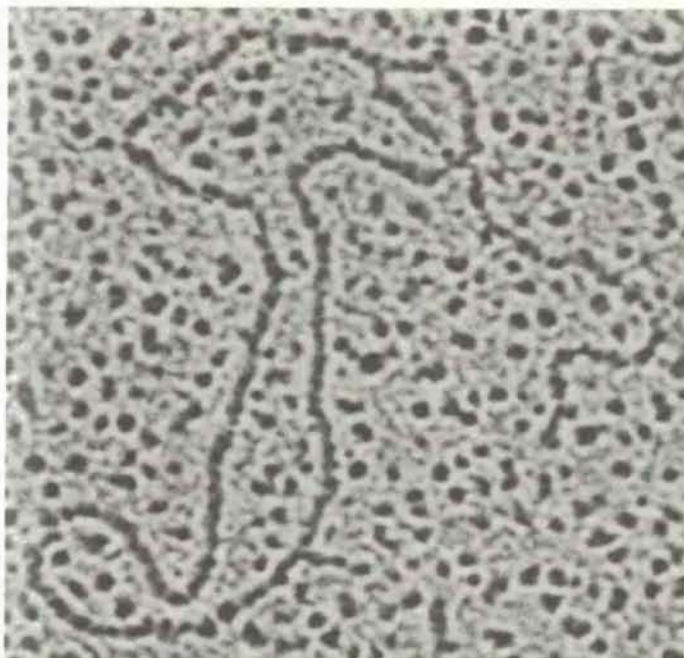
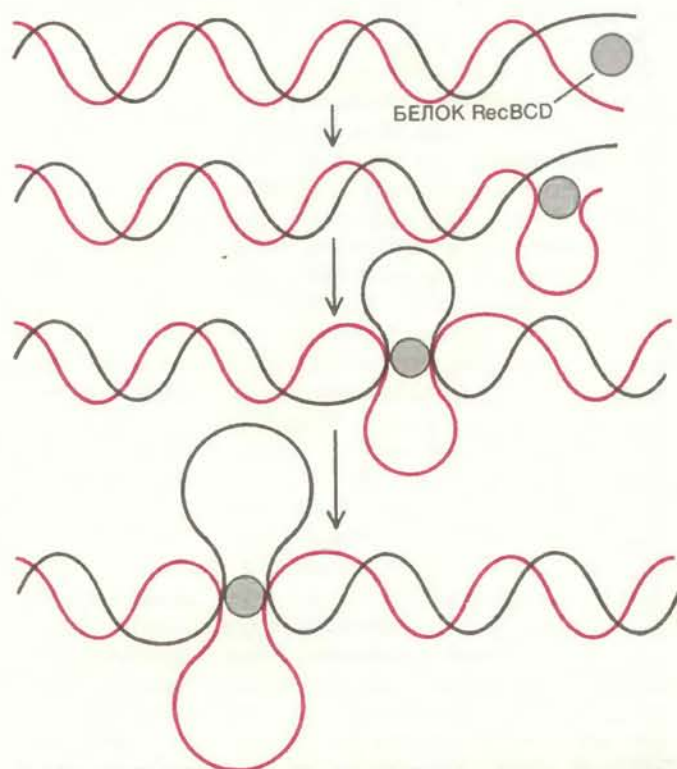
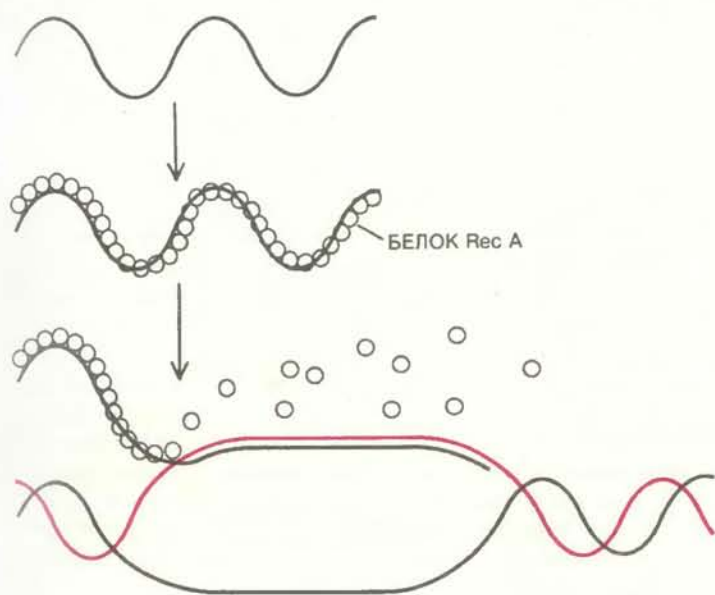
Указанием на то, что существуют гены, необходимые для рекомбинации, были мутации. В штаммах *E. coli*, несущих мутацию в гене, названном *recA* (он был обнаружен первым), рекомбинация происходит в 1000 раз реже, чем в норме. В штаммах с мутациями в гене *recB* или же в гене *recC* частота рекомбинации в 100 раз ниже, чем у дикого типа (т. е. немутантного штамма).

Исследователи принялись искать белки, имеющиеся у *E. coli* дикого типа, но отсутствующие у мутантных бактерий. В результате этой работы были выделены белки, обозначенные *RecA* и *RecBC*. Белок *RecBC* состоит из субъединиц, кодируемых генами *recB* и *recC*; позже было показано, что он содержит еще третий компонент — продукт гена *recD*, поэтому его теперь обозначают *RecBCD*. После того как в распоряжении исследователей появились белки, осуществ-

влияющие рекомбинацию у *E. coli*, стало возможным изучить их взаимодействие с молекулами ДНК и таким образом установить роль этих белков в процессе генетической рекомбинации.

In vitro белок RecA связывается с одноцепочечной ДНК, которую можно выделить, например, из некоторых мелких вирусов. Покрытая белком RecA ДНК внедряется в двухцепочечную ДНК, приводя к расхождению ее

комплементарных цепей. При этом одетая белком одноцепочечная ДНК «ощупывает» ДНК до тех пор, пока не найдет гомологичную себе последовательность нуклеотидов. В этом месте она образует двойную спираль



ФЕРМЕНТЫ РЕКОМБИНАЦИИ бактерии *Escherichia coli* так изменяют ДНК, что рекомбинация облегчается. Белок RecA in vitro покрывает одноцепочечные участки ДНК (вверху слева). Одетая белком цепь ДНК проникает внутрь двойной спирали ДНК и «обследует» ее до тех пор, пока не найдет комплементарную последовательность нуклеотидов. Комплементарные участки образуют двойную спираль, а белок RecA отделяется. Новая двойная спираль и вытесненная цепь формируют D-петлю. На электронной микрофотографии внизу слева (предоставлена Ч. Рэддингом из Йельского университета), видна D-петля, возникающая при участии белка RecA. Белок RecBCD in vitro внедряется в двухцепочечную ДНК на одном конце и перемещается

между цепями, разделяя их (вверху справа). Этот фермент обеспечивает и воссоединение цепей позади себя, но оно происходит медленнее, чем разделение; в результате по обе стороны от движущегося фермента образуются петли одноцепочечной ДНК. Такие петли видны на электронной микрофотографии внизу справа (получена А. Тэйлором в лаборатории Дж. Смита в Центре по изучению рака Ф. Хатчинсона). Способность RecBCD вызывать образование одноцепочечных участков ДНК и способность RecA осуществлять их внедрение в двойную спираль ДНК подтверждают идею о том, что эти белки катализируют ранние этапы рекомбинации бактериальной хромосомы.

с найденным комплементарным участком, который в результате отходит от своей прежней пары, и белок RecA отделяется. Формирующаяся в итоге структура называется D-петлей; в ней вытесненная цепь ДНК образует петлю вокруг новой двойной спирали (см. рисунок на с. 33).

В отличие от белка RecA белок RecBCD *in vitro* обладает сродством к двухцепочечной ДНК. В соответствующих условиях с помощью электронного микроскопа удается наблюдать, как этот белок проникает в двойную спираль ДНК с одного конца и движется между ее комплементарными цепями. По мере продвижения белок разделяет цепи ДНК перед собой и воссоединяет позади. Однако воссоединение цепей происходит с меньшей скоростью, чем их разделение, в результате по обе стороны от движущегося фермента образуются и растут петли одноцепочечной ДНК (см. рисунок на с. 33). В определенных условиях белок RecBCD не только разделяет цепи ДНК, но и расщепляет их.

Эти данные позволяли представить себе начальные этапы рекомбинации у *E. coli*. В одной хромосоме белок RecBCD разъединяет участок двуспиральной ДНК на отдельные цепи. Затем при участии белка RecA свободная цепь ДНК образует новый участок двойной спирали с комплементарной последовательностью в одной из цепей ДНК гомологичной хромосомы. В ранних исследованиях *in vitro* не удалось установить дальнейшие этапы, в итоге которых получают новые, рекомбинантные хромосомы. Ряду исследователей, в частности мне, удалось дополнить эту картину, сконцентрировав усилия на изучении фага λ — вируса, поражающего *E. coli*.

Подобно другим бактериофагам (т. е. вирусам, заражающим клетки бактерий), фаг λ имеет одну хромосому, которая заключена в белковый капсид (оболочку). При заражении фаг впрыскивает хромосому в бактериальную клетку, и вирусная ДНК нарушает биохимические процессы бактерии таким образом, чтобы обеспечить собственное воспроизведение. Происходит синтез копий этой ДНК и белков капсида и из них формируются новые вирусные частицы. В конце концов размножение вируса вызывает лизис (разрыв мембраны) клетки-хозяина. Во время своего кратковременного пребывания в бактериальной клетке вирусные хромосомы рекомбинируют. Если одну и ту же клетку заражают два генетически различающихся штамма фага, часть их потомства содержит гены обоих родительских штаммов.

Фаги очень удобны для изучения ре-

комбинации: единственная хромосома невелика по размеру, инфекционная частица устроена просто, и жизненный цикл непродолжителен. Более того, удалось исследовать влияние на фаговый геном двух систем рекомбинации — одной, принадлежащей самому вирусу, а другой — бактериальной клетке. Вирус способен частично использовать систему рекомбинации бактериальной клетки, но привносит также ряд собственных элементов.

Ферменты рекомбинации как фага λ , так и *E. coli* были выделены, и их свойства изучены *in vitro*. Белок — продукт вирусного гена *red* α расщепляет одну из цепей двойной спирали ДНК, обнажая вторую цепь. Его функция в рекомбинации вирусной ДНК, по-видимому, аналогична роли, предполагавшейся для белка RecBCD — образование одноцепочечной ДНК, которая затем начинает искать гомологичный сегмент в другой хромосоме. Белок RecA, синтезируемый клеткой-хозяином, покрывает одноцепочечную вирусную ДНК и способствует этому поиску. Продукт другого вирусного гена, *red* β , по-видимому, благоприятствует спариванию между одноцепочечным участком ДНК и гомологичным участком в другой хромосоме. Исследования *in vitro* показывают, что этот белок ускоряет точное спаривание между комплементарными последовательностями ДНК.

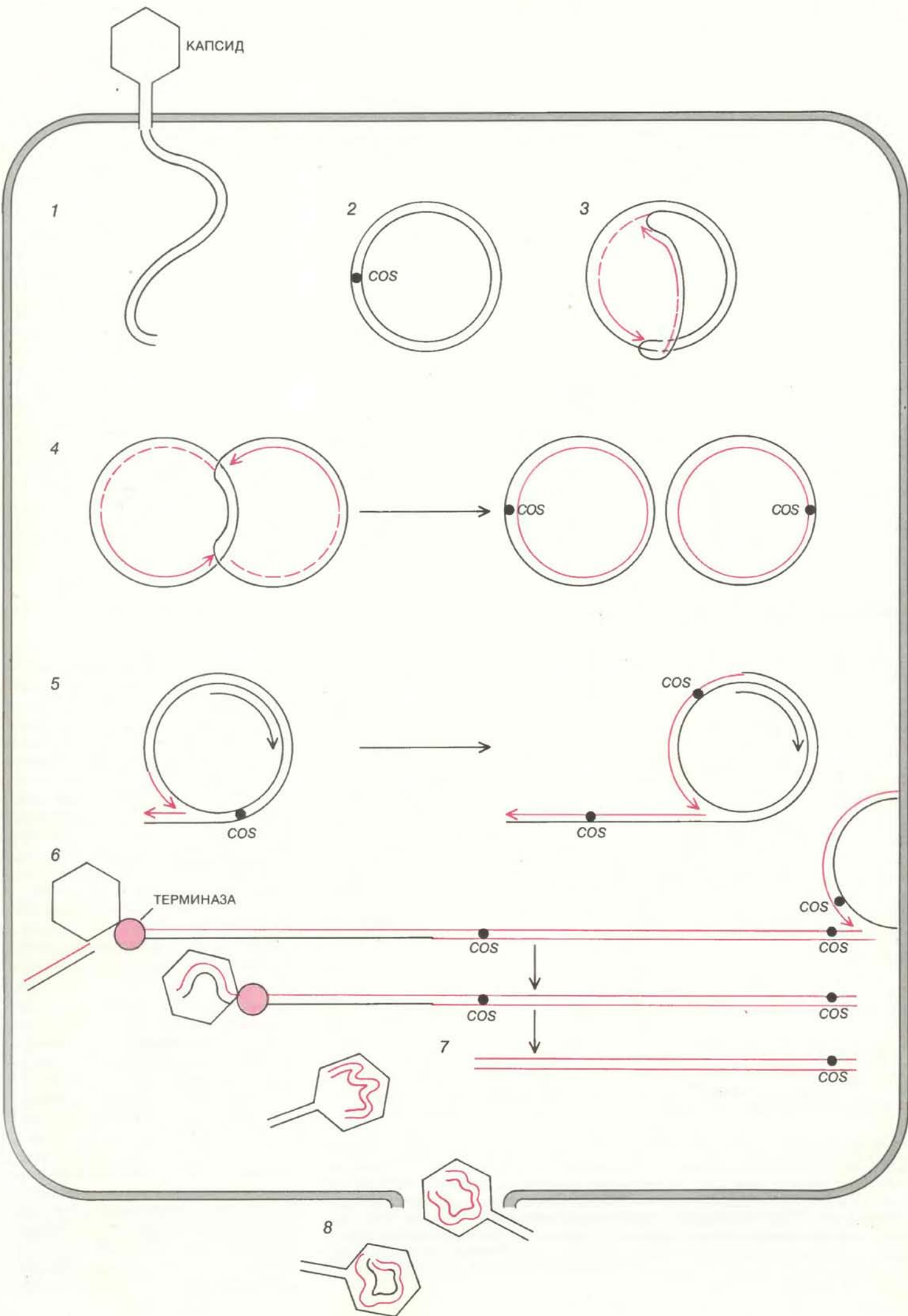
Жизненный цикл фага

Полную картину рекомбинации фага λ нельзя составить, изучая только активность очищенных ферментов рекомбинации *in vitro*. Необходимо проследить весь процесс в естественной системе — живой клетке. Экспериментальный подход, который позволил ряду исследователей (и среди них — мне с коллегами) сделать это, использовал особенности жизненного цикла фага λ .

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ФАГА λ — вируса, поражающего бактериальные клетки. Инфекция начинается с того, что вирусная частица присоединяется к мембране бактериальной клетки и впрыскивает в нее свою хромосому, а белковая оболочка (капсид) остается снаружи (1). Внутри клетки концы хромосомы соединяются, и она образует кольцо (2); в месте соединения возникает нуклеотидная последовательность, называемая *cos*. Затем начинается репликация ДНК. Сначала она осуществляется по малоэффективному тета-механизму, который приводит к образованию новых кольцевых хромосом (3, 4). Через какое-то время происходит переключение на сигма-механизм. В результате возникают длинные непрерывные вереницы, состоящие из множества линейных фаговых хромосом (5). Фермент терминала разрезает эту вереницу в том месте, где расположена *cos*-последовательность и перемещается вдоль ДНК, упаковывая ее в белковую оболочку (которые к тому времени синтезировались по вирусным генам при помощи белоксинтезирующего аппарата клетки-хозяина), до тех пор пока не достигнет следующей *cos*-последовательности и не расщепит ее (7). Когда сформируется много фаговых частиц, клетка разрывается, и они выходят наружу (8), после чего цикл может начаться снова.

После того как вирус впрыскивает свою хромосому — линейную молекулу двуспиральной ДНК длиной 48 500 пар нуклеотидов — в клетку *E. coli*, концы ее соединяются. Затем гены, заключенные в этой замкнувшейся в кольцо ДНК, обеспечивают синтез вирусных белков, используя аппарат биосинтеза белка самой бактериальной клетки. Несколько из этих белков являются ферментами, которые, действуя в едином ансамбле с ферментами, закодированными в генах клетки-хозяина, осуществляют репликацию хромосомы фага λ . Сначала ДНК реплицируется по так называемому тета-механизму. Продуктом этого процесса являются сразу кольцевые хромосомы: ферменты репликации ведут синтез на обеих цепях родительской ДНК, перемещаясь по ее кольцу в противоположных направлениях, так что образуются две кольцевые дочерние одноцепочечные молекулы. (В этом случае реплицирующаяся хромосома, как ее обычно изображают, напоминает греческую букву «тета» — Θ .)

По истечении нескольких циклов репликации по тета-механизму некоторые хромосомы начинают реплицироваться более эффективным способом, известным под названием сигма-механизма, или механизма катящегося кольца. У кольцевой родительской ДНК появляется «хвост», и структура становится похожей на строчную греческую букву «сигма» — σ . В основании «хвоста» непрерывно работает комплекс ферментов, удваивая обе цепи родительской ДНК, так что образуется непрерывная вереница линейных вирусных хромосом. Репликация по механизму катящегося кольца может начаться, когда в тета-структуре возникает разрыв и формируется сигма-структура. В переходе к сигма-репликации видную роль играют также вирусные белки, кодируемые геном *gam* и генами *red*. Белок RecBCD клетки-хозяина препятствует репликации по механизму катящегося



кольца, поскольку одна из его активностей заключается в расщеплении ДНК. Белок Gam инактивирует RecBCD. Каким образом продукты генов *red* способствуют переходу к репликации по сигма-механизму, пока не установлено.

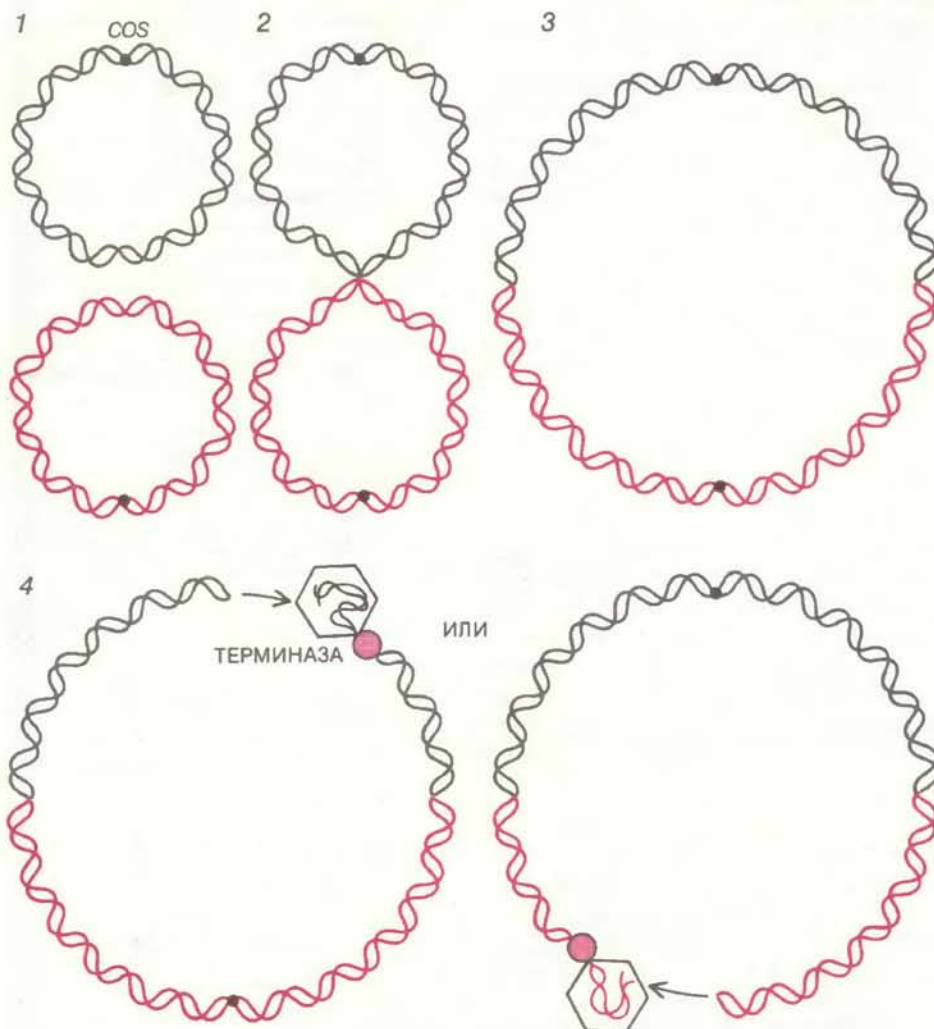
К началу сигма-репликации другие гены обеспечивают наработку белков, которые образуют капсид вирусной частицы, а также ферментов, которые заполняют капсид ДНК. Главным действующим лицом в упаковке вирусных хромосом является фермент терминаза: именно терминаза разрезает вереницу хромосом, образующуюся при сигма-репликации. В цепочке, состоящей из множества копий родительской хромосомы, в положениях, которые соответствуют месту соединения концов в исходной кольцевой хромосоме, располагаются последовательности нуклеотидов, получившие название *cos*. Терминаза

узнает *cos*-последовательность, связывается с ДНК справа (по общепринятой ориентации хромосомной карты фага λ) от нее и расщепляет *cos*-последовательность.

Затем терминаза, не освобождая конца расщепленной ДНК, связывается с каким-либо из образовавшихся к тому времени капсидов. Теперь фермент передвигается вправо вдоль ДНК, подтягивая за собой капсид и заполняя его при этом ДНК. Когда продвигающийся вперед комплекс капсида и терминазы доходит до следующего нерасщепленного *cos*-участка, который служит границей полной хромосомы, терминаза опять разрезает ДНК, и упаковка ДНК в капсид завершается. Если эта вторая *cos*-последовательность была расщеплена раньше, чем к ней подошла терминаза с капсидом, процесс упаковки прерывается, даже несмотря на то что большая часть хромосомы фа-

га уже уложена в капсид. Для сборки вирусной частицы подходят только те хромосомы, которые ограничены с обеих сторон нерасщепленными *cos*-последовательностями.

Кольцевые хромосомы, образовавшиеся из проникшей в клетку линейной фаговой ДНК при соединении ее концов или при репликации по тетра-механизму, содержат только одну *cos*-последовательность, поэтому терминаза способна расщеплять такую ДНК, но не может ее упаковывать в капсид. Однако в результате рекомбинации такие одиночные хромосомы могут стать пригодными для упаковки. В случае линейных хромосом разрыв целей ДНК и обмен участками между ними приводят к образованию двух линейных рекомбинантных хромосом. В случае же кольцевых молекул в результате рекомбинации получается кольцевая молекула вдвое большей длины. В таком димере каждая из рекомбинантных хромосом теперь ограничена двумя *cos*-последовательностями и любая из хромосом (но не обе) может теперь быть упакована с образованием полноценной фаговой частицы.



РЕКОМБИНАЦИЯ — необходимое условие для упаковки кольцевой хромосомы фага в капсид. Кольцевая хромосома содержит лишь одну *cos*-последовательность, т. е. только один сайт расщепления терминазой. А для нормальной упаковки необходимо, чтобы в начале и конце ее терминаза расщепляла *cos*-последовательность. Обе участвующие в рекомбинации хромосомы являются кольцевыми (1). В результате рекомбинации (2) образуется молекула вдвое большей длины (3), содержащая две полные хромосомы, разделенные двумя *cos*-последовательностями. Теперь терминаза способна осуществить упаковку одной из хромосом (любой, но не обеих) (4).

Экспериментальная система

Анализ систем рекомбинации бактериальной клетки и фага облегчается, когда увеличена доля рекомбинантных частиц в потомстве фага, а это можно добиться, если нарушить репликацию вирусной ДНК. Причем важно предотвратить репликацию по сигма-механизму, при которой образуются длинные цепочки хромосом, сразу пригодные для упаковки. Поскольку кроме репликации все остальные стадии жизненного цикла вируса протекают нормально, новые вирусные частицы могут формироваться из кольцевых хромосом, проникающих в клетку при заражении, но лишь при том условии, если они приобретут способность к упаковке, а для этого должна произойти их рекомбинация.

Чтобы блокировать репликацию вирусной хромосомы, используют температурочувствительные мутации в бактериальных и фаговых генах, кодирующих ферменты репликации ДНК. Такие мутации при нормальной температуре не проявляются, в противном случае фаг или бактериальная клетка не могли бы размножаться. Эксперименты проводятся при более высокой температуре, эффект мутации реализуется и ферменты репликации становятся дефектными. То, что репликация вирусных хромосом прекращается, можно доказать,

если пометить ДНК фаговых частиц, используемых для заражения, и сравнить ее с ДНК фагового потомства.

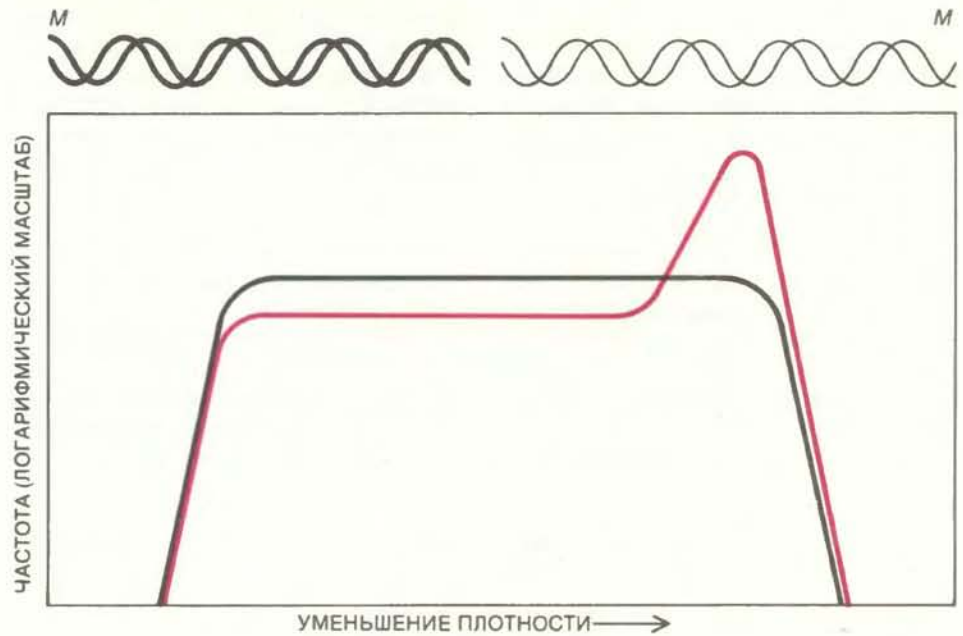
Стандартный способ мечения фаговой ДНК заключается в выращивании фага в среде, обогащенной тяжелыми изотопами углерода и азота. Тяжелые атомы включаются в ДНК фаговых частиц, плотность которых становится в результате больше, чем у вирусов, выращенных в обычных условиях. Их обнаруживают путем центрифугирования в градиенте плотности, позволяющего разделять частицы по плотности. В опытах, в которых репликацию блокировали, после заражения клеток меченым фагом новообразованные вирусные частицы содержали хромосомы, почти полностью состоящие из тяжелой ДНК. Следовательно, *de novo* ДНК практически не синтезировалась.

Сотрудник моей лаборатории К. Мак-Милин, объединив в одном эксперименте мечение тяжелыми изотопами и нарушение репликации, исследовал системы рекомбинации бактерии-хозяина и вируса. Он заражал бактерии двумя типами фага λ . Одни фаги были помечены тяжелыми изотопами и вблизи левого конца хромосомы несли генетический маркер — мутацию, которую можно было легко идентифицировать. Другие содержали только обычные легкие изотопы и несли мутацию вблизи правого конца. Вирусное потомство, полученное при совместном заражении бактериальных клеток такими фагами, разделяли в градиенте плотности.

Среди новообразованных вирусных частиц (все они должны были пройти этап рекомбинации) некоторые имели такую же высокую плотность, а некоторые — такую же низкую, как и исходные фаги, которыми заражали клетки. Эти две группы являлись, по всей вероятности, продуктами рекомбинации в парах соответственно «тяжелых» либо «легких» фагов. Но были обнаружены и частицы с промежуточной плотностью — они, по-видимому, имели рекомбинантные хромосомы, в которых часть ДНК была «тяжелой», а часть — «легкой». Сопоставление данных о плотности фагов и данных генетического анализа позволило установить, в каких участках хромосомы рекомбинация происходит с наибольшей частотой.

Система Red

В первом опыте бактериальная система рекомбинации была выведена из строя мутацией в гене *recA* *E. coli*. Только фаговая система, система Red, могла осуществить рекомбина-



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ фаговых частиц, освобождающихся из зараженных бактериальных клеток, позволяет установить, в каких местах фаговой хромосомы происходит рекомбинация. Клетки заражали фагами двух типов. ДНК первого типа содержала тяжелые изотопы и несла маркерную мутацию (M) вблизи левого конца хромосомы (вверху слева). ДНК другого типа имела нормальную плотность и несла мутацию вблизи правого конца хромосомы (вверху справа). Заражение проводили в условиях, блокирующих репликацию ДНК, но не влияющих ни на упаковку рекомбинантных хромосом в капсиды, ни на выход фаговых частиц из клетки. Если бактериальная система рекомбинации была инактивирована, т. е. если рекомбинация происходила только при участии соответствующей системы фага, фаговые частицы без маркерных мутаций имели относительно низкую плотность (цветная кривая). Отсутствие мутаций свидетельствовало о том, что хромосома этих частиц состояла из правой части исходной «тяжелой» хромосомы и левой части «легкой», а низкая плотность указывала, что сегмент «тяжелой» ДНК был коротким. Следовательно, рекомбинация в этом случае происходила в основном вблизи правого конца хромосомы. Если же бактериальная система рекомбинации оставалась активной, то фаги без мутаций имели различную плотность (черная кривая), а значит сайты рекомбинации были равномерно распределены по всей длине фаговой хромосомы.

цию, необходимую для того, чтобы фаговая ДНК приобрела способность к упаковке. Частицы, лишенные обоих генетических маркеров, т. е. получившие от родительских фагов правую часть тяжелой хромосомы и левую часть легкой хромосомы, имели низкую плотность. Очевидно, эти частицы, имевшие свойства дикого типа, содержали в основном легкую ДНК; следовательно, рекомбинация происходила предпочтительно вблизи правого конца фаговой хромосомы.

Какими особенностями хромосомы обусловлена большая частота рекомбинации у ее конца? В области соединения концов в кольцевой хромосоме расположена *cos*-последовательность, по которой терминаза способна расщеплять одиночные кольцевые хромосомы и цепочки из многих хромосом при репликации по сигма-механизму. Г. Муриальдо в Торонтском университете и И. Кобаяси в моей лаборатории удалось с помощью клонирования генов переместить *cos*-послед-

овательность в среднюю часть фаговой хромосомы. В клетках, зараженных таким модифицированным фагом, терминаза, видимо, расщепляла ДНК только в новом *cos*-сайте, так что в новообразованных частицах прежние правый и левый концы оказались в середине хромосомы. Анализ плотности и генетический анализ потомства показал, что в такой ситуации рекомбинация происходила преимущественно у нового правого конца вирусной хромосомы, т. е. вблизи нового *cos*-сайта.

Таким образом, *cos*-последовательность играет роль «рекомбинатора»: она облегчает генетическую рекомбинацию в непосредственной близости от себя. Тот факт, что *cos*-последовательность стимулировала рекомбинацию только у правого конца хромосомы (а не у обоих концов в равной степени), указывал на механизм ее действия. Кобаяси предположил, что *cos*-последовательность инициирует акт Red-зависимой рекомбинации, потому что она является тем сайтом, в ко-

тором терминаза расщепляет кольцевую хромосому. После расщепления цепи ДНК терминаза остается связанной с левым концом хромосомы, поэтому только правый может вступить в рекомбинацию с другой хромосомой. Система Red действует на свободном конце хромосомы.

Следовало ожидать, что система Red стимулирует рекомбинацию хромосомы фага λ независимо от того, где расщепляется его двухцепочечная ДНК. Это предсказание было проверено с помощью ферментов рестрикции. Каждый фермент рестрикции специфично узнает и расщепляет

определенную короткую последовательность нуклеотидов. Если в той или иной хромосоме есть такая последовательность, то после обработки данным ферментом в ней появится разрыв при условии, что эта последовательность не была предварительно химически модифицирована другим ферментом, который синтезируется в бактериальной клетке для защиты ее собственного генетического материала. (Ферменты рестрикции выработались в ходе эволюции как средство против бактериофагов; они широко используются в генной инженерии.)

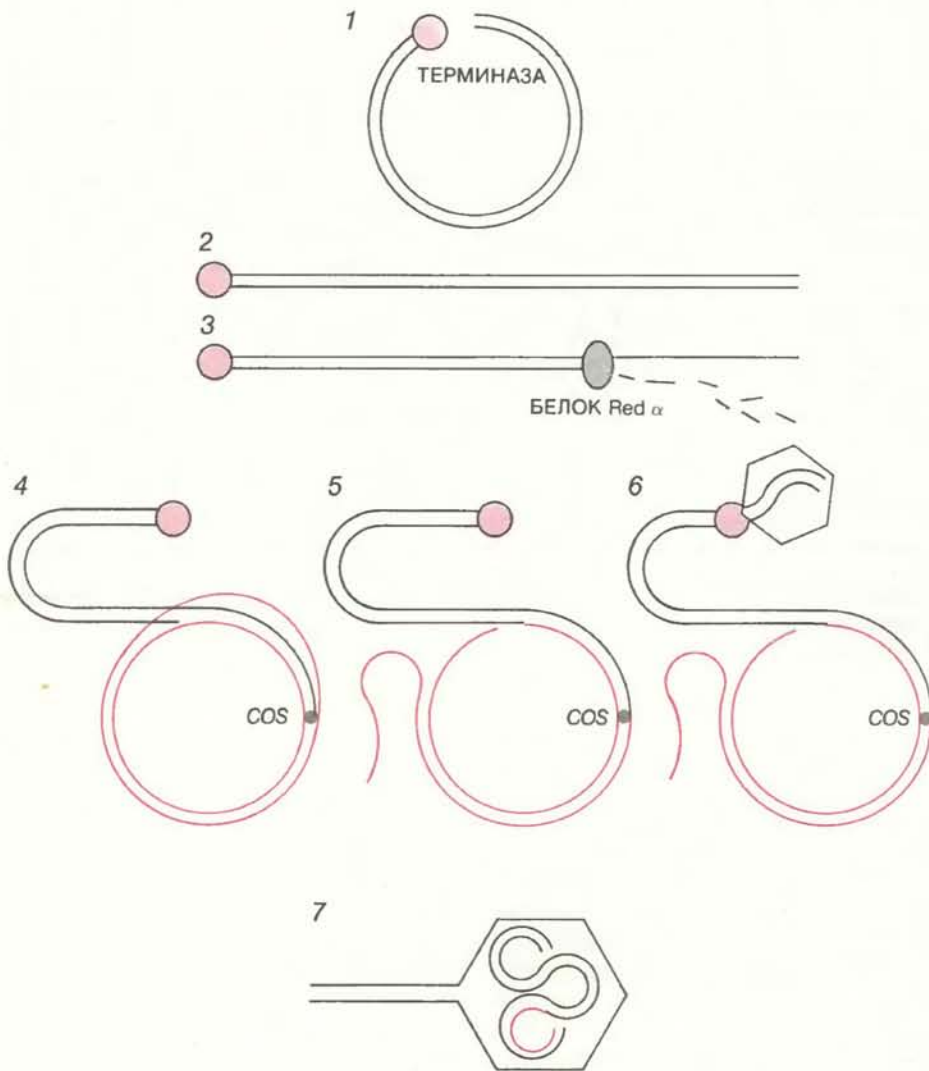
Д. Талер в моей лаборатории ис-

следовал рекомбинацию в клетках бактерий, синтезирующих один из ферментов рестрикции. Для заражения бактерий было взято два штамма фага. Один содержал немодифицированную последовательность, узнаваемую этим ферментом, и положение ее на хромосоме было точно известно. Другой штамм также содержал такую последовательность, но у него она была модифицирована и потому не расщеплялась данным ферментом. Благодаря модификации в зараженных клетках было возможно образование некоторого количества полноценных хромосом, способных упаковываться в фаговые частицы. Систему рекомбинации клетки блокировали, и только система Red оставалась активной. Талер наблюдал интенсивную рекомбинацию, причем она происходила преимущественно в той области хромосомы, где находилась последовательность, расщепляемая ферментом рестрикции. Очевидно, концы расщепленных хромосом находились целые (модифицированные) хромосомы и вступали с ними в рекомбинацию.

Роль репликации

Каким образом система Red функционирует обычно, в нормальном репродуктивном цикле фага λ , когда происходит репликация ДНК? Решить этот вопрос с помощью мечения ДНК тяжелыми изотопами практически сложно, так как ничем не ограниченная репликация ДНК в этих условиях приводила бы к появлению большого избытка новосинтезированной «легкой» ДНК, на фоне которой метку было бы трудно выявить. Однако, если все фаговые частицы, используемые для заражения, пометить тяжелыми изотопами и сильно ограничить при этом репликацию, эксперимент позволит получить четкие результаты.

Мы с коллегами заражали клетки фаговыми частицами двух типов. И те и другие были мечены тяжелыми изотопами, но кроме того, несли разные, легко различимые наборы генетических маркеров. Как и ранее, благодаря маркерам можно было определить, в каком месте хромосомы дочерней фаговой частицы произошла рекомбинация. У фагов, содержащих полностью «тяжелую» (т. е. не новообразованную в результате репликации) ДНК, рекомбинация происходила в основном вблизи правого конца хромосомы, как и в условиях подавления репликации. У фагов, содержащих частично или полностью «легкую» (т. е. новосинтезированную) ДНК, рекомбинация происходила на всем протяжении хромосомы.



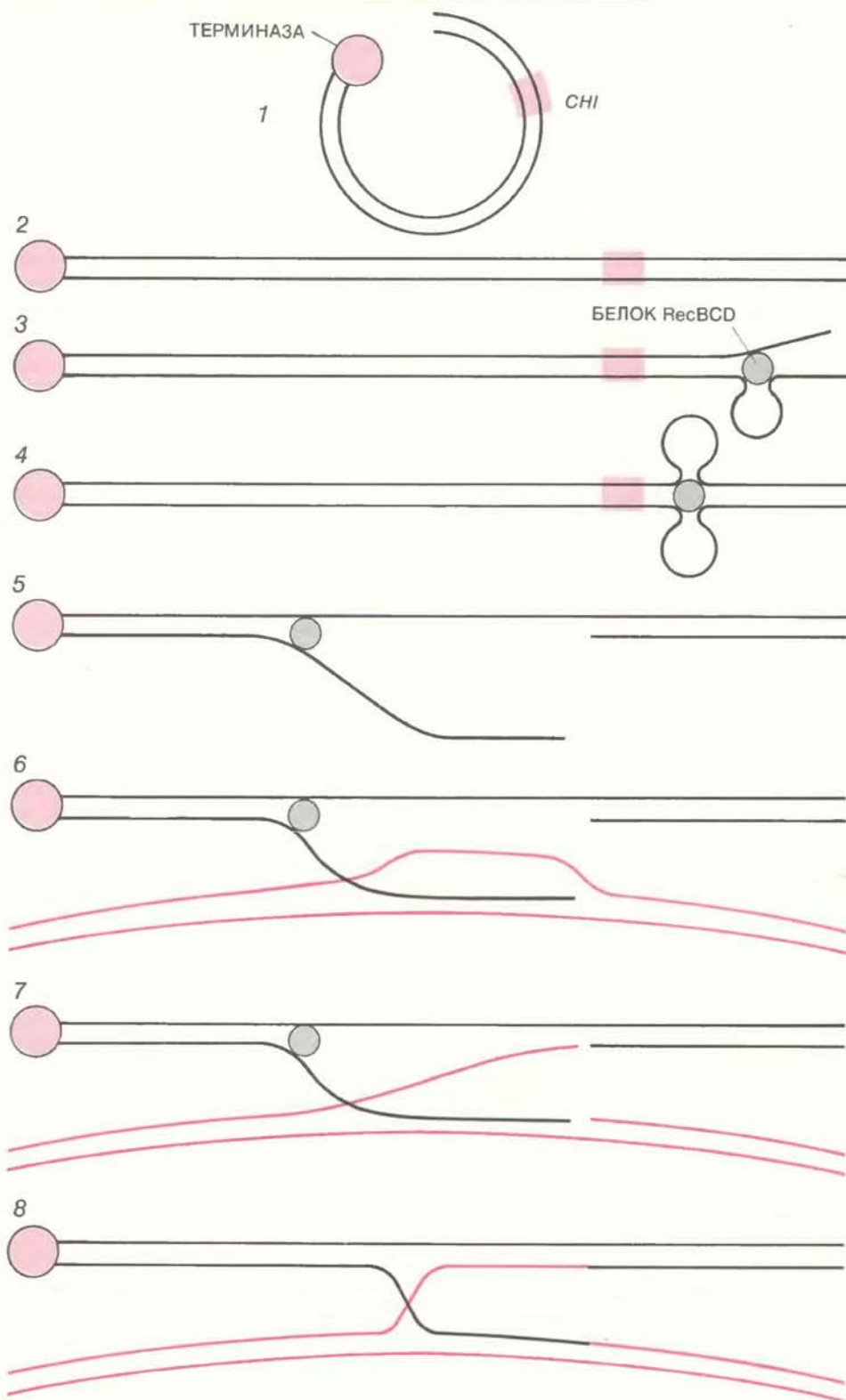
СИСТЕМА РЕКОМБИНАЦИИ ФАГА λ действует, как принято считать, на свободных концах двухцепочечной ДНК. Сначала фермент терминаза расщепляет кольцевую хромосому фага в пределах *cos*-последовательности (1), при этом один из образовавшихся концов (левый) остается связанным с ферментом, а другой — свободным (2). Белок — продукт фагового гена *red α* — частично расщепляет одну цепь хромосомы, начиная со свободного правого конца (3). Обнажающаяся одиночная цепь ДНК внедряется в другую хромосому (реципиентную), образуя новую двойную спираль с гомологичным ей участком, и получается структура, называемая D-петлей (4); ферменты (не все из них известны) разрывают и соединяют цепи ДНК в D-петле так, что хромосома, инициирующая рекомбинацию, и вновь возникшая двойная спираль составляют непрерывную молекулу ДНК (5). Теперь терминаза может двигаться вдоль ДНК, упаковывая ее в незанятый капсид (6). Дойдя до *cos*-последовательности реципиентной хромосомы, она разрывает в этом месте ДНК. В результате формируется фаговая частица с рекомбинантной хромосомой (7). Эта модель позволяет объяснить данные о действии белка *Red α* , а также тот факт, что *Red*-зависимая генетическая рекомбинация обычно происходит вблизи двухцепочечных концов.

По-видимому, система Red действовала в данном случае на свободные концы ДНК, возникающие при репликации случайным образом в различных местах нуклеотидной последовательности фаговой хромосомы. Это предположение в некоторой степени подтверждается результатами недавних исследований Red-зависимой рекомбинации в присутствии белка, который способен связываться со свободными концами двуспиральной ДНК. Оказалось, что при неограничиваемой репликации фага такой белок ингибирует рекомбинацию по всей длине хромосомы, а значит, в ней в случайных точках появляются свободные концы. Их возникновение проще всего объяснить тем, что происходят начальные этапы репликации по сигма-механизму. Считается, что разрыв, инициирующий репликацию по сигма-механизму, возникает в случайной точке хромосомы, поэтому рост «хвоста» может начинаться с любой последовательности ДНК.

Связь Red-зависимой рекомбинации с концами хромосом, а также некоторые свойства системы Red, обнаруженные *in vitro*, позволяют составить четкую картину начальных этапов процесса рекомбинации (см. рисунок на с. 38). Белок — продукт гена *red α* частично расщепляет одну из двух цепей хромосомы, начиная с ее свободного конца, и в результате появляется участок одноцепочечной ДНК. Он внедряется в другую, кольцевую хромосому в гомологичном участке нуклеотидной последовательности, создавая тем самым D-петлю. Фаговый белок Red β и белок RecA бактерии-хозяина, вероятно, способствуют этому внедрению. Для превращения образовавшейся структуры в конечные продукты требуется ряд дальнейших ферментативных реакций, но они пока мало изучены.

Система Rec

Мои коллеги и я использовали тот же подход для определения сайта рекомбинации, зависящей от системы Rec *E. coli* (т. е. конкретного участка последовательности фаговой ДНК, в котором происходит рекомбинация при участии бактериальной системы). Бактерии с ненарушенной системой рекомбинации заражали мечеными и немечеными фагами, несущими мутации в генах *red* и *gam*. У таких фагов не действует собственная система рекомбинации, и они не способны блокировать систему рекомбинации хозяина. Результаты этого эксперимента резко отличались от того, что наблюдалось, когда система Red была активна. При подавлении репликации



СИСТЕМА РЕКОМБИНАЦИИ *E. COLI*, как считается, зависит от взаимодействия фермента RecBCD с последовательностью ДНК, получившей название *chi*. Здесь изображена модель взаимодействия белка RecBCD и хромосомы фага λ. После того как терминаза расщепила кольцевую хромосому фага (1) и та перешла в линейную форму (2), фермент RecBCD присоединяется к этой двухцепочечной молекуле ДНК и движется вдоль нее (3). При этом он, пока не достигнет *chi*-последовательности, расплетает двойную спираль и воссоединяет ее за собой, так что образуются петли одноцепочечной ДНК (4). Вследствие взаимодействия с *chi* характер активности фермента изменяется, и он расщепляет одну из петель (5). При участии белка RecA (не показан) возникшая одиночная цепь ДНК внедряется в другую фаговую хромосому, формируя D-петлю (6). В дальнейшем с участием других ферментов в вытесненной цепи D-петли появляется разрыв, так что она может теперь спариться с инициирующей хромосомой (7). Сблизившиеся цепи соединяются и образуется структура Холлидэя (8). Она может превратиться в две рекомбинантные хромосомы. Недавно полученные данные опровергают эту модель.

частота рекомбинации на всем протяжении хромосомы была примерно одинаковой. Рекомбинация оказалась не связанной с участком *cos*-последовательности, и распределение сайтов рекомбинации и ее частота не изменялись, когда условия были такими, что репликация происходила, но ограничено. Очевидно, система *Rec*, в отличие от системы *Red*, не имеет особого родства к свободным концам.

Механизм действия системы *Rec* неожиданно проявился благодаря экспериментам Д. Хендерсона (Эдинбургский университет), который изучал штаммы фага λ с мутантными генами *red* и *gam*. Поскольку эти гены нужны не только для рекомбинации, но и для репликации по сигма-меха-

низму, такие мутанты способны реплицироваться только по тета-механизму. Хендерсон (а также другие исследователи) обратил внимание на тот факт, что мутантные фаги не размножались на бактериях с мутацией в гене *recA*. При инактивации обеих систем рекомбинации — и бактериальной, и фаговой — ни родительская хромосома фага, ни кольцевые хромосомы его потомства (продукт репликации по тета-механизму) не способны упаковываться с образованием зрелых фаговых частиц.

К своему удивлению, Хендерсон обнаружил, что мутантные фаги плохо размножаются даже в бактериях с ненарушенной системой *Rec*. Хотя система *Rec*, осуществляя рекомбина-

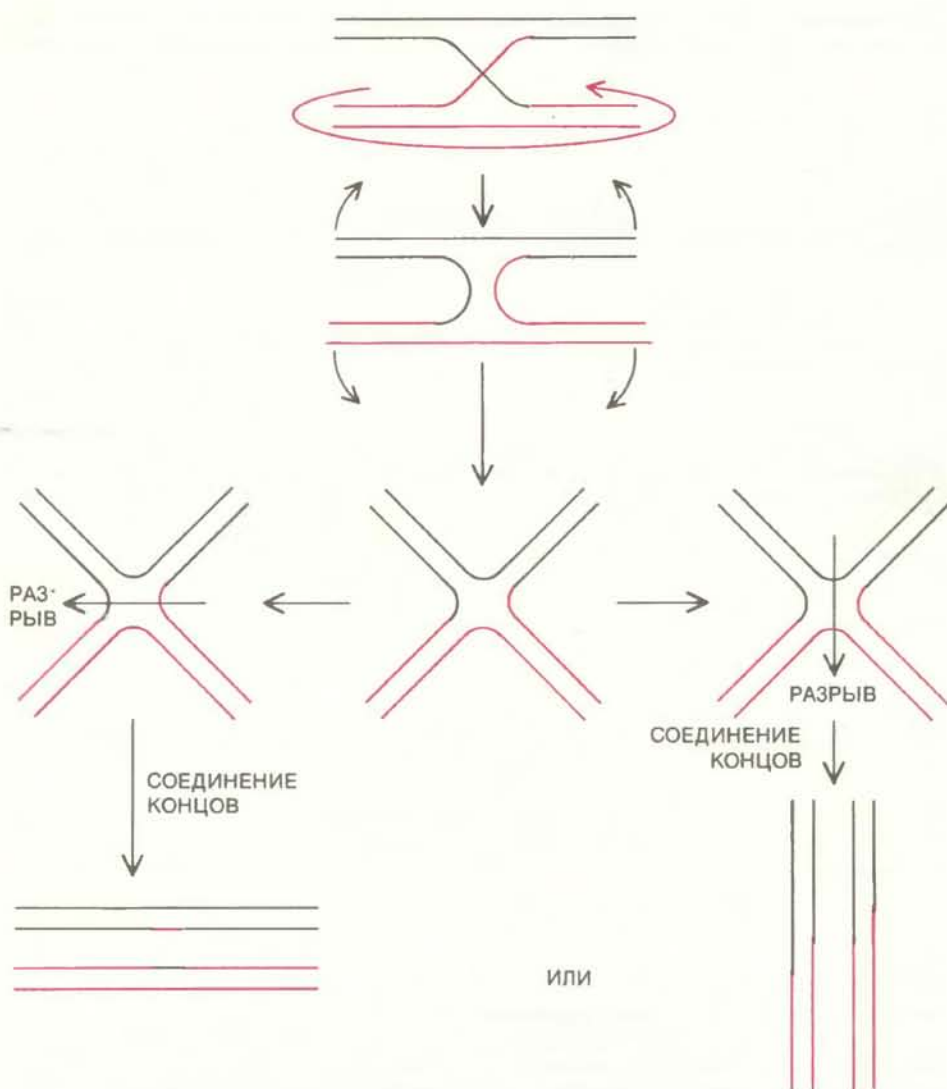
цию фаговой ДНК, должна была обеспечить появление способных к упаковке фаговых хромосом, зрелых фаговых частиц образовывалось очень мало. Очевидно, система *Rec* действует на фаговой хромосоме с низкой эффективностью.

В культурах фага, с которыми работал Хендерсон, спонтанно возникла вторая мутация. Двойной мутант вскоре вытеснил исходный, так как размножался с более высокой скоростью. Этот новый фаг мог так быстро размножиться не потому, что у него восстановилась способность к упаковке, а потому что на его ДНК система *Rec* работала эффективнее. Оказалось, что вторая мутация привела к появлению последовательности из 8 нуклеотидов, получившей название *chi* (*chi*-сайт).

Чтобы установить распределение сайтов рекомбинации в штаммах фага, содержащих *chi*-последовательность, мы применили метод Мак-Милина. Оказалось, что каждый из этих мутантов характеризовался очень высокой частотой рекомбинации вблизи *chi*-сайта. Так благодаря мутации в хромосоме фага λ была открыта последовательность, играющая роль рекомбинатора в системе рекомбинации бактерии-хозяина (в системе *Red* аналогичную роль играет *cos*-последовательность).

Механизм действия *chi*-сайта выяснится, вероятно, в ближайшем будущем. Всякая модель *chi*-зависимой рекомбинации должна учитывать ряд установленных к настоящему времени свойств *chi*-последовательностей. Например, известно, что этот сайт играет ключевую роль в *Rec*-зависимой рекомбинации бактериальной хромосомы, которая содержит много таких последовательностей. *Chi* не оказывает влияния на другие системы рекомбинации, в частности на систему *Red* фага λ . Поэтому можно предполагать, что *chi*-последовательность прямо взаимодействует с одним из ферментов системы *Rec*.

По-видимому, *chi*-сайт способен проявлять свою активность также на некотором расстоянии. Оказалось, что для рекомбинации достаточно его присутствия хотя бы на одной из двух взаимодействующих хромосом. Даже когда этот сайт и довольно протяженные участки ДНК (длиной несколько 1000 нуклеотидов) с обеих сторон от него на другой хромосоме отсутствовали, в области гомологии происходила *chi*-зависимая рекомбинация. Существенно, что такое дальнее действие первоначально наблюдалось лишь с одной стороны от *chi*-последовательности, а именно слева от нее.



СТРУКТУРА ХОЛЛИДЖА может превращаться в существенно различные конечные продукты. Промежуточную структуру, образующуюся в ходе рекомбинации (см. предыдущий рисунок), можно представить в виде прямоугольного креста из четырех сегментов двухцепочечной ДНК. В такой структуре один вариант разрывов и соединения одноцепочечных концов приводит к формированию «латаных» рекомбинантных хромосом, в которых по сравнению с исходными изменены лишь короткие участки (слева). Другой вариант разрывов и соединения дает кроссоверные хромосомы, т. е. полноценные рекомбинанты (справа).

Действие *chi*-последовательности не только является направленным, но зависит и от ее собственной ориентации на фаговой хромосоме. Когда с помощью методов геной инженерии ориентацию *chi*-последовательности изменяли на противоположную, она переставала активировать рекомбинацию. Как ни странно, если в хромосому с инвертированной и потому «молчащей» *chi*-последовательностью ввести инвертированную *cos*-последовательность, то активность *chi* восстанавливается. Это связано, по-видимому, с тем, что *cos*-последовательность может расщепляться терминазой, которая расщепляет обе цепи двуспиральной ДНК. Когда фагом, содержащим «молчащий» *chi*-сайт, заражали клетки, в которых имелся фермент рестрикции, способный расщеплять фаговую хромосому, активность *chi* восстанавливалась. После активации разрывом в обеих цепях ДНК инвертированный *chi*-сайт стимулирует рекомбинацию справа от себя.

Перечисленные наблюдения проще всего объяснить, предположив, что *chi*-последовательность взаимодействует с каким-то подвижным компонентом аппарата рекомбинации. Этот компонент — фермент или группа ферментов — должен связываться со свободным концом хромосомы и двигаться в одном направлении до тех пор, пока не достигнет *chi*-последовательности в «правильной» ориентации. Если рекомбинационный комплекс начинает свое движение с правого конца хромосомы, который становится свободным при нормальном разрезании *cos*-последовательности терминазой, то естественная ориентация *chi*-сайта в хромосоме и будет правильной, т. е. активной. *Chi*-последовательность в инвертированном состоянии окажется активна, только если комплекс перемещается в противоположном направлении, т. е. от левого конца хромосомы. В свою очередь левый конец хромосомы будет свободным (не занятым терминазой) лишь в том случае, если *cos*-последовательность также инвертирована.

Кажется наиболее вероятным, что движущийся рекомбинационный комплекс «срабатывает» сразу же, как только достигает *chi*-сайта. Однако, поскольку этот сайт действует на расстоянии, следует предполагать, что рекомбинация может происходить уже после того, как рекомбинационный комплекс «проехал» *chi* и оказался левее правильно ориентированной *chi*-последовательности (или правее инвертированной).

Промежуточная структура Холлидэя

Такой подвижный рекомбинационный комплекс — не просто предположение. Его удалось экспериментально идентифицировать благодаря тому, что по характеру действия *in vitro* он очень похож на фермент RecBCD. Этот фермент также связывается со свободным концом двуспиральной ДНК и движется вдоль нее, расплетая цепи. Более того, были получены мутанты по гену *recBCD*, у которых система Rec была активной, но не зависимой от *chi*-последовательности. Это позволяет предполагать, что белок RecBCD непосредственно взаимодействует с *chi*-сайтом.

Но как же действует рекомбинационный комплекс и какова роль *chi*-сайта в стимуляции рекомбинации? Более конкретно, что представляет собой промежуточная структура при Rec-зависимой рекомбинации, для которой не требуется двухцепочечных концов ДНК? В 1964 г. Р. Холлидэй, работавший тогда в Институте Джона Иннеса в Харфорде (Великобритания), высказал предположение, что на определенном этапе процесса рекомбинации в обмен вовлекаются лишь по одной цепи ДНК от каждой из двух гомологичных хромосом. Эти цепи разрываются и образовавшиеся свободные концы каждой из них соединяются с соответствующими концами на другой хромосоме, так что формируется структура с пересекающимися цепями, называемая промежуточной структурой Холлидэя. Для ее превращения в две рекомбинантные хромосомы нужно, чтобы цепи еще раз разорвались и соединились. Геометрия структуры Холлидэя такова, что второй разрыв может произойти как в пересекающихся цепях, так и в их комплементарных. В первом случае это приведет к формированию «латаных» рекомбинантов: рекомбинантные хромосомы будут в основном неизменными по сравнению с исходными и обменяются лишь небольшим односторонним фрагментом ДНК. Во втором случае обмен захватывает и комплементарные цепи, в результате чего получают «кроссоверные» рекомбинанты.

Возникает вопрос, что же именно катализирует белок RecBCD, активируемый при взаимодействии с *chi*-сайтом, — формирование структуры Холлидэя или ее превращение в конечные продукты рекомбинации? Судя по наблюдениям Дж. Смита и его коллег (Центр по изучению рака Ф. Хатчинсона в Сизтле), реализуется первая возможность. Эти исследователи показали, что при опреде-

ленных условиях *in vitro* белок RecBCD, движущийся вдоль молекулы ДНК, встретив «правильно» ориентированную *chi*-последовательность, разрезает одну из цепей, а именно ту, которая транскрибируется при экспрессии фаговых генов справа налево.

Основанная на этом факте модель предполагает, что разрыв прекращает воссоединение цепей молекулы ДНК, которое обычно осуществляется позади движущегося фермента. Та цепь ДНК, в которой появляется разрыв, высвобождается из двойной спирали, покрывается белком RecA и внедряется в гомологичную хромосому, образуя D-петлю. Вытесненная цепь этой второй хромосомы сближается с иницирующей (содержащей разрыв) хромосомой, происходят разрыв цепей и соединение их концов, в результате возникает структура Холлидэя (см. рисунок на с. 39). Она может превратиться в латаные или же в кроссоверные рекомбинантные хромосомы. Такая модель функционирования *chi*-сайта и фермента RecBCD оказалась столь привлекательной, что в некоторых новейших учебниках приводится как факт. Однако недавно полученные данные свидетельствуют против нее.

С. Розенберг из моей лаборатории проверяла одно из следствий этой модели. Модель предполагает, что та цепь хромосомы, которая разрезается белком RecBCD *in vitro*, т. е. транскрибирующаяся справа налево, *in vivo* также разрезается этим белком и служит для инициации рекомбинации. Если конец этой цепи внедряется в гомологичную хромосому и спаривается с комплементарной ей последовательностью ДНК, то из хромосомы вытесняется цепь, тоже транскрибирующаяся справа налево. Таким образом, обе пересекающиеся цепи структуры Холлидэя должны транскрибироваться справа налево. Следовательно, модель предсказывает, что если из структуры Холлидэя образуются «латаные» рекомбинантные хромосомы, то вставки попадают в цепи, транскрибирующиеся справа налево.

Розенберг установила, что на самом деле все наоборот: каждая из вставок оказывалась на цепи, транскрибирующейся слева направо, т. е. на той, которая *in vitro* остается интактной. Значит, описанная выше простая модель, основанная на результатах, полученных *in vitro*, неверна. Существует другой вариант этой модели, согласно которому рекомбинацию инициирует разрыв в цепи, транскрибирующейся справа налево, но в результате более сложного хода

событий вставки в итоге оказываются в цепи, транскрибирующейся слева направо. Из такой схемы следуют иные предсказания; одно из них было проверено С. Розенберг и тоже не подтвердилось.

Несостоятельность обоих вариантов модели позволяет считать, что даже если зависимое от *chi*-последовательности расщепление цепи ДНК *in vivo* происходит так же, как *in vitro*, оно не обязательно инициирует рекомбинацию. Таким образом, мы вновь возвращаемся к вопросу о том, что же стимулируется *chi*-сайтом — формирование структуры Холлидзья или образование из нее рекомбинантных хромосом.

Многообразие путей рекомбинации

Хотя некоторые детали еще не ясны, в общем уже понятно, что рекомбинация у фага λ и *E. coli* происходит существенно разными способами. Для фаговой системы Red активным сайтом является свободный конец двухцепочечной молекулы ДНК, который служит мишенью ферментов рекомбинации. Эта система отвечает особенностям жизненного цикла фага, поскольку во время репликации по сигма-механизму свободные концы ДНК возникают случайным образом по всей длине фаговой хромосомы. У бактерий, напротив, концы хромосомы фиксированы, и для вовлечения в рекомбинацию всего генетического материала нужен иной механизм. Поэтому в бактериальной системе Rec свободный конец ДНК служит просто «местом посадки» рекомбинационного ферментативного комплекса, который способен катализировать рекомбинацию на произвольном расстоянии от конца.

Итак, рекомбинация может осуществляться различными способами в зависимости от генетической структуры организма, и даже у одного и того же организма могут быть несколько путей рекомбинации. Например, *E. coli* обладает вспомогательной системой RecF. Некоторые грибы, по-видимому, также способны «перетасовывать» свой генетический материал различными способами. Вполне возможно, что изучение молекулярных основ рекомбинации у более сложных организмов приведет к открытию новых механизмов этого процесса.

Актуальность такого рода исследований объясняется тем, что естественные механизмы рекомбинации имеет смысл применить для замещения генов у многоклеточных организмов — это крайне важно для

сельского хозяйства и для лечения генетических заболеваний человека. Введение измененного гена в предназначенное для него место хромосомы требует точности, намного превосходящей точность современных мето-

дов генной инженерии. Те точные и изящные механизмы, которые избрала природа для перетасовки генетического материала, могли бы стать инструментами биотехнологии будущего.

Наука и общество

Включите свет!

ЧТО ПОЛУЧИТСЯ, если перенести ген из светлячка или светящегося микроорганизма в проросток табака?

Д. Хелински и его коллегам из Калифорнийского университета в Сан-Диего удалось осуществить перенос гена светлячка; сообщение об этом опубликовано в журнале «Science». Светлячок светится в результате того, что под действием фермента, называемого люциферазой, происходит реакция между низкомолекулярным

органическим соединением люциферин, аденозинтрифосфатом и кислородом. Идея перенести ген именно в табак возникла потому, что в клетки табака легко вводить чужеродные гены и из этих клеток легко регенерирует затем целое растение.

Эти исследователи соединили ген люциферазы с последовательностью ДНК одного из вирусов растений, которая обеспечивала экспрессию гена. Рекомбинантный ген ввели в бактерию *Agrobacterium tumefaciens*, при инфекции которой часть бактериальной ДНК переходит в клетки расте-



РАСТЕНИЕ ТАБАКА, клетки которого содержат ген люциферазы светлячка, светится в темноте, если его полить раствором, содержащим люциферин. Фотография К. Вуда из Калифорнийского университета в Сан-Диего (продолжительность экспозиции фотопленки 24 ч).

ния. Бактериями, несущими ген люциферазы, заразили клетки табака, а из них регенерировало целое растение. Это растение начинало светиться, если его поливали раствором, содержащим люциферин!

Группа сотрудников Томпсонского института по изучению растений при Корнеллском университете и Кельнского института растениеводства им. Макса Планка под руководством А. Шалаи выделили и соединили друг с другом два гена люциферазы из бактерии *Vibrio harveyi*, которая размножается на теле некоторых глубоководных рыб, благодаря чему те светятся. Эти результаты излагаются в журнале «Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.». Если в случае гена эукариотического организма — светлячка — для свечения полученного растения табака требовался люциферин, то в случае бактериальных генов нужны были деканал и флавиномононуклеотид. Причем приходилось погружать кусочки ткани растения в раствор этих веществ, так как растение не всасывало их через корневую систему.

Предполагается, что для исследований гены люциферазы можно использовать в роли сигнализаторов: они будут свидетельствовать об активности других генов. Для этого необходимо соединить ген-сигнализатор с промоторным участком интересующего гена и ввести в клетку, из которой затем регенерирует целый организм. Он будет светиться только тогда и при тех условиях, при которых активируется изучаемый ген. Таким образом, с помощью простейшего детектора света можно будет изучать различные генетические события. Группа А. Шалаи, а также исследователи из Томпсонского института, Техасского университета сельского хозяйства и техники и Университета шт. Джорджия уже получили первые результаты. Они соединили гены люциферазы с промотором генов нитрогеназы из бактерии *Bradyrhizobium japonicum*. Фермент нитрогеназы участвует в фиксации азота, происходящей в корневых клубеньках бобовых. «Химерная» последовательность была введена в бактериальную хромосому, а бактерии — в корневые клубеньки сои. Клубеньки начинали светиться, когда растение испытывало потребность в азоте.

В будущем, вероятно, станет возможным исследовать, как в ряду поколений проявляется активность гена, сообщающего злакам устойчивость к тому или иному заболеванию, изучать «расписание» активации различных генов в развивающемся зародыше. Созданная система в принципе

позволяет исследовать любой ген, включая гены человека. Как считает М. Де Люка из Калифорнийского университета в Сан-Диего, фотодетекционная система будет в 100—1000 раз более чувствительной и значительно более дешевой, чем те методы, которыми активность генов исследуется в настоящее время.

Обе группы исследователей подали заявку на патент, защищающий их разработки. Сейчас они пытаются ввести ген люциферазы в клетки других организмов: дрожжей, грибов, плодовой мушки, кролика, быка и обезьяны.

Открытие столь же неожиданное, сколь сомнительное

ГОД НАЗАД группа физиков объявила об открытии новой фундаментальной силы. До сих пор известны четыре фундаментальных взаимодействия — гравитационное, электромагнитное, слабое (два последних по существу имеют единую природу и называются электрослабыми силами) и сильное. Теперь некоторые физики утверждают, что говорить о пятом взаимодействии нет никаких оснований.

Теоретики во главе с Э. Фишбахом из Университета Пардю, доказывающие наличие пятой фундаментальной силы, сделали свое открытие в процессе изучения записей экспериментов, проведенных в начале XX в. в Будапеште бароном Роландом фон Этвешем. Этвеш измерял усилие, приложенное к крутильным весам, используя гири, сделанные из различных материалов. Его эксперименты рассматривались как попытка доказать справедливость точки зрения, впервые высказанной Галилеем, что гравитационные силы, действующие на объект, не зависят от состава этого объекта.

Так считалось до тех пор, пока Фишбах и его коллеги, статья которых была опубликована в журнале «Physical Review Letters», не сообщили, казалось бы, о незначительных вариациях в данных Этвеша, изменяющихся, по-видимому, в зависимости от числа барионов (протонов и нейтронов) на единицу массы гирь. По мнению ученых из группы Фишбаха, это наводит на мысль о существовании чувствительной к барионам силы, которая вызывает слабое взаимное отталкивание объектов и действует на расстоянии около 300 м. Ученые пишут, что существование такой силы объяснило бы некоторые вопросы, пока остающиеся без ответа, в частности о величине гравитационной

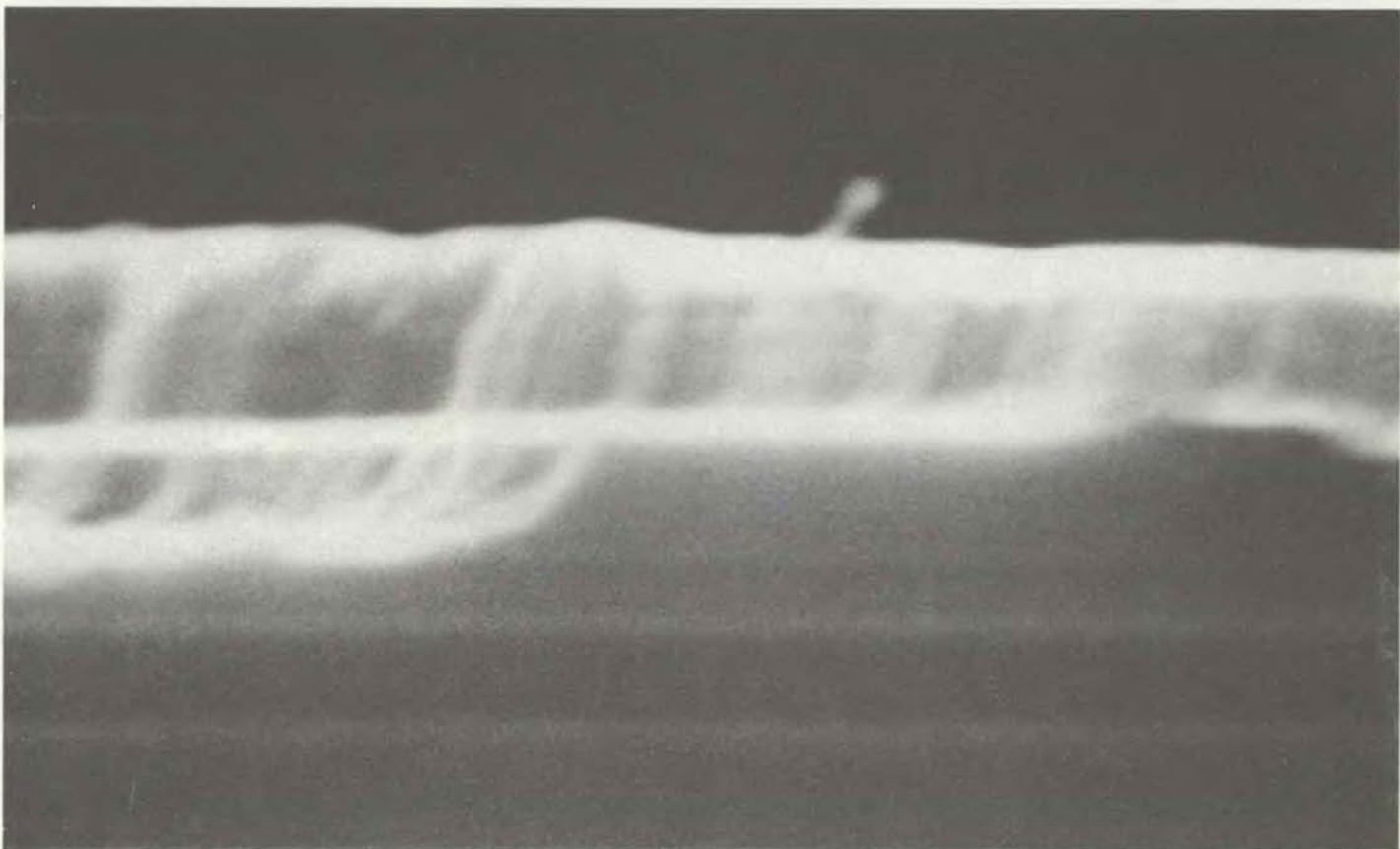
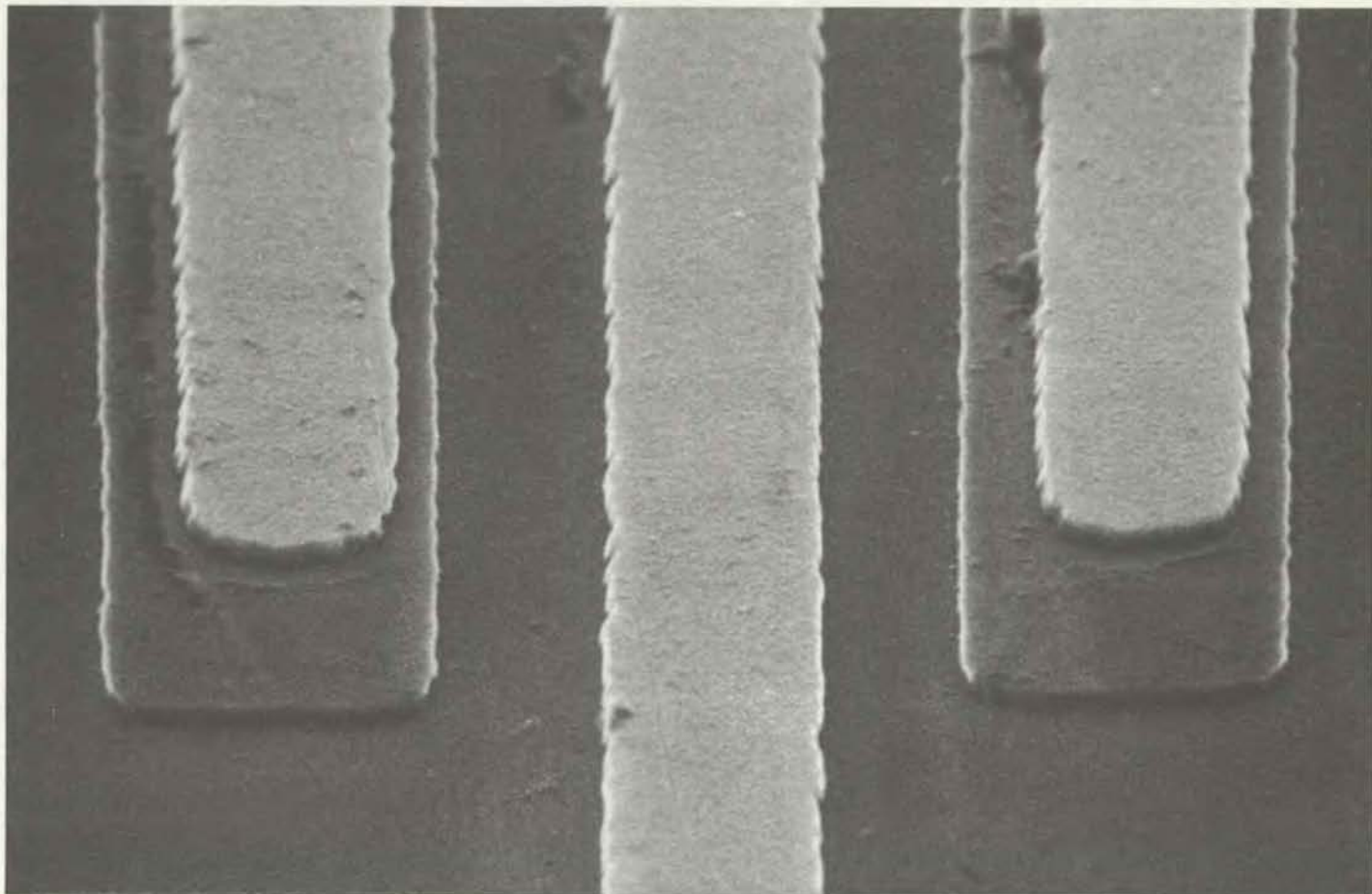
постоянной, которая больше под землей, чем на поверхности Земли.

Очень простое и очевидное объяснение вариациям данных венгерского ученого дал Суюам Чу из Калифорнийского университета в Риверсайде и Р. Дик из Принстонского университета. В их статье в журнале «Physical Review Letters» сообщается, что малейшие изменения температуры воздуха в лаборатории Этвеша вызвали едва заметные движения воздушных масс, что влияло на давление, действующее на гири, которое менялось пропорционально их размерам. Когда в 1950 г. Дик пытался воспроизвести опыты Этвеша, он учитывал такие конвекционные потоки. Поэтому Дик считает, что соображения Фишбаха могут быть и верны, но вряд ли это так.

По мнению Фишбаха, гипотеза Чу — Дика «весьма остроумна и достаточно внушительна, чтобы можно было надеяться на получение значимого результата при дальнейших более скрупулезных исследованиях». Однако, как считает Фишбах, сама по себе эта гипотеза не лишена слабых мест. Фишбах отмечает, что вариации в данных Этвеша носят постоянный характер на временном интервале в 4000 часов, в течение которых венгерский ученый проводил свои опыты. «Неужели можно допустить, что слабые перемещения воздушных масс в комнате остаются неизменными изо дня в день и из года в год?» — спрашивает Фишбах.

Как Дик, так и Фишбах согласны с тем, что этот спорный вопрос вскоре удастся решить экспериментальным путем. С помощью опытов, например, можно проверить, вызывают ли большие массы Земли силу отталкивания по отношению к близко расположенным объектам, изменяющуюся в зависимости от числа барионов. П. Тибергер из Национальной исследовательской лаборатории в Брукхейвене провел ряд экспериментов на Палисадесе — отвесных скалах над р. Гудзон в шт. Нью-Джерси. В. Фитч из Принстонского университета установил экспериментальные приборы на горе Монтана.

Если будет доказано, что пятое фундаментальное взаимодействие действительно существует, считает Фитч, то физикам-теоретикам, занимающимся поиском единой теории фундаментальных взаимодействий, не придется прекращать свою работу. Он отмечает, что «когда теоретики сталкиваются с новыми экспериментально доказанными фактами, они искусно прибегают ко всяким уловкам, чтобы не дать выбить почву у себя из-под ног».



ПРИБОР НА БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОНАХ, в котором электроны движутся через тонкий проводящий канал, не претерпевая столкновений (*вверху* — вид сверху, *внизу* — вид сбоку). Прибор состоит из ряда тонких полупроводниковых слоев, представляющих собой различные области, а именно эмиттер электронов (у поверхности прибора), ка-

нал, через который проходят электроны, и коллектор, где они собираются. На верхнем фото увеличение составляет примерно 10 000, на нижнем — примерно 100 000. Фотографии сделаны М. Розенфилдом, К. Алиотта и Г. Уилсоном в Исследовательском центре им. Т. Уотсона фирмы IBM.

Баллистические электроны в полупроводниках

Приборы, в которых электрический ток создается движением электронов, не претерпевающих рассеяния, в принципе должны обладать гораздо более высоким быстродействием, чем существующие типы приборов. Структуры такого рода позволяют более глубоко изучить квантовомеханические свойства электронов

МОРДЕХАЙ ХАЙБЛУМ, ЛЕСТЕР Ф. ИСТМЕН

В КИНЕСКОПЕ телевизора электроны движутся от катода к экрану баллистически, т. е. по плавным траекториям, не прерываемым никакими столкновениями или взаимодействиями с другими частицами. Внутри кинескопа содержится очень мало молекул газа, поэтому они рассеивают лишь очень незначительное число электронов. Между тем в полупроводниковых приборах, например в транзисторах, движение электронов постоянно прерывается рассеянием. Каждый электрон претерпевает многократное рассеяние и во всех возможных направлениях, так что его движение напоминает хаотическое движение молекулы в обычном газе или в жидкости. Протяженность траектории электрона при таком хаотическом движении намного больше расстояния по прямой между начальным и конечным его положениями. Таким образом, результирующая скорость потока электронов в направлении электрического поля намного меньше реальной скорости электронов. Если бы электроны каким-то образом получили возможность двигаться в полупроводнике, не испытывая рассеяния, т. е. баллистически, это позволило бы резко повысить быстродействие транзисторов.

Такое баллистическое движение электронов уже удалось осуществить. В результате исследований, проведенных нами в Исследовательском центре им. Т. Уотсона фирмы IBM в Йорктаун-Хайтсе, а также благодаря работе специалистов других научных учреждений были выявлены условия, при которых электроны можно заставить двигаться баллистически, а недавно удалось убедительно продемонстрировать баллистическое движение электронов в полупроводниковых приборах.

Наш интерес к баллистическим электронам вызван как практически, так и научными соображениями. С практической точки зрения баллистические электроны могут стать основой для создания нового поколения электронных приборов, по меньшей мере на порядок превосходящих по быстродействию существующие приборы. С научной точки зрения приборы на баллистических электронах делают возможным более глубокое изучение квантовомеханических свойств когерентных электронов в полупроводниках, поскольку баллистические электроны в полупроводнике, подобно баллистическим электронам в кинескопе, могут рассматриваться как свободно движущиеся квантовомеханические волновые пакеты; они демонстрируют волновые эффекты, такие как интерференция, которые обычно наблюдаются при взаимодействии электромагнитных волн.

В ЭЛЕКТРОВАКУУМНОЙ лампе электроны могут двигаться баллистически, потому что расстояние, проходимое ими внутри лампы, меньше средней длины их свободного пробега (т. е. расстояния, на которое в среднем перемещается электрон между столкновениями с теми немногими молекулами газа, которые присутствуют в лампе). В полупроводниках невозможно избавиться от столкновений таким же простым способом. Как ни странно, высокая плотность твердой среды сама по себе не является препятствием для баллистического движения, хотя расстояния между атомами в полупроводнике в 10 тыс. раз меньше, чем расстояния между молекулами газа в электровакуумной лампе. Плотнупакованные атомы полупроводника не должны рассеивать электроны, потому что в кри-

сталлическом твердом веществе атомы образуют периодическую решетку, т. е. они расположены в повторяющемся порядке на равных расстояниях. Согласно квантовомеханической теории, для математического описания движения электрона его можно в некоторых отношениях уподобить волне. Именно благодаря своим волновым свойствам электрон не претерпевает рассеяния, когда он взаимодействует с идеальной кристаллической решеткой периодически расположенных атомов. Этот поразительный результат, к которому пришел Феликс Блох в 1928 г., является фундаментальным положением физики твердого тела. (Следует, однако, отметить, что электрон в кристалле ведет себя не как свободный электрон в вакууме, а как более легкая частица с некоторой «эффективной массой», по величине меньшей, чем масса свободного электрона, и некоторой максимальной скоростью; эффективная масса и максимальная скорость электрона определяются свойствами кристаллической среды, в которой он движется.)

В любом реальном кристалле при любой температуре, превышающей абсолютный нуль, фактическое расположение атомов лишь приближенно может быть представлено в виде идеальной периодической решетки. Во-первых, атомы твердого вещества всегда находятся в состоянии теплового движения (речь идет о хаотическом колебательном движении, которое обусловлено поступлением тепловой энергии из окружающей среды). Тепловые колебания создают волны сжатия и расширения, перемещающиеся в кристалле, и электроны могут рассеиваться этими волнами, поскольку последние нарушают идеальное периодическое расположение ато-

мов. Когда электрон рассеивается колебанием решетки, он получает энергию от кристалла или передает ему свою энергию, причем в обоих случаях передача энергии осуществляется строго определенными порциями, или квантами. Такой акт рассеяния называют неупругим столкновением.

Электроны в полупроводниках могут рассеиваться не только колебаниями решетки, но и примесными ионами, которые всегда присутствуют в реальных материалах. Примесные ионы распределены в полупроводнике хаотически, они не образуют периодическую решетку и потому могут рассеивать электронные волны. Столкновения с ионами не приводят к заметному изменению энергии электронов (потому что масса иона намного больше массы электрона), но они изменяют направление движения электронов. Такие столкновения называются упругими. Существуют также многие другие виды рассеяния электронов, например рассеяние на неупругих столкновениях с другими электронами, на нарушениях и структурных дефектах кристаллической решетки. Эти столкновения уменьшают среднюю длину свободного пробега электронов в полупроводниках.

В СУЩЕСТВУЮЩИХ полупроводниковых приборах электронный ток протекает через участки кристал-

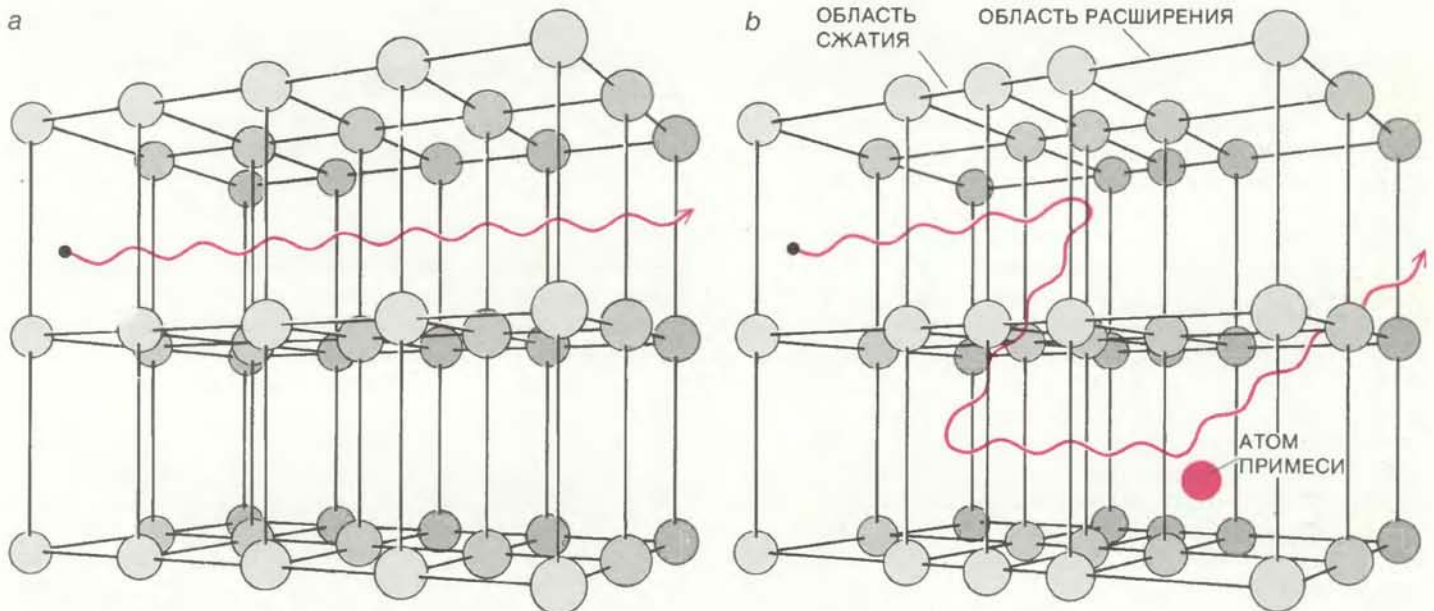
ла, длина которых во много раз больше средней длины свободного пробега электронов. Чтобы дать электронам возможность двигаться баллистически, следует либо увеличить среднюю длину свободного пробега (путем выбора соответствующих полупроводниковых материалов и получения высокочистых кристаллов этих материалов), либо существенно уменьшить длину участка, через который течет ток (для чего требуются сложные технологические приемы).

Чтобы проиллюстрировать сложное поведение электронов, проходящих через небольшие участки кристалла, рассмотрим типичный полупроводниковый прибор — полевой транзистор. В полевом транзисторе электроны движутся под действием приложенного напряжения от области «исток» через область малой толщины «канал» к области «сток» (см. рисунок на с. 47). Вблизи канала находится металлический контакт «затвор». Когда к затвору приложено отрицательное напряжение, оно создает электрическое поле, выталкивающее электроны из части канала. В результате эффективная ширина проводящего канала уменьшается, его сопротивление растет и протекание тока от истока к стоку затрудняется. Таким образом, транзистор может действовать как усилитель: небольшое изменение напряжения затвора мо-

жет создавать значительное изменение величины тока, протекающего через прибор.

Наиболее важным размером полевого транзистора с точки зрения быстродействия является длина затвора. Скорость, с которой электроны проходят через канал, находящийся под затвором и между областями истока и стока, определяет величину промежутка времени, необходимого для того, чтобы прибор среагировал на изменение напряжения затвора. В типичном полевом транзисторе среднего применения длина канала составляет около 1 мкм, что в 10-100 раз больше средней длины свободного пробега электронов (в зависимости от того, из какого полупроводникового материала сделан прибор), так что электроны не могут двигаться баллистически.

Что именно происходит с электронами в процессе их небаллистического перемещения от истока к стоку? Электроны, покидающие исток, сначала ускоряются напряжением, приложенным между истоком и стоком. На определенном расстоянии от истока (приблизительно равном средней длине свободного пробега) средняя скорость электронов достигает максимума. При дальнейшем увеличении расстояния от истока средняя скорость электронов медленно снижается, достигая постоянного значения. Это яв-



РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ в полупроводниках обусловлено тепловыми колебаниями (т. е. колебаниями, вызванными нагревом) атомов кристаллической решетки полупроводника и примесных атомов, присутствующими практически в любом полупроводниковом материале. В идеальном кристалле атомы образуют строго периодическую решетку (а). Они заряжены положительно, поскольку принадлежащие им валентные электроны покидают их и образуют связи, обеспечивающие прочность кристалла. Эти положительно заряженные атомы создают электрический потенциал, периодически изменяющийся в пространстве. Со-

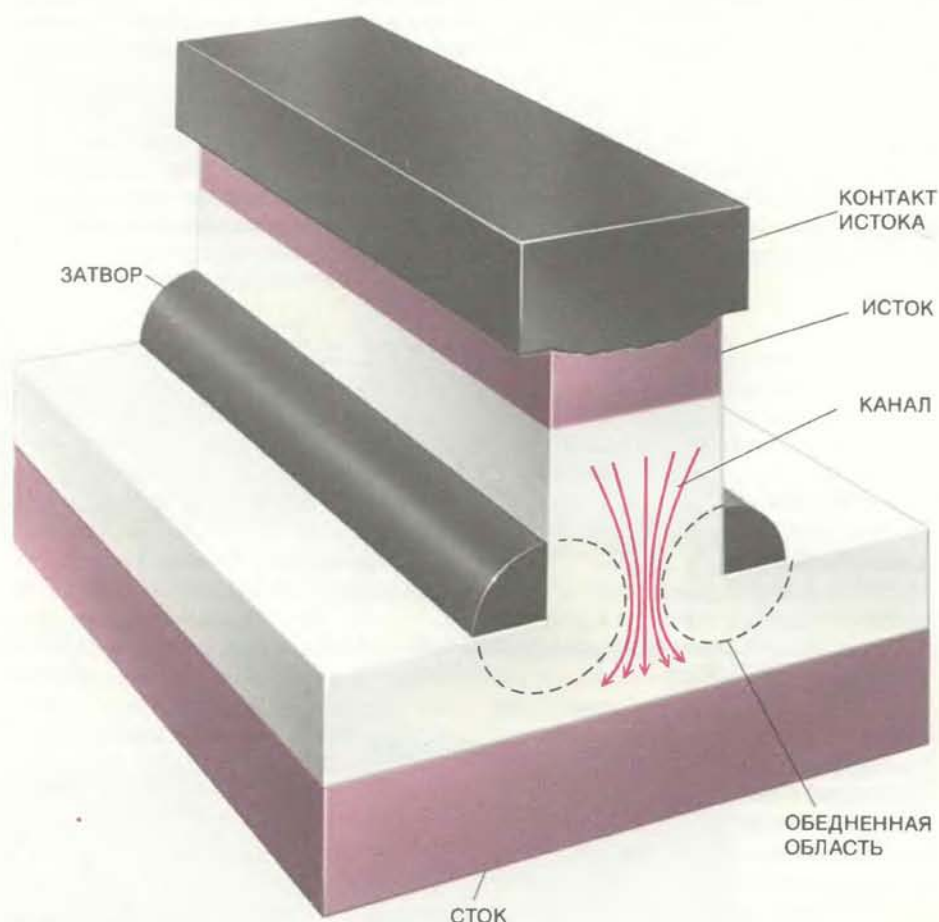
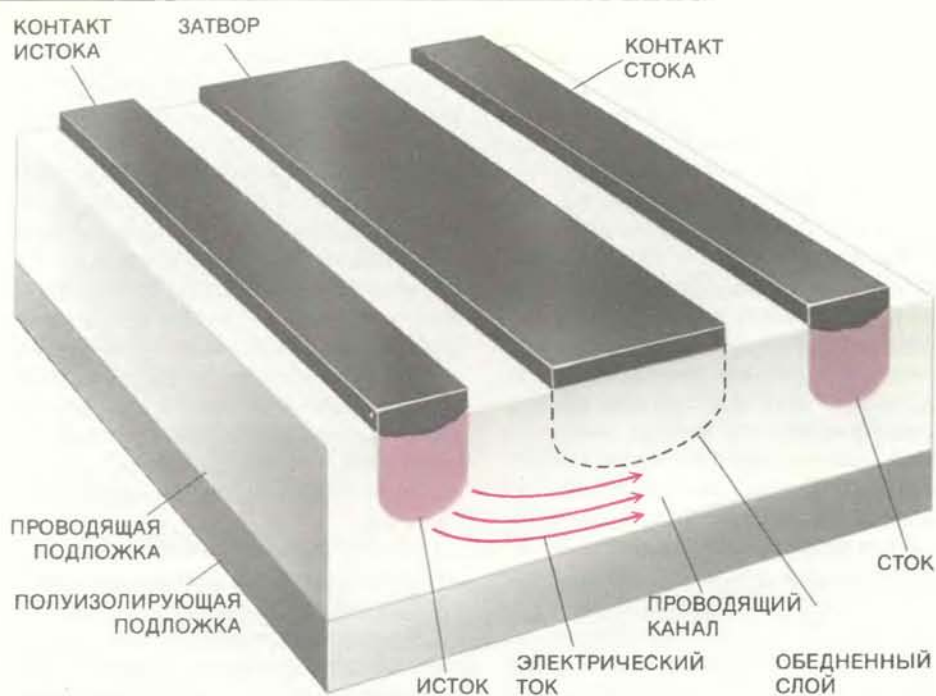
гласно квантовомеханической теории, электроны обладают волновыми свойствами и благодаря этому взаимодействуют с периодическим потенциалом кристаллической решетки таким образом, что они проходят через кристалл, не претерпевая никакого рассеяния. В реальном кристалле в результате тепловых колебаний возникают волны расширения и сжатия, нарушающие периодический потенциал (b). Перемещающиеся области кристалла, которые искажают потенциал, рассеивают электроны. Кроме того, электроны рассеиваются на содержащихся в кристалле примесных атомах.

ление называют скачком скорости. Спад скорости обусловлен главным образом неупругими столкновениями электронов с колебаниями решетки.

Если бы движение электронов в кристалле могло быть баллистическим, они бы первоначально ускорялись таким же образом, как электроны, движущиеся под действием электрического поля в свободном пространстве (хотя в полупроводнике электроны имеют меньшую эффективную массу): их скорость была бы приблизительно пропорциональна корню квадратному из пройденного ими расстояния. Однако даже в отсутствие столкновений электроны не могли бы ускоряться бесконечно. Благодаря характеру взаимодействия электронов с периодической решеткой они бы в конце концов достигли некоторой максимальной скорости. Эта максимальная скорость определяется кристаллической структурой и атомным составом полупроводника, а также тем, в каком направлении движется электрон относительно плоскостей кристаллической решетки.

Средняя скорость перемещения электрона от истока к стоку лежит где-то посередине между скоростью, с которой он покидает исток, и максимальной скоростью, которой он может достигнуть в данном полупроводнике. Очевидно, средняя скорость электрона была бы гораздо больше (а быстродействие прибора гораздо выше), если бы удалось «запустить» электрон в проводящий канал на максимально возможной для него скорости. В баллистических приборах, которые мы создали, нам удалось получить именно такой эффект. Чтобы понять, как осуществляется этот «запуск» и как устроены сами баллистические приборы, необходимо сначала получить представление о некоторых свойствах полупроводниковых материалов.

САМЫМ распространенным полупроводниковым материалом является кремний. Каждый атом в кристалле кремния имеет четыре валентных электрона, которые одновременно принадлежат четырем соседним атомам (валентными называются внешние электроны атомной оболочки, принимающие участие в химических реакциях). Электроны создают силы взаимодействия, прочно удерживающие атомы кристаллической решетки на фиксированных местах. В некоторых полупроводниковых соединениях, таких как арсенид галлия, один атом (галлий) имеет только три валентных электрона, а другой (мышьяк) — пять, так что среднее число электронов связи на атом все



В ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ стандартной конфигурации (вверху) электроны движутся через проводящий канал от истока к стоку. Обе эти области изготовлены из полупроводника с высокой электропроводностью. Когда на металлический «затвор», находящийся над каналом, подается отрицательный потенциал, электроны выталкиваются из части канала, называемой обедненным слоем; проводящий канал как бы сужается, и текущий через него ток уменьшается. Транзистор способен усиливать: небольшое изменение напряжения затвора приводит к большому изменению тока. Скорость, с которой транзистор реагирует на изменение напряжения, непосредственно связана со скоростью перемещения электронов от истока к стоку. В новом варианте структуры полевого транзистора (внизу) исток и сток — это тонкие слои полупроводника, последовательно выращиваемые один на другом. За счет этого путь электронов от истока к стоку можно сделать очень коротким (и быстродействие прибора очень высоким), если канал сделать в виде слоя очень малой толщины. В таком приборе электроны могут двигаться баллистически.

равно оказывается равным четырем. Электроны не могут создать электрический ток, когда они строго локализованы между двумя ядрами: чтобы электрон мог свободно перемещаться по кристаллу, он должен получить некоторое количество энергии, которое превратит его из электрона связи (валентного электрона) в электрон проводимости. Таким образом, электроны проводимости имеют более высокую потенциальную энергию в электрическом поле, чем электроны связи, наподобие того как спутник, находящийся высоко над Землей, имеет более высокую энергию в гравитационном поле, чем спутник, готовящийся к запуску. Разность между минимальной потенциальной энергией электронов проводимости в полупроводнике и максимальной потенциальной энергией валентных электронов называется запрещенной зоной. Ширина запрещенной зоны в разных полупроводниках может быть различной.

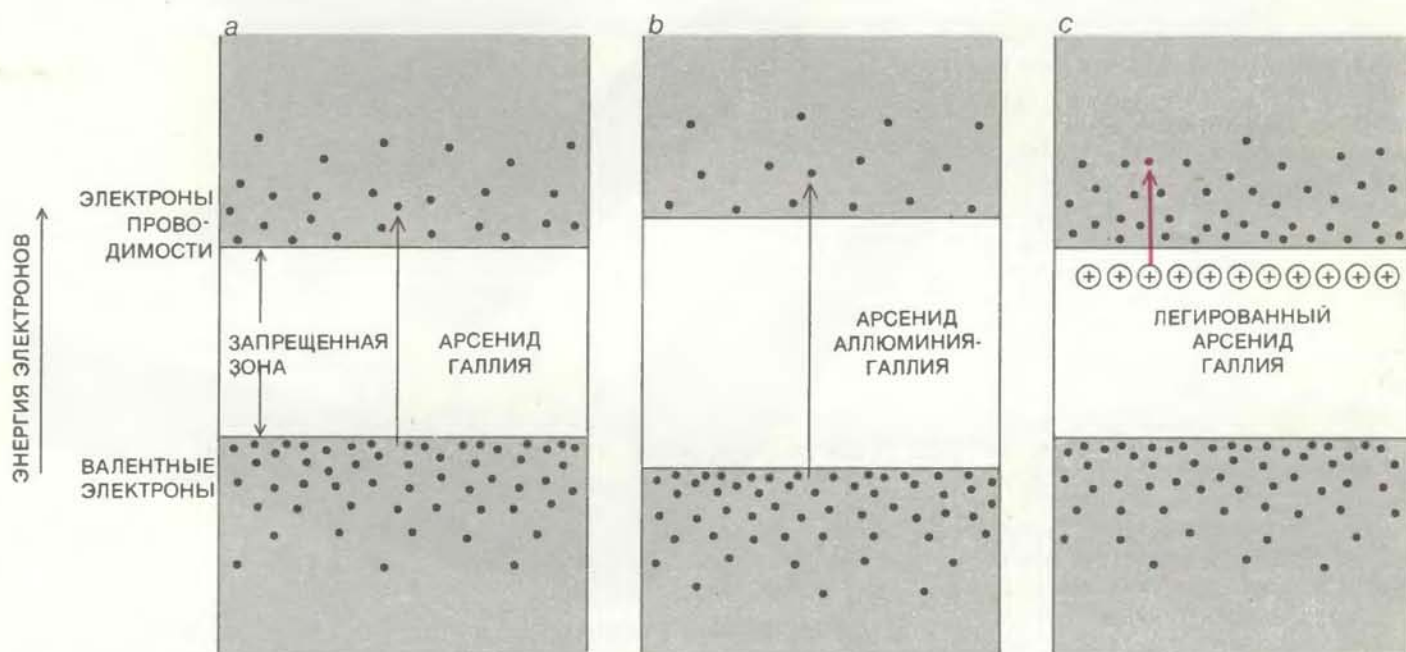
В большинстве широко используемых полупроводников при комнатной температуре лишь незначительная часть электронов получает достаточную тепловую энергию, чтобы стать электронами проводимости (для этого им понадобилась бы тепловая энергия, превышающая ширину за-

прещенной зоны), так что большинство чистых полупроводников очень плохо проводит электрический ток. Чтобы полупроводник лучше проводил электрический ток, его можно легировать, т. е. ввести в него сравнительно небольшое количество примесного элемента. Например, можно легировать кремний, введя в него атомы элемента, имеющего пять валентных электронов, такого как фосфор или мышьяк. Поскольку для создания связей в кристалле требуются лишь четыре электрона на атом, пятый электрон может освободиться и стать проводником электрического тока, получив лишь небольшое количество энергии.

Чистый арсенид галлия имеет более широкую запрещенную зону, чем чистый кремний, поэтому при комнатной температуре он еще хуже проводит электрический ток. Однако можно сделать арсенид галлия более проводящим, если легировать его такими элементами, как кремний; атомы кремния замещают атомы галлия, при этом один из четырех валентных электронов атома кремния освобождается и начинает участвовать в переносе электрического тока. Из известных полупроводниковых материалов арсенид галлия является одним из

наиболее подходящих для создания приборов на баллистических электронах, на что впервые указал один из авторов (Истмен) в 1977 г. В арсениде галлия электроны имеют более высокую максимальную скорость, чем в кремнии (в арсениде галлия максимальная скорость составляет около 10^8 см/с, а в кремнии примерно $2 \cdot 10^7$ см/с), и вероятность их рассеяния на колебаниях решетки меньше. Средняя длина свободного пробега электронов в арсениде галлия со средним уровнем легирования составляет около 100 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$), что примерно в 10 раз больше, чем средняя длина свободного пробега электронов в кремнии.

Полупроводниковый материал, который часто используется в сочетании с арсенидом галлия, — это сплав алюминий — галлий — мышьяк, или арсенид алюминия-галлия. Когда атомы алюминия замещают атомы галлия в кристаллической решетке арсенида галлия, электроны не освобождаются, потому что алюминий и галлий имеют одно и то же число валентных электронов. Любое число атомов галлия может быть замещено атомами алюминия. Поскольку структура кристаллической решетки арсенида алюминия-галлия подобна



ДИАГРАММЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОН полупроводников объясняют многие свойства этих материалов. В кристалле полупроводника объединение атомов достигается благодаря тому, что валентные (внешние) электроны соседних атомов образуют между собой парные связи. Эти связанные электроны локализованы между атомами и не могут перемещаться по кристаллу, а следовательно, не могут участвовать в переносе тока. Они могут стать электронами проводимости только в том случае, если получат некоторое количество энергии. Разность энергий валентных электронов и электронов проводимости, называемая ши-

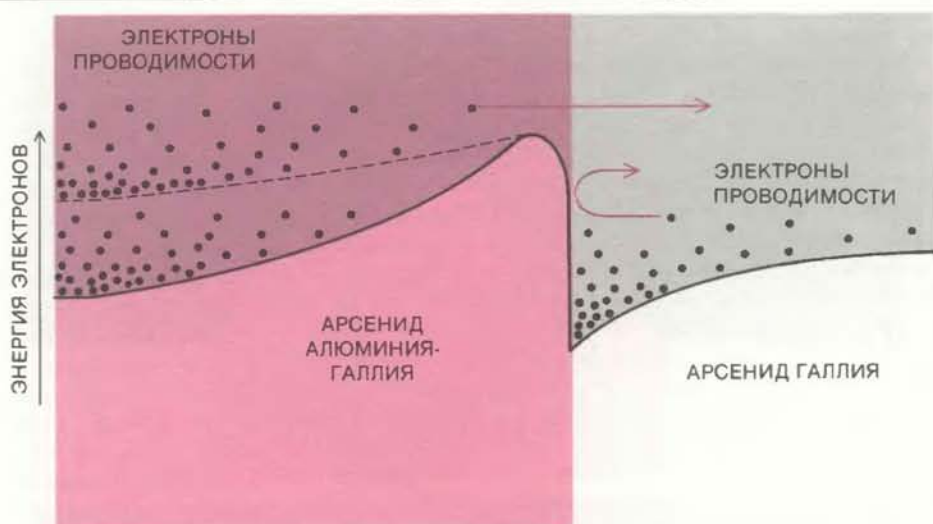
риной запрещенной зоны, различна в разных полупроводниках. Так, например, ширина запрещенной зоны арсенида галлия (а) меньше, чем арсенида алюминия — галлия (b). Можно увеличить проводимость полупроводника с помощью так называемого легирования, т. е. путем введения атомов, имеющих больше электронов, чем нужно для образования связей, а потому легко отдающих электроны (с). Чтобы электроны, принадлежащие примесным атомам (красный), стали электронами проводимости, требуется гораздо меньше энергии. Лишившись своих электронов, примесные атомы приобретают положительный заряд.

структуре решетки арсенида галлия, можно вырастить кристалл одного полупроводника непосредственно на поверхности другого таким образом, что согласование кристаллических решеток будет почти идеальным. Такая конфигурация известна под названием «гетеропереход».

Одно из самых важных отличий арсенида алюминия-галлия от арсенида галлия состоит в том, что эти материалы имеют разную ширину запрещенной зоны. Ширина запрещенной зоны в сплавах алюминий — галлий — мышьяк прямо пропорциональна количеству алюминия, которое они содержат, так что сплавы алюминий — галлий — мышьяк с высоким содержанием алюминия имеют большие значения ширины запрещенной зоны, чем чистый арсенид галлия или сплавы алюминий — галлий — мышьяк с малым содержанием алюминия. Таким образом, электроны проводимости на той стороне гетероперехода, где находится алюминий — галлий — мышьяк, имеют большую потенциальную энергию, чем электроны на стороне арсенида галлия. Когда электроны проводимости, движущиеся в арсениде алюминия — галлия, проходят в арсенид галлия, их избыточная потенциальная энергия сразу превращается в кинетическую энергию, и они почти мгновенно приобретают очень высокую скорость.

ТАКОЙ гетеропереход может быть использован в качестве инжектора баллистических электронов. Он представляет собой одно из решений проблемы значительного повышения скорости электронов перед их входом в канал транзистора. Получив ускорение, такие электроны будут двигаться в канале баллистически. Существует еще два типа инжекторов, с помощью которых можно осуществлять запуск электронов, обладающих повышенной или нужной величиной энергии. Это так называемый барьер с легированной плоскостью (одним из вариантов которого является барьер с легированным слоем, или *camel barrier*) и туннельный барьер.

Чтобы получить барьер с легированной плоскостью, создают плоскость отрицательно заряженных ионов (например, атомов бериллия, которые в нормальном состоянии имеют только два валентных электрона, а получив дополнительный электрон, становятся ионами) в тонком слое нелегированного арсенида галлия, который в свою очередь заключен между двумя областями сильнолегированного арсенида галлия, имеющими высокую плотность электронов (см. рисунок на с. 50). Атомы в плоскости ле-

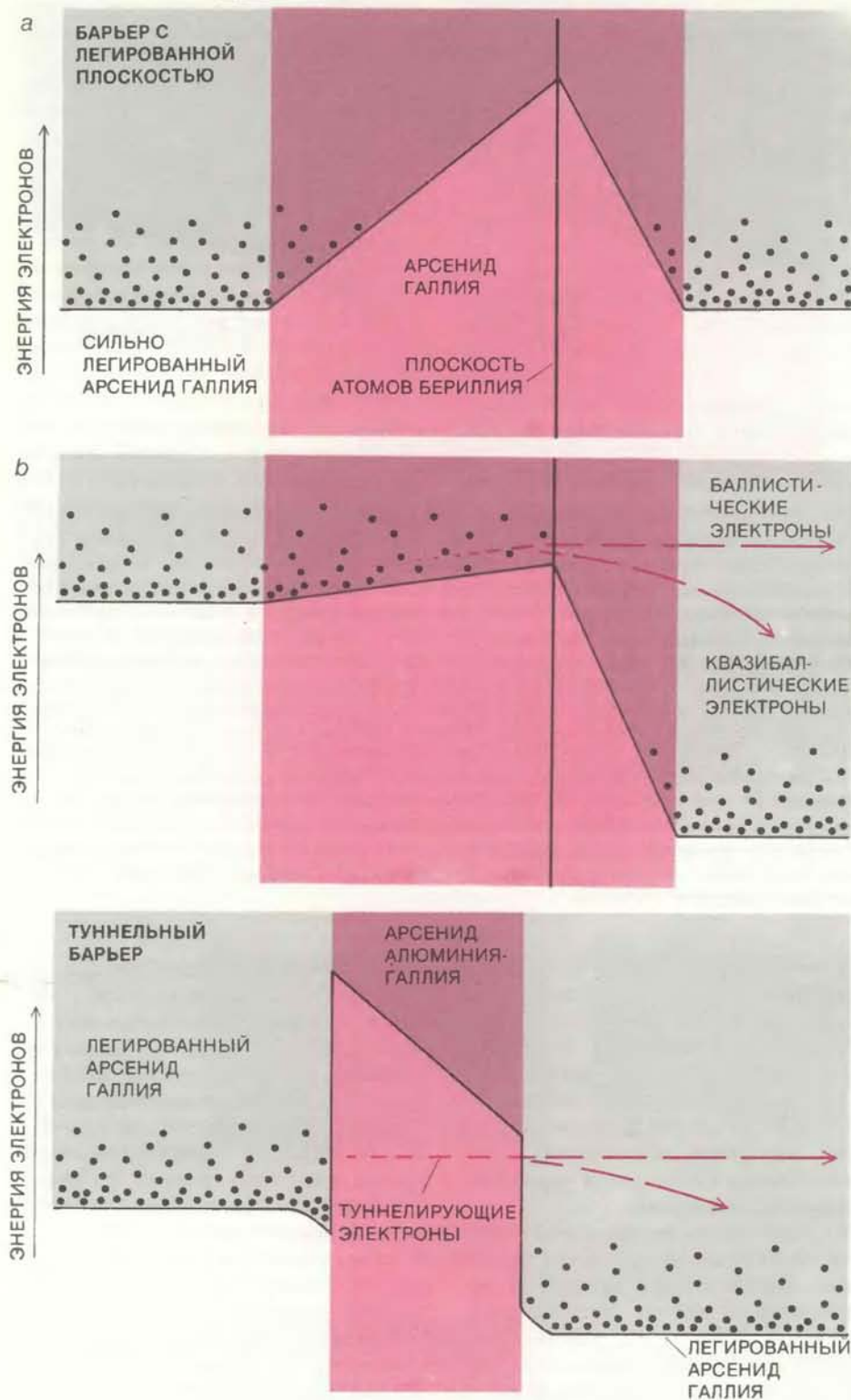


ГЕТЕРОПЕРЕХОД, представляющий собой границу раздела между двумя последовательно выращенными слоями различных полупроводников (в данном случае арсенида галлия и арсенида алюминия — галлия), позволяет инжектировать электроны, движущиеся с высокой скоростью, в один из этих полупроводников. В арсениде алюминия-галлия, находящемся по одну сторону гетероперехода, электроны проводимости имеют более высокую потенциальную энергию, чем в арсениде галлия, находящемся по другую сторону. (Ход кривых потенциальной энергии в каждом полупроводнике обусловлен близким соседством другого полупроводника.) Когда к гетеропереходу прикладывается напряжение, вид функции потенциальной энергии изменяется (*пунктирная линия*), и электроны переходят из арсенида алюминия-галлия в арсенид галлия. При этом их потенциальная энергия уменьшается, но суммарная энергия остается неизменной. Это означает, что кинетическая энергия электронов возрастает, а значит, возрастает их скорость (*верхняя область в цвете*). Что касается электронов, находящихся в арсениде галлия, то их энергия недостаточна для перехода в арсенид алюминия-галлия, и они уходят от границы раздела (*центральная часть цветной области*).

гирования (атомы бериллия) создают плоскость отрицательного электрического заряда. Плоскость отрицательного заряда отталкивает электроны проводимости, поэтому пройти через нее, т. е. перейти из одной легированной области арсенида галлия в другую, могут лишь те электроны, которые обладают некоторым минимальным запасом энергии.

С точки зрения распределения энергии плоскость, легированная бериллием, соответствует максимуму потенциальной энергии. В сильнолегированной области на одном конце прибора потенциальная энергия имеет малую величину, в нелегированной области арсенида галлия она увеличивается, достигая максимума в плоскости отрицательных ионов и уменьшается по мере удаления от этой плоскости в направлении к другому краю нелегированного участка, снова достигая малой величины в другой сильнолегированной области. Максимальная величина энергии (необходимая для перехода) пропорциональна количеству отрицательных ионов и может достигать значения, равного ширине запрещенной зоны материала. (В барьере с легированным слоем атомы бериллия распределены более широко, чем в барьере с легированной пло-

костью, хотя и сосредоточены в достаточно тонком слое; поэтому энергетический максимум расплывается, превращаясь в «горб».) Поместив плоскость, легированную бериллием, ближе к одному краю нелегированной области арсенида галлия, можно получить барьер с высокой степенью асимметрии, одна сторона которого длинная и пологая, а вторая короткая и крутая. Если к краю прибора, соответствующему длинной стороне барьера, приложить отрицательный потенциал, электроны на этой стороне приобретают большую потенциальную энергию и движутся по направлению к плоскости отрицательных ионов. Получается, что пологий край барьера как бы приподнимается и становится еще более пологим. В результате некоторые электроны приобретают достаточную тепловую энергию, чтобы пройти через плоскость отрицательных ионов. Оказавшись на крутом краю потенциального максимума, эти электроны быстро ускоряются и на высокой скорости инжектируются в прилегающую область сильнолегированного арсенида галлия, при условии что протяженность крутого склона барьера много меньше средней длины свободного пробега электронов.



ДВА ТИПА ИНЖЕКТОРОВ баллистических электронов, осуществляющих запуск быстрых электронов в полупроводник, — барьер с легированной плоскостью и туннельный барьер. Первый получают путем создания плоскости атомов бериллия в образце арсенида галлия (а). Такой образец помещают между двумя областями арсенида галлия, легированными примесью, которая создает высокую концентрацию электронов. Атомы бериллия, присоединяющие к себе электроны, образуют отрицательно заряженную плоскость. Этот отрицательный заряд представляет собой энергетический «холм», который электроны не могут преодолеть. При подаче соответствующего потенциала на одну из областей, богатых электронами (b), энергия электронов в этой области повышается, и они преодолевают холм. Чтобы получить туннельный барьер (внизу), между двумя областями легированного арсенида галлия помещают тонкий слой арсенида алюминия-галлия. Электроны в арсениде галлия не могут перейти в арсенид алюминия-галлия, но, согласно квантовомеханической теории, существует некоторая вероятность туннелирования электронов сквозь этот слой. Если между двумя областями арсенида галлия приложено такое напряжение, что электроны в одной области имеют более высокую потенциальную энергию, чем в другой, то эти электроны будут туннелировать через барьер.

РАССМОТРИМ второй тип инжектора баллистических электронов, в качестве которого, как уже упоминалось, можно использовать туннельный барьер. Конструктивно такой инжектор представляет собой очень тонкий слой нелегированного арсенида алюминия-галлия, помещенный между двумя областями легированного арсенида галлия, имеющими высокую плотность электронов. В принципе слой арсенида алюминия-галлия должен действовать как барьер, через который электроны не могут пройти. Однако, если толщина барьера менее 10 нм, электроны, находящиеся по обе его стороны, имеют некоторую вероятность пройти через барьер посредством квантовомеханического процесса, известного под названием «туннелирование». Для любого отдельно взятого электрона вероятность туннелирования очень мала, но, поскольку в легированном арсениде галлия содержится очень много электронов, число туннелирующих электронов оказывается достаточно большим. Если к двум областям легированного арсенида галлия не приложено никакого напряжения, среднее число электронов, туннелирующих в одном направлении, в точности равно среднему числу электронов, туннелирующих в обратном направлении, так что результирующий ток через барьер равен нулю. Если же между двумя областями арсенида галлия, находящимися по обе стороны от барьера, приложено напряжение (иначе говоря, если одной области легированного арсенида галлия сообщается более высокая потенциальная энергия, чем другой), то число электронов, туннелирующих из области с высокой потенциальной энергией, намного превосходит число электронов, туннелирующих в обратном направлении, и через барьер течет ток.

Вероятность туннелирования электронов зависит как от величины приложенного напряжения, так и от толщины барьера. Суммарная энергия электрона не изменяется при туннелировании, потому что туннелирование представляет собой упругий процесс; таким образом, когда электроны туннелируют из области, где они имеют высокую потенциальную энергию, в область с низкой потенциальной энергией, их кинетическая энергия возрастает, а это означает, что происходит инжекция электронов, обладающих высокой скоростью. Кроме того, в туннелировании участвуют преимущественно те электроны, которые подходят к барьеру с наибольшей скоростью и движутся в направлениях, наиболее близких к перпендикуляру к поверхности барьера; в результате инжектируемые электроны образуют

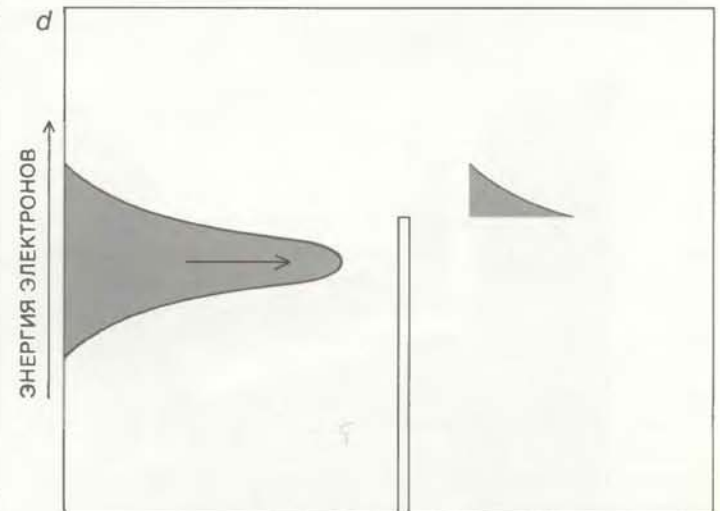
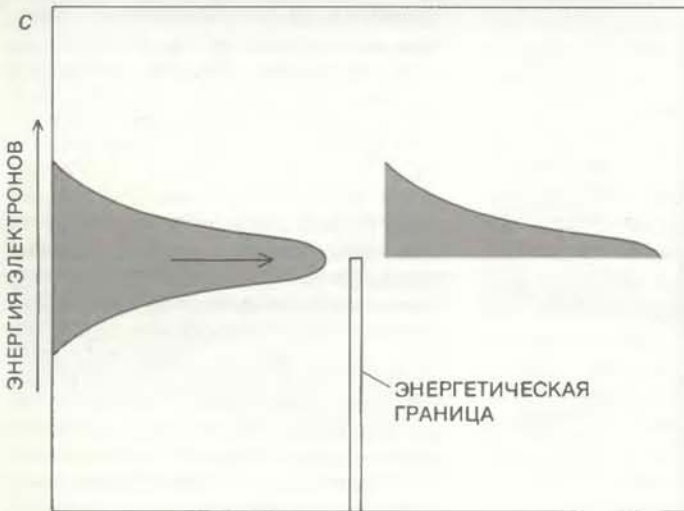
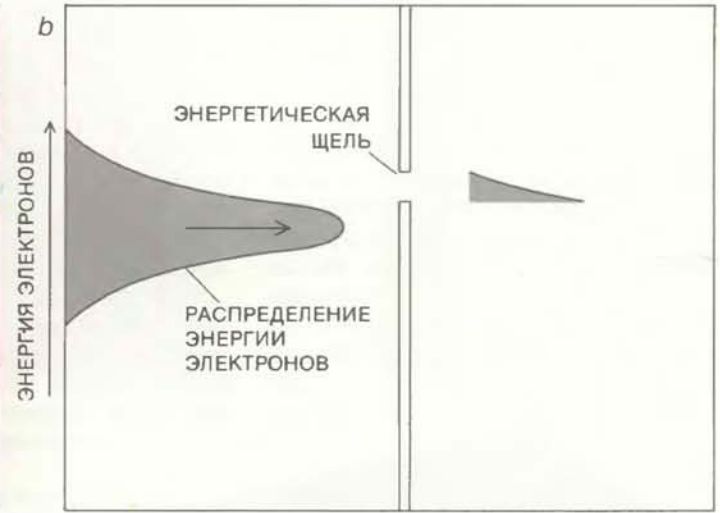
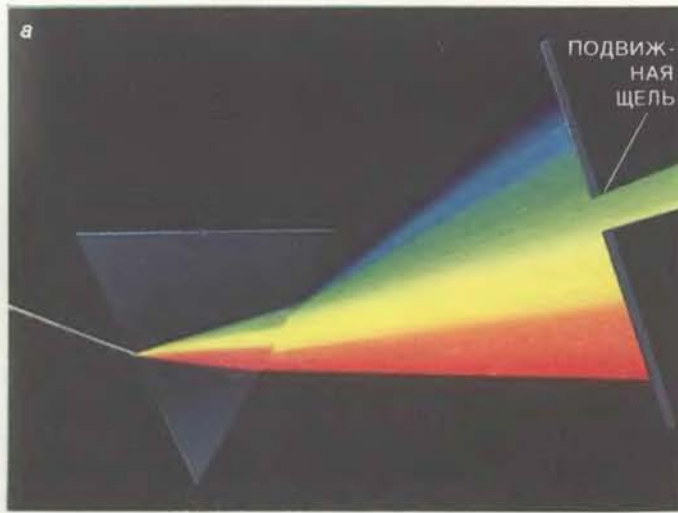
высокоэнергетический пучок, направленный преимущественно прямо вперед, т. е. перпендикулярно плоскости барьера. Следует также отметить, что кинетическая энергия, приобретаемая электронами при инжекции, линейно зависит от приложенного напряжения, так что ее легко регулировать. Таким образом, туннельный барьер особенно хорошо подходит для использования в приборах с баллистическими электронами.

Новый прибор, в котором используется инжектор баллистических электронов, известен под названием «вертикальный транзистор». В большинстве имеющихся в продаже транзисторов области истока и стока сформированы в тонкой пластине полупроводника в горизонтальной плоскости, и электроны движутся из од-

ной области в другую в виде потока, параллельного поверхности пластины. В вертикальном транзисторе эти области представляют собой слои, выращенные один на другом.

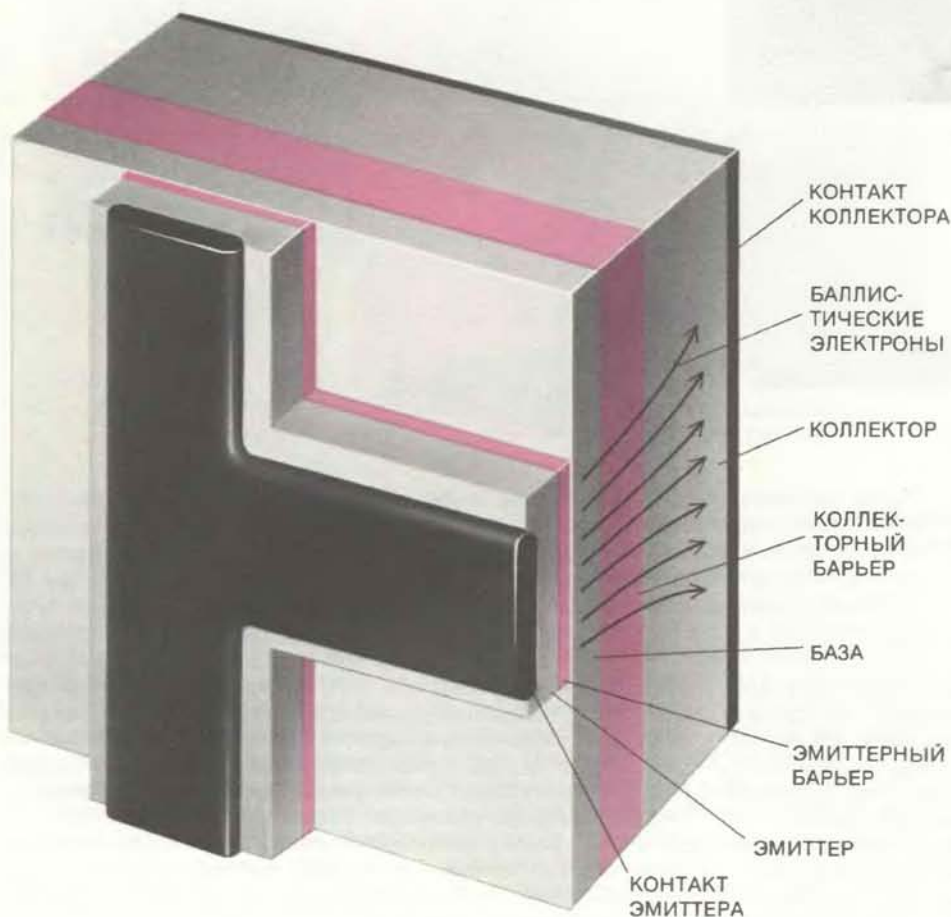
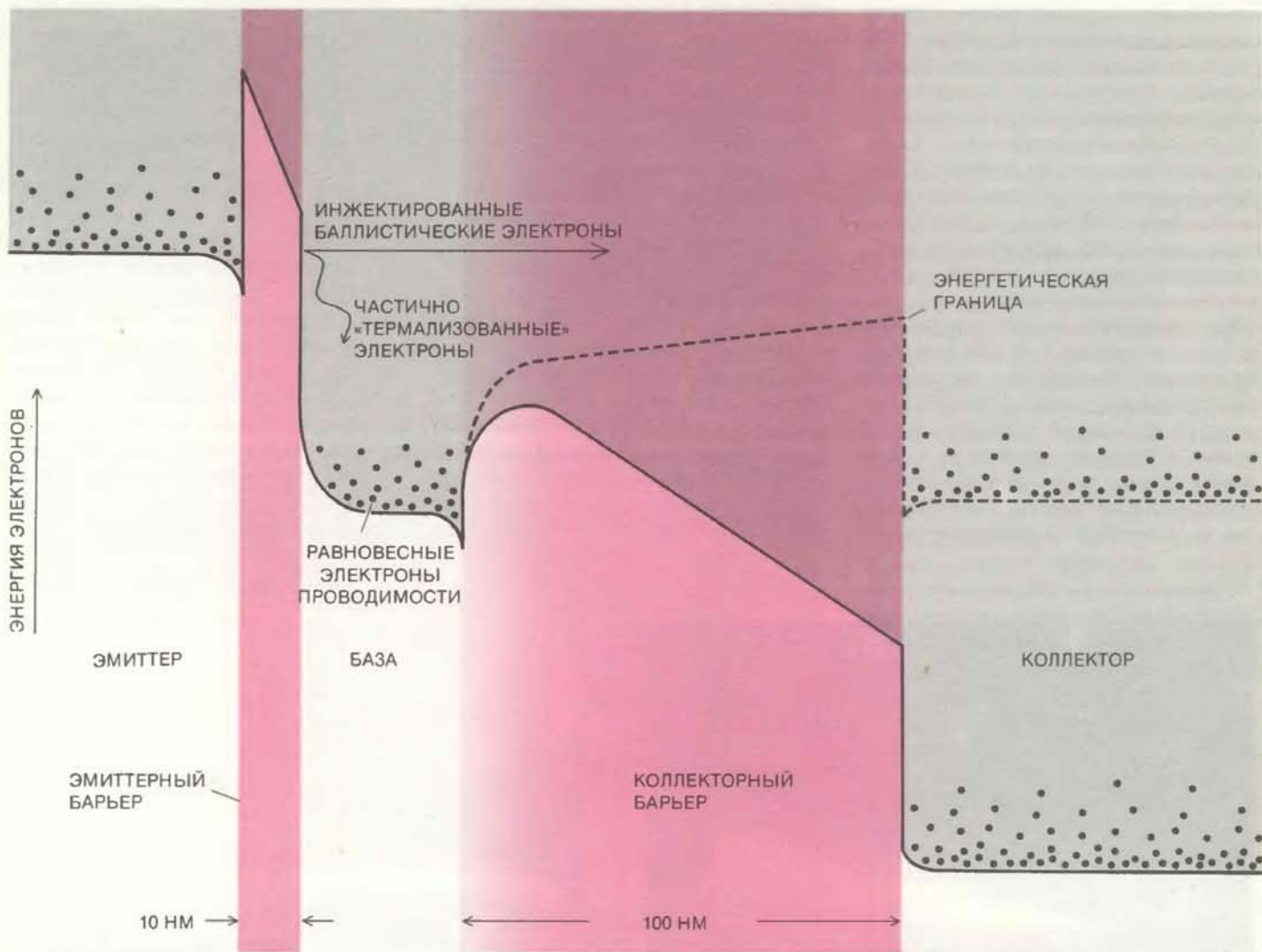
Вертикальный полевой транзистор может быть выполнен в виде невысокого выступа. Внизу находится электрод, непосредственно на нем лежит слой полупроводника, играющий роль стока, далее один за другим выращиваются слои, образующие области канала и истока. Инжектор баллистических электронов на туннельном барьере может быть выращен так же, как и исток: на поверхности канала, представляющего собой слой проводящего арсенида галлия, выращивается слой арсенида алюминия-галлия, а поверх него — снова слой проводящего арсенида галлия. Еще

одно преимущество вертикального транзистора состоит в том, что он позволяет очень точно регулировать длину проводящего канала: для этого достаточно просто варьировать толщину слоя полупроводника, используемого в качестве канала. В горизонтальном транзисторе для уменьшения длины канала области истока, затвора и стока приходится располагать очень близко друг к другу в горизонтальной плоскости подложки; точно установить расстояния между этими областями гораздо труднее, чем варьировать толщину выращиваемого слоя полупроводника. (Следует, однако, отметить, что в вертикальном транзисторе нанесение электродов затвора на боковые поверхности выступа тоже представляет собой весьма сложную задачу.)



СПЕКТРОМЕТРЫ измеряют распределение энергии в пучке частиц или излучения. Первый спектрометр был придуман Исааком Ньютоном и представлял собой призму (а). Призма расщепляет белый свет на цветовые компоненты, каждой из которых соответствуют фотоны определенной энергии. Подвижная щель в каждый данный момент пропускает излучение только одного цвета, позволяя определить относительную интенсивность цветовых компонент излучения и, следовательно, относительное содержание фотонов различных энергий в световом пучке. Для иссле-

дования спектра электронного пучка можно было бы по аналогии с описанной выше конструкцией воспользоваться устройством типа «энергетической щели», пропускающей только те электроны, энергии которых лежат в определенном интервале значений (b). Проще, однако, создать «энергетическую границу», через которую могут переходить электроны с энергией, превышающей определенный уровень (c). Постепенно повышая границу и регистрируя изменение числа проходящих через нее электронов, можно определить энергетический спектр пучка.



ПРИБОР ТИПА ТНЭТА (от английского tunneling hot-electron-transfer amplifier, что означает «туннельный усилитель с переносом горячих электронов») создает баллистические электроны и позволяет экспериментально доказать их существование. Энергетическая диаграмма прибора (вверху) иллюстрирует принцип его действия. Приложенное напряжение поддерживает высокий уровень потенциальной энергии электронов в эмиттере. Часть этих электронов туннелирует через барьер и движется баллистически через проводящий канал (называемый базой). Некоторые из туннелирующих электронов не участвуют в баллистическом переносе: они претерпевают рассеяние и «термализуются» (их энергия приближается к равновесному значению энергии присутствующих в базе электронов проводимости). Коллекторный барьер задерживает все электроны, кроме баллистических, так что лишь эти последние проходят в коллектор. Коллекторный барьер может быть использован в качестве спектрометра: варьируя напряжение, приложенное к коллектору, можно изменять энергетическую границу. Таким путем удастся определить энергетический спектр электронов, прошедших через базу, и сравнить его с энергетическим распределением электронов, запускаемых из эмиттера.

ПЕРВЫЙ полупроводниковый прибор на горячих электронах (т. е. прибор, в котором используются электроны, претерпевшие много столкновений и тем не менее обладающие высокой энергией и высокой скоростью) был изготовлен в 1979 г. Дж. Шенноном из исследовательской лаборатории фирмы Philips в Великобритании. В его приборе, изготовленном из легированного кремния, электроны запускались в проводящий канал с помощью инжектора на барьере с легированным слоем. После прохождения канала они должны были пройти еще через один барьер с легированным слоем и лишь после этого достигали коллектора. Второй барьер был предназначен для того, чтобы помешать находящимся в канале электронам с малой тепловой энергией достичь коллектора (в приборах на горячих электронах канал обычно называют базой). Второй барьер был сделан несколько ниже, чем барьер инжектора электронов, с тем чтобы некоторые электроны могли проходить через него, даже если они теряли некоторую долю энергии при столкновениях. Если инжектированные электроны имели достаточно высокие энергии, некоторые из них достигали коллектора; при этом они теряли значительную часть энергии, так как средняя длина свободного пробега в кремнии очень мала.

Вслед за транзистором Шеннона появился транзистор на арсениде галлия. Он был создан в 1981 г. сотрудниками Корнеллского университета Р. Маликом, М. Холлисом и С. Палматир. Их прибор имел два барьера с легированной плоскостью, полученные путем введения примеси бериллия: более высокий барьер, расположенный у истока и действовавший в качестве инжектора горячих электронов (т. е. запускавший электроны в канал на максимально возможной для них скорости), и более низкий барьер, расположенный у стока. Эти ученые, подобно Шеннону, наблюдали перенос горячих электронов, но не проявляли специального интереса к баллистическому переносу.

До недавнего времени регистрировать случаи баллистического переноса в том или ином приборе или же экспериментально определять, какая часть электронов, прошедших через прибор, двигалась баллистически, было крайне трудно. Для этого нужно было создать прибор, который позволил бы находить распределения электронов по энергии и направлению движения после их прохождения через транзистор и сравнивать эти распределения с начальными распределениями по энергии и направлению, полученными для электронов на входе.

Сравнение распределений по энергии позволяет оценить число актов неупругого рассеяния, а распределений по направлению — число актов упругого рассеяния.

ИЗМЕРЕНИЕ распределения энергии в пучке частиц или излучения называется спектрометрией. Один из способов проведения спектроскопических измерений для пучка электронов состоит в том, что на пути пучка помещается «энергетическая граница». Такая граница пропускает все электроны с энергиями, превосходящими некоторую определенную величину, и задерживает все электроны с энергиями ниже этой величины. Постепенно изменяя «высоту» границы (т. е. минимальную энергию, необходимую для прохождения через нее) и измеряя изменение числа проходящих через нее электронов, можно найти относительные концентрации электронов различных энергий в пучке.

Простая энергетическая граница представляет собой коллекторную пластину, на которую подан отрицательный потенциал. Такая пластина отталкивает электроны, и лишь те из них, энергия которых достаточна для преодоления силы отталкивания (т. е. для прохождения через потенциальный барьер, высота которого равна приложенному напряжению), входят в пластину и создают электрический ток, который может быть измерен. Высоту такой энергетической границы можно изменять просто путем изменения напряжения на коллекторной пластине.

А как можно сделать спектрометр, чувствительный и к суммарной энергии электронов, и к направлению их движения? Принцип действия такого прибора можно продемонстрировать на простом примере. Допустим, что производится выстрел прямо в толстую и плоскую стену. Пуля пройдет сквозь стену, если энергия этой пули превышает некоторое минимальное значение. Однако, если пуля отклоняется в полете, так что она уже не летит по направлению, в точности перпендикулярному стене, ей придется пройти большее расстояние внутри стены; иначе говоря, она должна будет как бы пройти через более толстую стену, а для этого ей потребуется больше энергии. Таким образом, используя толстую и плоскую стену, можно измерить не просто суммарную энергию пули, а ту энергию, которая нужна для перемещения перпендикулярно стене.

В полупроводниковом материале роль пуль играют электроны, а роль толстой и плоской стены — широкий потенциальный барьер (который можно себе представить как имею-

щий увеличенную ширину туннельный барьер, используемый в некоторых инжекторах горячих электронов). Высота потенциального барьера представляет собой минимальную энергию, которой должен обладать электрон, движущийся в направлении, перпендикулярном поверхности барьера, чтобы преодолеть его. Если барьер широкий, вероятность туннелирования очень мала, и ею можно пренебречь. Изменяя высоту барьера и определяя число электронов, преодолевших его и внесших вклад в электрический ток, можно найти энергетическое распределение, соответствующее движению электронов в данном направлении.

ПРИБОР, который был предложен одним из нас (Хайблумом) в 1981 г., особенно хорошо подходит для такого рода спектрометрии, поскольку в нем используется высококоллимированный электронный пучок с хорошо известным распределением энергий. Выполняя спектроскопические измерения с помощью такого прибора, исследователь может произвести тщательное сравнение начальных и конечных характеристик электронного пучка и таким образом непосредственно определить любые потери энергии или изменения направления, которые могут иметь место при прохождении электронов через прибор. Этот прибор известен как туннельный усилитель с переносом горячих электронов, или ТНЭТА (tunneling hot-electron-transfer amplifier).

Большинство изготовленных до сих пор приборов типа ТНЭТА были выполнены на основе арсенида галлия и арсенида алюминия — галлия. Такие приборы были изготовлены группой исследователей в лабораториях фирмы Fujitsu в Японии и Хайблумом с сотрудниками в Исследовательском центре им. Т. Уотсона фирмы IBM в США. В приборе ТНЭТА туннельный барьер инжектирует электроны, обладающие очень высокой скоростью, в тонкий проводящий слой, называемый базой. Базой служит арсенид галлия, легированный кремнием, атомы которого поставляют «холодные» электроны, т. е. электроны, находящиеся в тепловом равновесии с решеткой. Благодаря наличию проводящей базы к туннельному барьеру можно подвести напряжение. Энергии инжектируемых электронов распределены в сравнительно узкой области около некоторого центрального значения напряжения, приложенного к туннельному инжектору.

Ширина базы либо меньше средней длины свободного пробега горячих электронов, либо близка к ней, так что большое число электронов дви-

жется в базе баллистически. На другом краю базы находится толстый барьерный слой арсенида алюминия-галлия. Этот барьер не пропускает холодные электроны, препятствуя их уходу из базы, но горячие электроны, проходящие через базу баллистически, его преодолевают. По другую сторону от этого барьера находится еще один слой проводящего арсенида галлия, который служит коллектором. В коллекторе электроны теряют большую часть своей кинетической энергии благодаря различным механизмам рассеяния и увлекаются в направлении положительного полюса источника питания (см. рисунок на с. 52).

Чтобы использовать прибор ТНЭТА в качестве спектрометра с энергетической границей, следует инжектировать горячие электроны с известным распределением энергии в тонкую базовую область, постепенно увеличивая высоту толстого потенциального барьера. Повышение барьера осуществляется путем подачи отрицательного напряжения (отталкивающего электроны) на коллектор. Энергетической границей спектрометра является ближайший к коллектору край толстого слоя арсенида алюминия-галлия, поскольку именно в этом месте потенциальный барьер имеет максимальную высоту, и только электроны с энергией, большей или равной высоте барьера, могут пройти через весь слой арсенида алюминия — галлия в коллектор.

По мере увеличения высоты барьера ток, поступающий на коллектор, уменьшается. Изменение тока, соответствующее каждому изменению высоты барьера, пропорционально числу электронов, чья энергия (точнее, энергия, связанная с движением перпендикулярно барьеру) больше энергии, которая была необходима для преодоления барьера до изменения его высоты, но меньше энергии, необходимой для преодоления барьера после изменения его высоты. Таким образом, изменяя высоту барьера, можно построить энергетическое распределение электронов, прошедших через прибор.

В нескольких экспериментах такого типа было получено очень хорошее соответствие между числом и энергетическими спектрами собираемых коллектором электронов и характеристиками инжектируемого пучка. Такие результаты спектроскопических исследований являются прямым доказательством того, что движение электронов в проводящем слое арсенида галлия и в толстом барьерном слое арсенида алюминия-галлия было баллистическим. В этих эксперимен-

тах впервые были получены столь малая ширина энергетического спектра электронов, прошедших через полупроводниковый прибор, и столь близкое сходство характеристик электронов, инжектируемых в прибор и выходящих из прибора.

ПРИБОРЫ типа ТНЭТА и другие приборы на баллистических электронах со временем, возможно, найдут применение в полупроводниковых компонентах массового применения, но уже сейчас ясно, что они представляют собой весьма полезный инструмент для исследования поведения электронов в полупроводниках. Истинные механизмы, управляющие движением электронов в полупроводнике, не вполне ясны, и приборы на баллистических электронах дают исследователям возможность изменять некоторые условия в полупроводнике и оценивать влияние этих изменений на поведение электронов.

Так, в приборах ТНЭТА не все инжектируемые электроны проходят через базу баллистически. При этом, как ни странно на первый взгляд, если уменьшать проводимость базы путем уменьшения количества атомов легирующей примеси, число баллистических электронов возрастает. Такой результат показывает, что проходящие через базу горячие электроны взаимодействуют с холодными электронами, которые делают базу проводящей (а возможно, и с атомами легирующей примеси). Природа этого взаимодействия пока не ясна.

Другой интересный эффект состоит в том, что с увеличением толщины базы в приборе ТНЭТА форма энергетического распределения попадающих на коллектор баллистических электронов не изменяется, хотя суммарное число баллистических электронов уменьшается. Это показывает, что каждый акт рассеяния хаотически изменяет направление движения горячего электрона, так что он полностью «выбивается» из распределения баллистических электронов. Иными словами, число актов рассеяния под малыми углами и неупругого рассеяния с очень малыми потерями энергии весьма незначительно. Каждое столкновение является «травматическим» и превращает горячий электрон в холодный.

Еще одна область, в которой приборы на баллистических электронах могут оказаться весьма полезным инструментом, — это исследование фундаментальных квантовомеханических свойств электрона. Когда электроны претерпевают рассеяние, особенно неупругое, они теряют некую «память» о своих прошлых волновых

характеристиках. В частности, они теряют информацию о фазе волны. Между тем баллистические электроны движутся в твердой среде без всякого рассеяния и потому сохраняют свои волновые характеристики неизменными. Для баллистических электронов можно проследить движение электронной волны, вернувшись назад во времени и пространстве. Соотношение между волновыми характеристиками двух баллистических электронов остается неизменным до тех пор, пока эти электроны остаются баллистическими.

Волновое поведение баллистических электронов в полупроводниках может быть понято по аналогии с волнами на воде и световыми волнами. Когда волна на воде ударяется о твердую стену, она обычно отражается, и возникает другая волна, которая движется в обратном направлении, к источнику первой волны. Волна, движущаяся вперед, и волна, движущаяся в обратном направлении, накладываются друг на друга. Когда гребень одной волны встречается с гребнем другой, суммарная амплитуда возрастает; этот эффект называется усиливающей (конструктивной) интерференцией. Аналогично, когда впадина одной волны встречается с гребнем другой или, наоборот, суммарная амплитуда уменьшается; этот эффект называется ослабляющей (деструктивной) интерференцией. Световые волны, когда они проходят из одной среды в другую (например, из воздуха в стекло), зачастую претерпевают частичное отражение: часть света проходит через границу двух сред, а часть отражается в виде волны, которая может интерферировать с исходной волной. Подобный эффект имеет место, когда баллистические электроны переходят из арсенида галлия в арсенид алюминия-галлия или, наоборот; часть электронной волны проходит через барьер, а часть отражается обратно, в направлении к источнику электронов.

В приборе ТНЭТА можно наблюдать эффекты, свидетельствующие об интерференции электронных волн, движущихся в прямом и обратном направлениях. Баллистические электроны, инжектируемые в тонкую базовую область, проходят через нее и претерпевают квантовомеханические отражения на границе раздела базы и коллектора. Поскольку длина волны электрона зависит от его энергии, интерференционные эффекты, обусловленные этими отражениями, зависят от энергии инжектируемых электронов. При некоторых значениях энергии возвращающиеся к туннельному инжектору отраженные электронные волны в точности совпадают по фазе

с исходными волнами (иначе говоря, эти две волны полностью совпадают при наложении). При этом обратная волна усиливает прямую волну в результате усиливающей интерференции, и ток, текущий в коллектор, увеличивается. При других значениях энергии происходит ослабляющая интерференция, когда обратная волна частично гасит прямую. В этом случае ток, текущий в коллектор, уменьшается. Благодаря этим квантовым эффектам изменение энергии инжектируемых электронов приводит к появлению выраженных максимумов и минимумов коллекторного тока.

НАМ КАЖЕТСЯ поразительным и противоречащим нашей житейской логике то обстоятельство, что в очень чистых кристаллах и при температурах, близких к абсолютному нулю, электроны в принципе могут перемещаться на большие расстояния, не претерпевая рассеяния на плотно

расположенных атомах кристаллической решетки. Однако еще труднее поверить, что электроны могут двигаться без рассеяния в реальных приборах, работающих при температурах намного выше абсолютного нуля.

Эксперименты, продемонстрировавшие возможность баллистического движения электронов, важны в нескольких отношениях. Как мы видели, благодаря волновой природе баллистических электронов ученые получают новый инструмент для исследования поведения электронов в твердых телах и для проверки правильности фундаментальных представлений квантовой механики теории об электроны. С более практической точки зрения существование баллистических электронов в полупроводниках делает возможным создание новых квантовых приборов, намного превосходящих по быстродействию существующее поколение электронных приборов.

точному продукту гидролиза эфиров карбоновых кислот. Это соединение ввели лабораторным животным, а затем выделили и клонировали клетки, секретирующие антитела к нему. Полученные таким способом моноклональные антитела обладали, подобно ферментам, каталитическим действием: они ускоряли расщепление соответствующих эфиров. Но при этом сами антитела необратимо изменялись. Руководствуясь предполагаемыми деталями взаимодействия между субстратом в переходном состоянии и центром его связывания в молекуле антитела, исследователи модифицировали молекулы эфиров. С этими новыми эфирами антитела проявляли подлинно ферментативную активность: гидролиз ускорялся в несколько сот раз, а молекулы антител сохраняли активность даже после ста с лишним актов катализа.

С. Поллак, Дж. Джекобс и Р. Шульц начали с того, что попытались обнаружить способность к катализу у обычных антител. Иммуноглобулины, которые они изучали, связывались с молекулами, аналогичными по структуре переходному состоянию, возникающему при гидролизе одного из производных карбоновых кислот. Эти исследователи установили, что способность антител к прочному связыванию сама по себе придает им каталитическую активность. Позже исследователи получили новые каталитические антитела, проведя иммунизацию экспериментальных животных аналогом промежуточного продукта гидролиза другого соединения такого типа.

Результаты обеих работ прямо указывают генеральную линию в конструировании ферментов. По существу для любой реакции, переходное состояние которой установлено, в принципе можно получить антитела, способные стабилизировать это переходное состояние. Затем участок связывания в молекуле иммуноглобулина следует (путем химической модификации) изменить так, чтобы его каталитическая активность усилилась.

Началом успешного практического применения подобной технологии станет, по-видимому, получение каталитических антител, специфически расщепляющих пептидные связи в белках (этими связями соединены структурные единицы белковых молекул — аминокислоты). Молекулярную биологию такие антитела обогатят обширным набором новых «инструментов», а в медицине позволят создать средства, нацеленные на белки, характерные для раковых клеток, на вирусы, на тромбы в кровеносных сосудах.

Наука и общество

Абзимы

АНТИТЕЛА, или иммуноглобулины, — это белки иммунной системы, при помощи которых она узнает несметное число различных веществ. Каждое антитело способно специфически связываться с определенным агентом. В молекулярной биологии и сопряженных с ней областях технологии антитела широко используются для идентификации и очистки сложных соединений. Однако во многих случаях для тех или иных целей молекулярной биологии имеет смысл прибегать к другому классу белков — ферментам, которые по своему разнообразию существенно уступают антителам. Ферменты способны не только связывать определенные вещества, но и изменять их, катализируя химические реакции. Если бы антителам удалось придать ферментативную активность, молекулярная биология приобрела бы колоссальные новые возможности.

В журнале «Science» опубликованы две независимые работы — А. Трамонтано, К. Янды и Р. Лернера из Научно-исследовательского института клиники Скриппса и С. Поллака, Дж. Джекобса и П. Шульца из Калифорнийского университета в Беркли, — в которых описаны первые примеры антител, действующих подобно ферментам, т. е. катализирующих химические реакции. Предложено назы-

вать каталитические антитела абзимами (от англ. antibody enzyme).

Достигнутый успех основан на общих принципах действия ферментов, которые были сформулированы в 1948 г. Л. Полингом. Фермент ускоряет химическую реакцию, снижая энергетические барьеры процессов, составляющих эту реакцию. Согласно Полингу, один из способов, которым это осуществляется, заключается в том, что фермент связывается с субстратом (веществом, подвергающимся превращению) в переходном состоянии, т. е. с нестабильным промежуточным соединением, образующимся в ходе реакции. При этом переходное состояние стабилизируется, а энергия, необходимая для его возникновения, снижается. Группа Трамонтано и Поллак с коллегами предположили, что, поскольку для антител характерно прочное и специфическое связывание с антигенами, антитела к соединениям, похожим на субстрат какой-либо реакции в переходном состоянии, вероятно, будут катализировать соответствующую реакцию.

А. Трамонтано, К. Янда и Р. Лернер исходили из результатов работы, сделанной ими ранее (статья о ней была опубликована в журнале «Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA»). Тогда они идентифицировали соединение, близкое по структуре к вероятному промежу-

Киты и моржи — пахари морского дна

В результате того, что серые киты и тихоокеанские моржи собирают пищу со дна, в северо-восточной части Берингова моря возникают ямы и борозды в таком количестве, что это не уступает нарушениям, вызванным геологическими процессами

К. ХАНС НЕЛЬСОН, КИРК Р. ДЖОНСОН

В КОНЦЕ 70-х годов, осматривая дно северо-восточной части Берингова моря с целью оценить геологические факторы, потенциально опасные для установки в открытом море нефтяных вышек и трубопроводов, один из авторов этой статьи — Нельсон — столкнулся с удивительным явлением. Помимо ожидаемых опасностей, таких, как активные разломы, ямы и борозды, оставленные глыбами льда, эрозия дна, обусловленная придонными течениями, на дне моря были обнаружены ямы и борозды, которые нельзя было отнести на счет известных геологических процессов. Зная, что на мелководьях (редко более 50 м глубиной) между Чукотским полуостровом и Аляской постоянно обитают или периодически появляются многие животные, Нельсон предположил, что причиной таких нарушений дна могли быть какие-то морские млекопитающие. Так и оказалось: калифорнийский серый кит делает в морском дне ямы, а тихоокеанский морж — борозды. По нашим данным, в результате этого в северо-восточных водах Берингова моря со дна поднимается значительно больше осадочного материала, чем выносит в море река Юкон, а это составляет в среднем более 60 млн. т в год.

Как киты, так и моржи изменяют поверхность дна во время поисков пищи на континентальном шельфе.

В Беринговом море киты охотятся за похожими на креветок ракообразными, называемыми амфиподами, а тихоокеанские моржи ищут моллюсков и еще около 60 видов придонных обитателей. В результате деятельности китов и моржей морское дно выглядит как поле боя, однако этот процесс благотворен, так как приводит к увеличению продуктивности данного района моря.

Моржи, которых насчитывается около 200 тыс., являются постоянными обитателями Берингова и Чукотского морей, т. е. находятся там круглый год. Киты же, наоборот, — визитеры. Каждый год в марте около 16 тыс. китов покидают районы размножения около Калифорнийского залива и мигрируют вдоль Тихоокеанского побережья более чем на 5 тыс. миль для того, чтобы прокормиться. К тому времени, когда они достигают северо-восточной части Берингова моря — основного района питания, зимний лед уже стает и относительно спокойные летние воды полны жизнью. (Киты кормятся также в других частях Берингова моря и в соседнем Чукотском море.) С мая по ноябрь киты пользуются там изобильным «угощением», которое в основном обеспечивает их годовой рацион.

НЕЛЬСОН и его коллеги обнаружили таинственные ямы и борозды, когда анализировали данные, полученные при помощи локатора бокового обзора. Чтобы сделать запись рельефа дна (сонограмму), судно буксирует подводный излучатель, который посылает расходящийся пучок звуковых импульсов в направлении морского дна, а также воспринимает отраженные сигналы. Интенсивность последних зависит от отражательной

способности структур, встречающихся на пути акустического импульса, и от расстояния до них. Принятые сигналы передаются на борт судна, где самописец рисует сонограмму, которая по виду напоминает аэрофотографию поверхности земли. Некоторые обстоятельства позволяли сразу предположить, что к обнаруженным

КАЛИФОРНИЙСКИЙ СЕРЫЙ КИТ процеживает донный осадок, извлекая из него пищу. В северо-восточной части Берингова моря примерно 16 тыс. китов питаются таким способом. При этом животные выкапывают на дне мелкие овальные ямы. Тихоокеанские моржи, которых насчитывается там около 200 тыс., тоже питаются донными организмами; они оставляют на поверхности дна узкие борозды.

нарушениям морского дна имеет отношение серый кит. (Понимание того, что моржи тоже в этом участвуют, пришло позже.) С одной стороны, давно уже подозревали, что киты питаются обитающими на дне животными. Китобоям не раз случалось видеть китов, у которых изо рта вытекал шлейф грязной воды. Еще в XIX в. появлялись сообщения о том, что при вскрытии этих животных в желудке находили огромное количество обитающих на дне ракообразных, которых впоследствии идентифицировали как амфипод.

Когда кит кормится на дне, он переворачивается на бок так, чтобы рот был параллелен морскому дну. Втягивая свой большой язык, он всасывает одной стороной рта вместе с водой осадочный материал, содержащий разнообразные живые организмы. Эта взвесь процеживается через китовый ус — ряд роговых пластинок, которые свисают с обеих сторон верхней челюсти, образуя фильтр — и вытекает из другой стороны рта. Щетиноподобная нижняя кромка китового уса задерживает добычу, которую

кит потом глотает. Животное может извергнуть процеженную массу воды с осадком около дна, а может и у поверхности воды, если поднимется за воздухом. (Хотя киты явно предпочитают амфипод, они питаются разнообразными организмами, включая живущих в толще воды.)

С другой стороны, два факта дали основание считать, что именно киты вызывают нарушения морского дна, выявленные в бассейне Чирикова — районе глубиной 30—50 м в центре северо-восточной части шельфа Берингова моря. В 1979 г. исследователи, которые следили за питанием серого кита по выпускаемым животными потокам грязной воды, обнаружили, что киты скопились в бассейне Чирикова. В то же время данные Нельсона, который оценивал типы осадочных пород в разных частях Берингова моря и определял характерный для каждого типа состав фауны, показали, что в песчаных отложениях, выстилающих бассейн Чирикова, обитают амфиподы — излюбленная пища китов. Притом область этих песчаных отложений соответствовала рай-

ону, где наблюдались киты.

Для определения типов осадков и связанной с ними фауны Нельсон собирал образцы, называемые «колонками». Каждая колонка охватывала участок дна площадью 20×30 см и глубиной 50 см. Срезы этих колонок просвечивались рентгеновскими лучами, что выявляло норы и ходы, сделанные обитающими на дне животными, и таким образом можно было установить состав фауны.

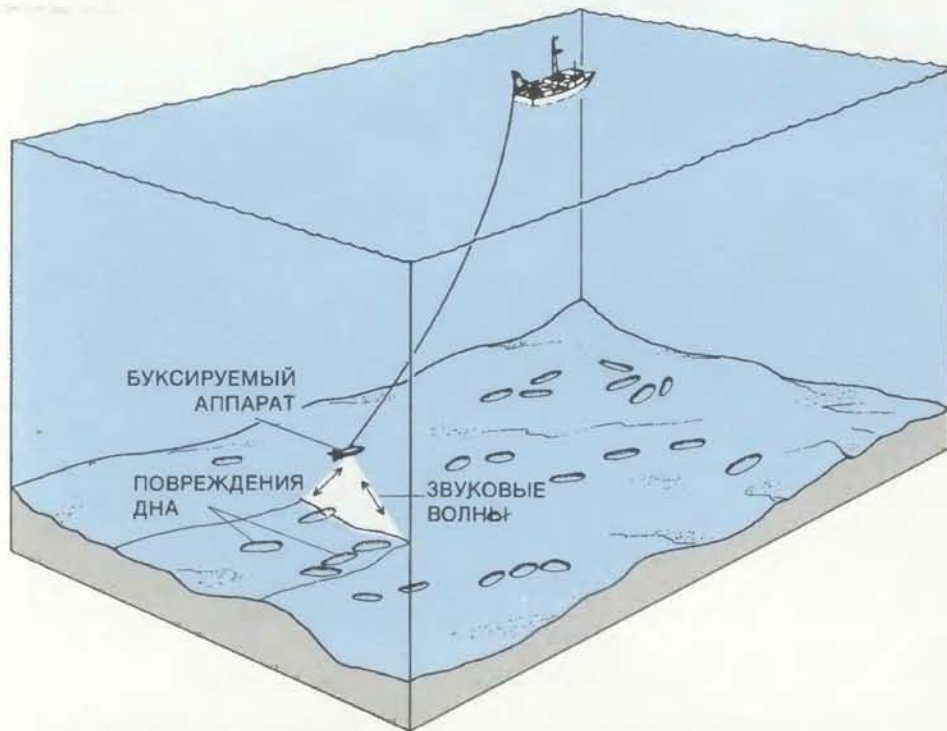
Дно бассейна Чирикова оказалось покрытым двухметровой толщей песка, сформировавшегося в конце последнего ледникового периода (приблизительно 12 тыс.—10 тыс. лет назад). Когда лед растаял, уровень моря повысился и оно затопило районы, которые были сушей. В этом древнем осадочном слое среди роющих животных преобладают амфиподы. В песке им легко строить свои пропитанные слизью трубчатые ходы, в которых они живут. Ходы амфипод скрепляют песок в твердые пласти, которые не размываются водой.

На северном и западном краях бассейна Чирикова встречаются в основ-





СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ БЕРИНГОВА МОРЕЯ (в рамке) — основной район нагула для калифорнийского серого кита и тихоокеанского моржа. Киты мигрируют туда каждое лето из своих районов размножения у побережья Калифорнийского залива и скапливаются для питания в бассейне Чирикова. Моржи живут севернее и часть года питаются в бассейне Чирикова и вблизи него.



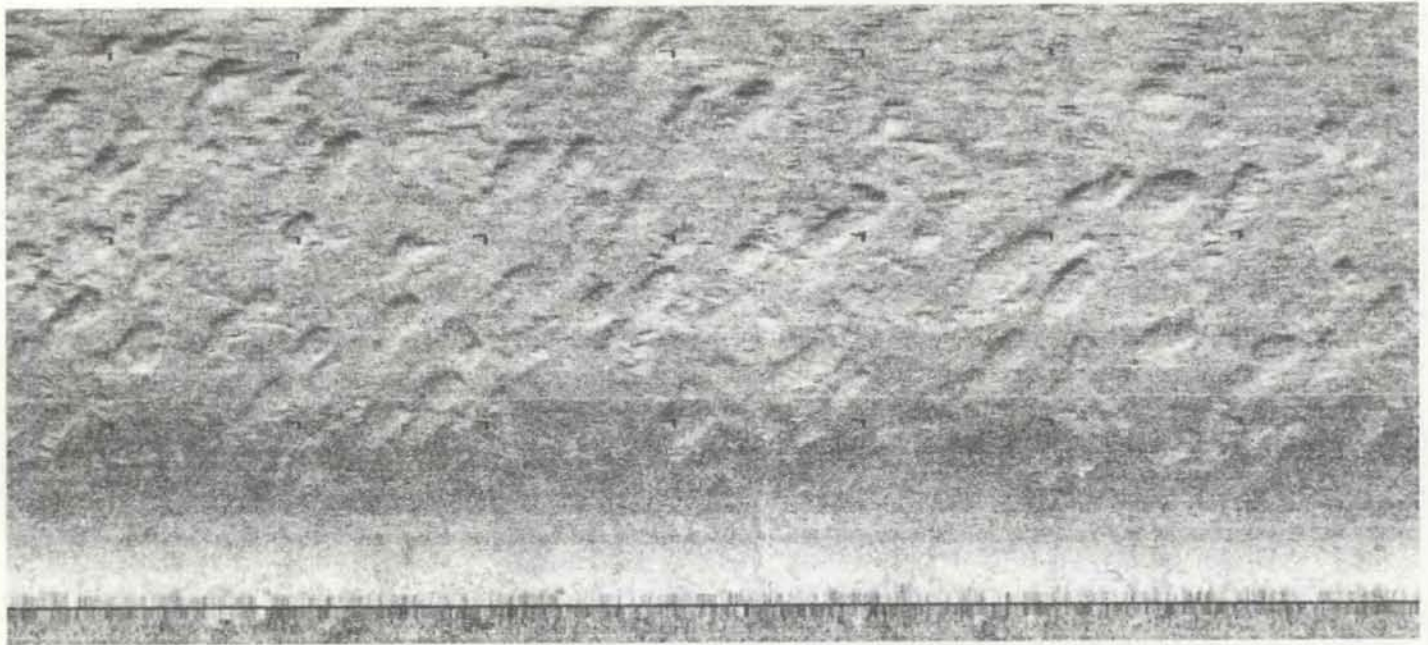
ЛОКАТОР БОКОВОГО ОБЗОРА позволил получить первые данные, свидетельствующие, что в процессе питания киты и моржи глубоко перепахивают морское дно. Судно буксирует под водой аппарат, который излучает в направлении дна звуковые импульсы и принимает отраженные сигналы; интенсивность сигналов зависит от формы и плотности встречающихся структур. Принятые сигналы передаются на борт судна, где самописец рисует сонограмму — запись рельефа морского дна.

ном гравий и песок ледникового происхождения, а к востоку, в проливе Нортона, — более тонкозернистая смесь ила (частицы которого мельче частиц песка) и глины (частицы которой еще мельче). В проливе толщина илито-глинистого слоя несколько метров, так как здесь накапливается осадочный материал, который приносится Юконом.

Нельсон и его коллеги заметили, что в участках гравийных и илито-глинистых отложений по краям бассейна Чирикова в фауне доминируют моллюски — любимая пища моржей. Важность этого факта стала понятной, когда выяснилось, что моржи делают борозды в морском дне.

КНАЧАЛУ 80-х годов мы убедились, что бассейн Чирикова является главным районом питания для серого кита, и попытались показать, что ямы и борозды на сонограммах, полученных Нельсоном, находятся именно в тех районах, где обитают амфиподы и где были зарегистрированы киты кормящиеся киты. Следовало измерить величину этих нарушений дна, чтобы решить, могли они быть созданы животными или нет. В случае если киты действительно разрывают морское дно в процессе питания, планировалось определить количество пищи, даваемое бассейном Чирикова за год. Мы также надеялись выяснить, как влияет пищевая активность китов на состав верхнего слоя морского дна и на пищевую цепь в северо-восточной части Берингова моря.

Мы начали с того, что составили точную карту, отметив местоположения всех ям и борозд, предположительно созданных животными. Для этого были проанализированы сонограммы, полученные как Нельсоном, так и другими исследователями; эти данные охватывали район длиной около 4500 км. Нельсон делал свои первые сонограммы на частоте 100 кГц. По ним можно было идентифицировать известные крупномасштабные геологические структуры, но из-за искажений и низкой разрешающей способности не удавалось точно определить размеры и форму более мелких, непривычных нарушений морского дна. (Небольшие свежие китовые ямы относятся к числу мельчайших структур, которые различимы при частоте 100 кГц.) Для всего бассейна Чирикова Нельсон с коллегами провели также сонографию с помощью самоподстраивающегося эхолотатора бокового обзора, работающего на частоте 105 кГц. В такой системе звуковые сигналы возвращаются через компьютер, устраняющий ис-



СОНОГРАММА И КАРТА ЯМ, сделанных китами. На дне бассейна Чирикова были обнаружены два типа углублений: свежие ямы, размеры которых соответствовали величине пасти кита, и гораздо более крупные выемки, по-видимому, размытые придонными течениями. На влияние течений указывает то, что такие увеличенные ямы обычно ориентированы в направлении преобладающего течения (стрелка). Сонограмма получена при помощи самоподстраивающегося локатора бокового обзора на частоте 105 кГц; этот аппарат снабжен компьютером, что позволяет устранять некоторые обычные помехи.

кажения, и поэтому сонограммы отражают истинную форму и размеры структур точнее. Кроме того, на помощь пришли М. Нерини из Национальных лабораторий морских млекопитающих в Сизтле и Д. Томсон из Ассоциации экологических исследований компании LGL, Inc., которые тоже изучали пищевое поведение у серого кита. По нашему предложению, они использовали эхолот бокового обзора, генерирующий звуковые сигналы частотой 500 кГц, и получили сонограммы с высоким разрешением для небольших выборочных районов.

Соотнеся сонографические данные с прямыми наблюдениями аквангистов из группы Нерини и Томсона, мы в конце концов идентифицировали не только местоположение ям и борозд, но также и их форму, размеры и вероятное происхождение. Овальные ямы были сосредоточены внутри района площадью 22 тыс. км², главным образом в центре бассейна Чирикова и у южной оконечности близлежащего острова св. Лаврентия. В пределах самого бассейна мелкие ямы занима-

ли около 18% поверхности дна. Размеры их варьировали: 1—10 м в длину, 0,5—7 м в ширину и 0,1—0,4 м в глубину. Мы не знаем геологического процесса, который мог бы создать такие ямы в этом районе. Дальше на восток, в проливе Нортон, выделение метана, происходящее при разложении захороненного органического материала, вызывает формирование округлых газовых кратеров, но пески бассейна Чирикова слишком пористые для образования газовых кратеров. Локализация овальных ям соответствовала, во-первых, распространению кормящихся китов, установленному путем наблюдения с воздуха, и, во-вторых, распределению песчаного грунта и населяющих его амфипод. Напрашивался вывод, что эти ямы сделаны китами.

Мы измерили более 1000 ям и сравнили полученные данные с размерами пасти серого кита. Обзор имеющихся данных о 240 животных показал, что как длина широко раскрытого рта анфас, так и длина одной стороны закрытого рта в среднем равны 2,1 м. Ямы же в среднем имели 2,5 м в дли-

ну, 1,5 м в ширину и 10 см в глубину. Ясно, что такую яму легко может сделать кит, когда он всасывает осадок, держа пасть параллельно дну. Иногда ямы характерным образом сгруппированы и можно предположить, что животные делают серии ямок в промежутках между тем, когда поднимаются к поверхности за воздухом.

Кроме 2,5-метровых ям, мы обнаружили большие выемки: в среднем 8 м в длину и 4 м в ширину. Предположительно, киты могут делать такие ямы, если они во время всасывания осадка двигаются или же если они кормятся у краев старых ям. Возможно также, что течения, особенно сильные придонные течения, связанные с осенними штормами, расширили только что образованные ямы или группы ям. Согласно полученным нами данным эхолотации, большие ямы часто ориентированы так же, как доминирующее придонное течение в данном районе. Заглатывая амфипод из окружающего их песчаного пласта, скрепленного трубчатыми ходами, киты, по-видимому, высвобождают песок, который размывается течения-



СВЕЖАЯ ЯМА в морском дне, сделанная серым китом, имеет приблизительно 2,5 м в длину, 1,5 м в ширину и 10 см в глубину. Чтобы поймать обитающую на дне добычу, кит поворачивается на бок, всасывает грунт в рот и фильтрует его через китовый ус — ряд роговых пластинок, свисающих с верхней челюсти. Основная масса животных, длина которых превышает 4 мм, задерживается в пасти, а более мелкие возвращаются снова в воду. (Фотография Л. Мартина из Ассоциации экологических исследований, LGL, Inc.)



ПЛАСТ ДОННОГО ГРУНТА, пронизанный трубчатыми ходами амфипод — обитающих на дне ракообразных, которые являются любимой пищей китов. Эти пропитанные слизью ходы скрепляют рыхлый осадок в единое целое, и грунт становится устойчив к эрозии. Кормящиеся киты разрушают структуру таких участков, и оставляемые ими ямы размываются течениями. Но это временное явление. Киты поглощают относительно крупных взрослых амфипод, мелкие же молодые особи ускользают обратно в воду и заселяют места с нарушенной поверхностью, структура которой затем быстро восстанавливается.

ми гораздо легче, чем закрепленный пласт. (В конечном счете ямы стабилизируются, когда амфиподы заселяют их и своими ходами вновь скрепляют поверхность.)

НАРУШЕНИЯ поверхности дна другого типа — длинные извилистые узкие борозды — встречаются наиболее часто на территории площадью 6600 км² вокруг границ бассейна Чирикова и в близлежащих проливах. В этих местах обыкновенны стремительные придонные течения и относительно грубый песок. Борозды имеют в среднем 47 м в длину и 0,4 м в ширину, но некоторые достигают в длину 150 м. На первый взгляд такие борозды можно принять за следы, которые оставляют глыбы льда, скребущие по дну. Однако следы от льда обычно наблюдаются в более мелких шельфовых зонах (редко глубже 20 м), обычно они шире (более 1 м в ширину), более угловаты и располагаются группами параллельных линий.

Что касается китов, то у них нет очевидного способа создать такие борозды. Некоторые наблюдения навели на мысль, что делать их могут моржи. В 1972 г. С. Стокер из Университета Аляски увидел борозды с борта подводной лодки. Так как он заметил недалеко кормящихся моржей, то предположил, что это могли быть следы их кормежки. Примерно через 10 лет, когда мы ломали голову над загадкой этих борозд, Дж. Оливер из Морской лаборатории в Мосс-Лендинг показал, что рядом с такими образованиями часто можно найти недавно опустошенные раковины моллюсков. Оба наблюдения согласовались с представлениями эскимосов, которые находили в желудке моржей песок, гравий и моллюсков и считали, что эти животные питаются на дне.

Мы тоже замечали, что борозды встречаются, как правило, в местах обитания моллюсков и что ширина борозд соответствует ширине морды моржа. Последний факт согласуется с предположением Оливера о том, как морж добывает моллюсков. Прежде считалось, что он выкапывает их своими клыками. По мнению Оливера, животное плавает вдоль дна, опустив голову, и, увидев добычу или почувствовав ее присутствие при помощи вибрисс (выростов наподобие усов), разрывает грунт губами или струей воды изо рта, зажимает моллюска в пасти и высасывает из раковины мясо. Взрослому моржу требуется 85 кг пищи ежедневно.

УСТАНОВИВ расположение и размеры китовых ям и моржовых борозд, идентифицированных по со-



БОРОЗДЫ в морском дне, сделанные моржами, хорошо видны на этой сонограмме. В отличие от следов, которые остаются, когда дно задевают движущиеся ледяные глыбы, моржовые борозды узкие и извилистые; их средняя длина 47 м, ширина 0,4 м. Следы льда обычно шире, прямее

и более ломаные. Морж делает борозды, по-видимому, мордой, когда в поисках пищи плывет, погрузив морду в осадок. Животное высасывает из моллюсков мясо и выплевывает раковины по сторонам борозды.

нограммам, мы получили редкую возможность определить, какое количество пищи получают крупные морские млекопитающие в данном районе питания. Правда, для моржей сделать точную оценку было нельзя, так как эхолотатор бокового обзора, несомненно, пропустил много моржовых борозд (например, не выявляются узкие борозды, перпендикулярные направлению излучения). Но для китов удалось получить надежные результаты.

Мы подсчитали, что свежие (последнего сезона кормления), неувеличенные ямы (от 2 до 4 м в длину) занимают 5,6% района питания китов, площадь которого 22 тыс. км², т. е. суммарная площадь ям составляет 1200 км². Это заниженная оценка, так как она не учитывает более крупных свежих ям, какие остаются, когда кит всасывает осадок в движении или у краев уже имеющихся выемок. По данным других исследователей, в бассейне Чирикова содержится 171 тыс. кг пищи на 1 км². Исходя из этого, общий вес добычи, съеденной китами за 1 сезон, равен приблизительно 205 млн. кг. Популяция серого кита в бассейне Чирикова оценивается в 16 тыс. особей. Каждому животному необходимо около 1100 кг пищи в день в течение 180 дней. Пищевая потребность популяции на 1 сезон составит, таким образом, примерно 3168 млрд. кг. Получается, что 250 млн. кг пищи, поглощаемые китами в бассейне Чирикова, обеспечивают минимум 6,5% (максимум 15%) их пищевых потребностей. Следовательно, этот район, на который приходится лишь 2% площади северных пищевых вла-

дений серого кита, является особенно ценной для них территорией.

ДАННЫЕ эхолокации позволили также оценить количество осадочного материала, возвращающегося вследствие деятельности китов во взвешенное состояние, что привело нас к размышлениям о влиянии таких возмущений на экологию Берингова моря. Если дно покрыто ямами общей площадью 1200 км² и средней глубиной 10 см, то в толщу воды перешло по меньшей мере 120 млн. м³ (172 млн. т) осадочного материала, т. е. за год питающиеся киты взмучивают примерно в 3 раза больше осадка, чем приносит река Юкон в северо-восточную часть Берингова моря.

В то время как Юкон вносит ил и глину в Берингово море, деятельность китов приводит к удалению этих отложений, которые накапливаются в бассейне Чирикова. Когда кит извергает осадок изо рта обратно в воду, самые тяжелые частицы оседают опять на дно, а мельчайшие — глина и тонкий ил — относятся северными течениями в сторону Чукотского моря. Благодаря этому ил и глина не оседают поверх древних песчаных покровов бассейна Чирикова и, таким образом, район остается идеальным местом обитания для амфипод.

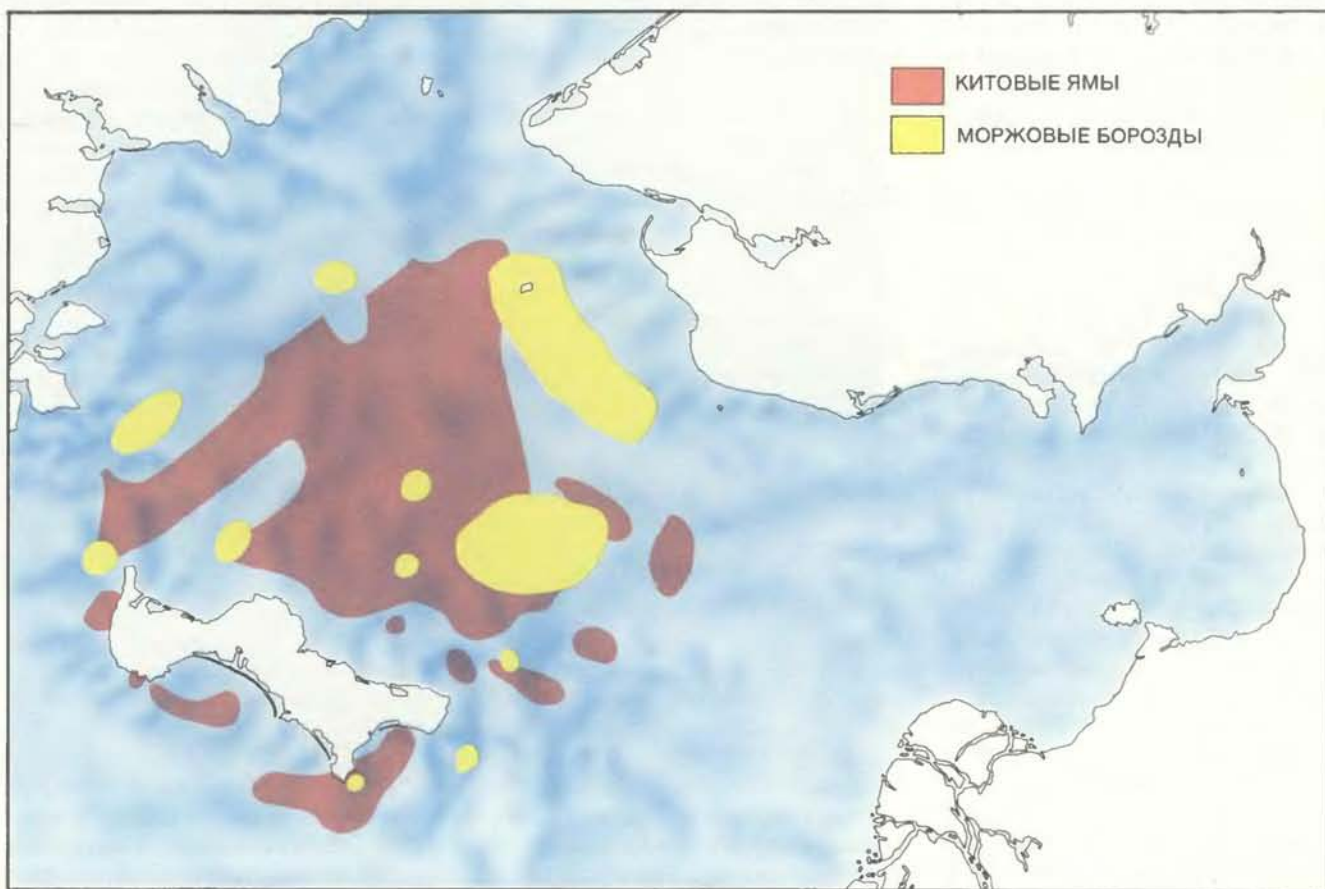
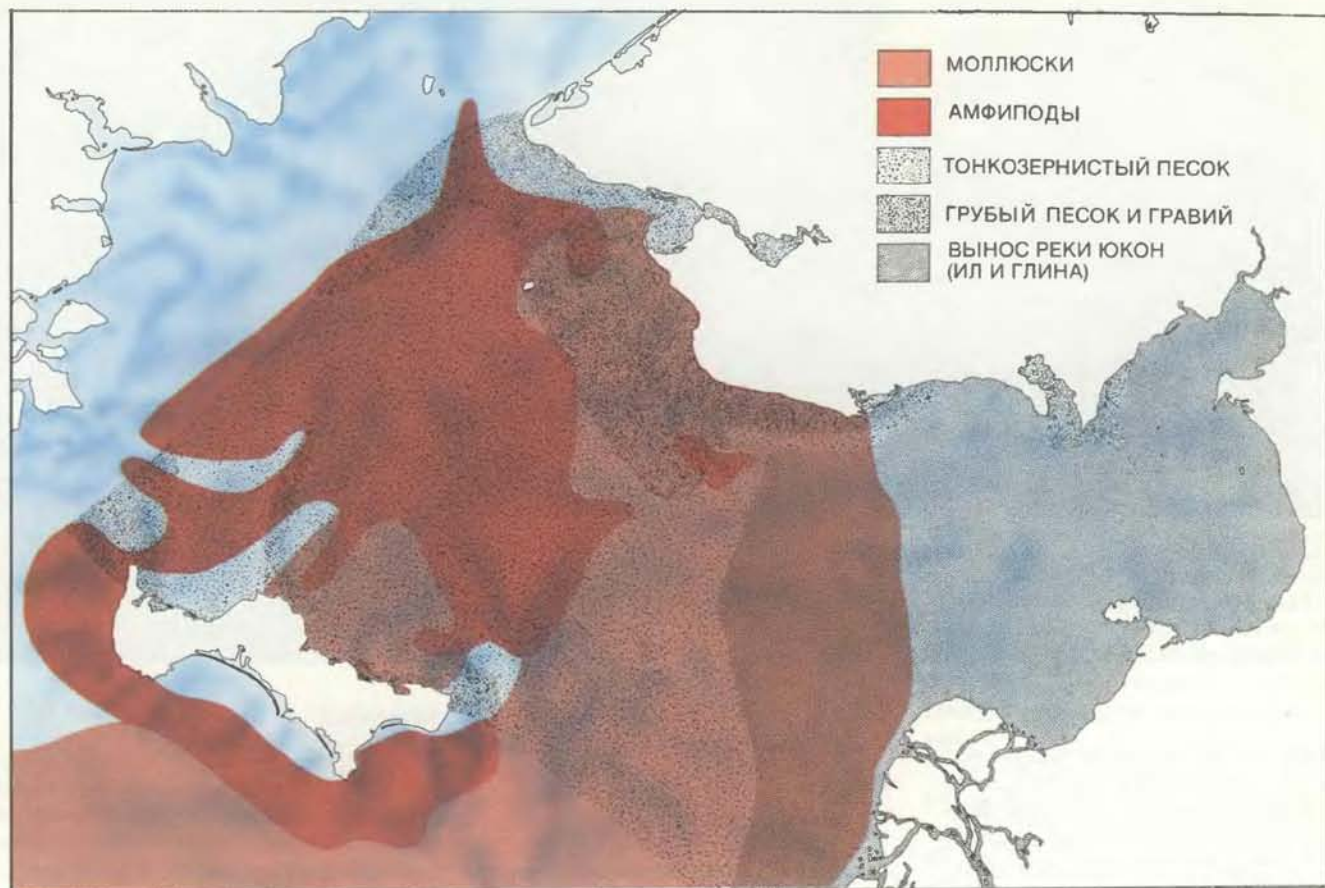
Отделение ила и глины от песка — только одно из, по-видимому, благоприятных последствий пищевого поведения серого кита. Кормящиеся киты не только поддерживают песчаное дно бассейна Чирикова «в целости и сохранности» для амфипод, но и обеспечивают себе полноценную пищевую базу на следующий сезон. Китовый ус

удерживает взрослых амфипод, но пропускает мелких молодых, возвращая их в воду вместе с осадком; подобно тому как фермер разбрасывает семена по вспаханной земле, кит рассеивает молодых амфипод по взрытому им морскому дну. Амфиподы являются пионерным видом: они в числе первых заселяют места нарушений дна, бурно размножаются и быстро укрепляют поверхность, пронизывая песок своими трубчатými ходами.

Киты способствуют воспроизведению амфипод еще и другим путем. Вместе со взмученным осадком в воду переходят ранее захороненные питательные вещества, что стимулирует рост планктона, — основной пищи амфипод. Таким образом, млекопитающие обеспечивают питанием ракообразных. На следующий год киты «снимают урожай» и цикл повторяется.

Хотя применительно к моржам нельзя было определить количество взмучиваемого осадочного материала с такой же точностью, как для китов, мы сделали приблизительную оценку. Если 200 тыс. моржей проводят в северо-восточной части Берингова моря приблизительно 100 дней в году и каждое животное прорывает в день по меньшей мере 2 борозды размером в среднем 47 м × 0,4 × 0,1 м, то за год перекапывается около 75 млн. м³ (100 млн. т) осадочного материала.

В отличие от тонкозернистой фракции осадка, взмучиваемого китами, этот осадок обычно далеко не сносится. Частицы песка и гравия, оказавшись во взвешенном состоянии, быстро оседают на дно, а не уносятся течением. Кроме того, поднятый ки-



НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ северо-восточной части Берингова моря помогли доказать, что ямы и борозды на дне сделаны китами и моржами. На карте распределения разных осадочных пород и связанной с ними фауны (вверху) видно, что мелкозернистый песок покрывает большую часть бассейна Чирикова и там в изобилии водятся амфи-

поды — излюбленная пища китов. На карте ям и борозд (внизу) видно, что ямы, приписываемые китам, сконцентрированы в том же районе. Смесь гравия и песка, богатая моллюсками, которыми предпочитают питаться моржи, преобладает по краям бассейна Чирикова. Здесь же встречаются борозды, предположительно, оставленные моржами.

том осадок распределяется в довольно толстом слое воды над дном и иногда даже выносится на поверхность, а морж выбрасывает осадок тут же по сторонам борозды, где он и остается. В сравнении с пищевым поведением китов поведение моржей в меньшей степени содействует перемещению осадочного материала и, следовательно, круговороту питательных веществ.

Как видим, глубокое изменение морского дна, вызываемое кормящимися млекопитающими, является важным фактором экосистемы северо-восточной части Берингова моря. Напротив, определенные действия людей могут вмешаться в экологическое равновесие и создать угрозу выживаемости китов. Если добывать в Беринговом море песок и гравий, то древний осадочный слой, в котором обитают амфиподы и который поэтому необходим для существования китов, будет навсегда разрушен. Песчаный слой, покрывающий морское дно, очень тонок, и современные геологические процессы не восстанавливают его; это может сделать только новый ледниковый период. Опасен также разлив нефти: амфиподы очень восприимчивы к нефтяному загрязнению.

В далеком прошлом природные явления, должно быть, неоднократно бросали вызов китам и моржам, сокращая территории, пригодные для питания. Животные, по-видимому, приспособлялись к таким переменам. На протяжении плейстоценовой эпохи, которая длилась от 2 млн. до 10 тыс. лет назад, из-за периодических оледенений происходили значительные колебания уровня моря. Необычная и весьма успешная стратегия питания серого кита и тихоокеанского моржа развивалась, вероятно, в те времена, когда вследствие таяния льдов затопило широкую полосу суши, соединявшую Аляску с Чукотским полуостровом, и образовалось мелководное море, в котором расцвела изобильная жизнь. Во время оледенений уровень моря падал и шельф вновь становился сушей, что заставляло животных искать пищу в более ограниченном районе.

То, что киты и моржи пережили ряд оледенений и заметно восстановили свою численность после интенсивного истребления, которому они подверглись каких-нибудь 50 лет назад, говорит об их высокой приспособляемости. Способность охотиться на животных, отличных от излюбленной добычи — амфипод и моллюсков, а также «умение возделывать» морское дно, служат им хорошей службой.

Издательство МИР предлагает:

АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Ежемесячный журнал в переводе с английского

Если раньше журнал «Аэрокосмическая техника» ориентировался на специалистов узкого профиля, то с 1987 года его тематическая направленность изменилась: многие публикуемые в нем информационные статьи, сообщения и фотоснимки представляют интерес и для широкого круга читателей. В каждый выпуск теперь включаются оперативные материалы из нового для советского читателя научно-популярного журнала

«Аэрокосмическая Америка» (Aerospace America) в соответствии с контрактом, заключенным издательством «Мир» и Американским институтом аэронавтики и астронавтики (AIAA).

Вместе с тем редакция «Аэрокосмическая техника» по традиции и по-прежнему в большом объеме продолжает публикацию наиболее актуальных и значимых статей из других уже известных читателям пяти научных вестников AIAA.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

В ограниченном объеме журнал поступает в розничную продажу через магазины «Московский Дом книги» (121019, Москва, просп. Калинина, 26) и «Мир» (121315, Москва, Ленинградский просп. 78). В них же принимаются предварительные заказы на отдельные выпуски журнала (цена одного номера 3 р. 10 коп.).

Проживающим вне Москвы журналы высылаются по почте наложенным платежом. Предварительные заказы направлять по адресу: 129820, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., д. 2, издательство «Мир», редакция журнала «Аэрокосмическая техника».

Возможно, читатели заинтересуются ближайшими номерами «Аэрокосмической техники». Так в майском выпуске журнала (№ 5, 1987) широко представлены последние результаты по международной экспедиции к комете Галлея, рассказывается о новых проектах исследования Солнечной системы в условиях жестких финансовых ограничений со стороны конгресса США, дискутируется вопрос создания уникальной рентгеновской обсерватории в космосе. Большая подборка материалов по электронике и вычислительной технике знакомит с достижениями в области автоматизации труда инженера, а также с целой плеядой персональных компьютеров нового поколения. Для специалистов теоретического и прикладного профиля в майском выпуске публикуются большие тематические разделы по аэродинамике и газодинамике и по проблемам прочности и динамики конструкций летательных аппаратов.

«Насколько сверхзвуковой пассажирский самолет будет отличаться от нынешних дозвуковых собратьев?» «Очистка околоземного пространства от мусора», «Привязная система на космической станции», «Космоплан-техника будущего...» Это лишь несколько заголовков статей, публикуемых в июньском номере (№ 6, 1987) журнала «Аэрокосмическая техника». Другие же разделы журнала (научно-теоретические) широко представлены тематическими подборками материалов по ациационным и ракетным двигателям, численным методам аэродинамики, лазерам, динамике конструкций летательных аппаратов.

Подписка на журнал «Аэрокосмическая техника» (годовая, полугодовая, квартальная) принимается без ограничений во всех агентствах «Союзпечати», почтовых отделениях связи.

Журнал включен в «Каталог газет и журналов зарубежных стран», раздел «Переводные научные и научно-технические журналы». Индекс 91345.



Женщины в науке

Женщины, занимающиеся исследовательской деятельностью, публикуют меньше научных статей, чем мужчины.

Замужество и семейные обязанности, как правило, не объясняют это различие: замужние женщины, имеющие детей, публикуются так же часто, как и одинокие женщины

ДЖОНАТАН Р. КОУЛ, ГАРРИЕТ ЦУКЕРМАН

ИССЛЕДОВАНИЕ научной активности ученых, оцениваемой количеством публикуемых ими статей, показывает, что женщины, как правило, на протяжении своей карьеры публикуют меньше статей, чем мужчины того же возраста, имеющие ту же ученую степень и работающие в той же области науки. Это явление объясняют различными причинами — от систематической дискриминации по признакам пола до не доказанных еще биологических различий в способностях к занятиям наукой.

Существует точка зрения, что женщины в большей степени обременены семьей и заботой о детях, и этот социальный факт лучше всего объясняет упомянутое различие. Справедливо это утверждение или нет, но само убеждение в том, что это так, влияет на научную карьеру женщин, на принимаемые ими решения и на отношение к ним.

Мы решили (в рамках более широкого исследования деятельности американских ученых — мужчин и женщин) проверить другую, противоположную точку зрения, основанную на более ранних исследованиях и заключающуюся в том, что замужество и материнство не оказывают влияния на научную активность женщины. Наш подход предполагал выявление связи между характером семейной жизни и научной деятельностью женщины в динамике на протяжении всей ее карьеры; этот подход не использовался нашими предшественниками, которые лишь устанавливали корреляцию между числом публикуемых статей и статусом женщины в семье на данный момент. Было опрошено 120 ученых: 73 женщины и 47 мужчин. Цель заключалась в том, чтобы узнать, считают ли ученые (как мужчины, так и женщины), что брак и родительские обязанности несовместимы с научной карьерой, справедливо ли это в отношении самих опрашиваемых и как количественно (по числу публикаций) замужество и материн-

ство отражаются на научной активности женщин-ученых. Поскольку мужчины традиционно не несут основную заботу о детях, мы сосредоточили свое внимание полностью на женщинах, сравнивая число публикаций замужних и незамужних женщин, имеющих и не имеющих детей.

Следует отметить, что число публикаций не является исчерпывающим показателем в оценке вклада ученого. Однако оно хорошо коррелирует с другими, более надежными показателями, такими, например, как оценка заслуг ученого его коллегами. Более того, частота публикаций ученого — один из важных факторов, определяющих его научную карьеру. Поэтому мы взяли этот показатель в качестве хотя и грубого, но вполне приемлемого критерия меры продуктивности в научной деятельности. При этом мы исходили из того, что женщины-ученые в известном смысле прошли школу выживания. И действительно, они выдержали все тяготы высшего образования, получили научную степень и нашли работу в науке. Наша задача заключалась в том, чтобы изучить, какое воздействие на шансы женщины преодолеть все эти преграды оказывает ее стремление стать образованным человеком. Это потребовало бы исследования причин, по которым женщины уходят из науки.

ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ мы выбрали лиц, учитывая их пол, научный стаж, специальность и научный вес, и группировали их по этим признакам. Для сравнения влияния замужества и материнства на научную деятельность женщин, получивших докторские степени в разные периоды, их разделили на три возрастные группы: тех, кто получил докторскую степень в период между 1920 и 1959 гг., т.е. до начала движения за эмансипацию женщин, и тех, кто стал доктором соответственно между 1960 и 1969 гг. и 1970 и 1979 гг., когда движение набирало силу и затем распространилось

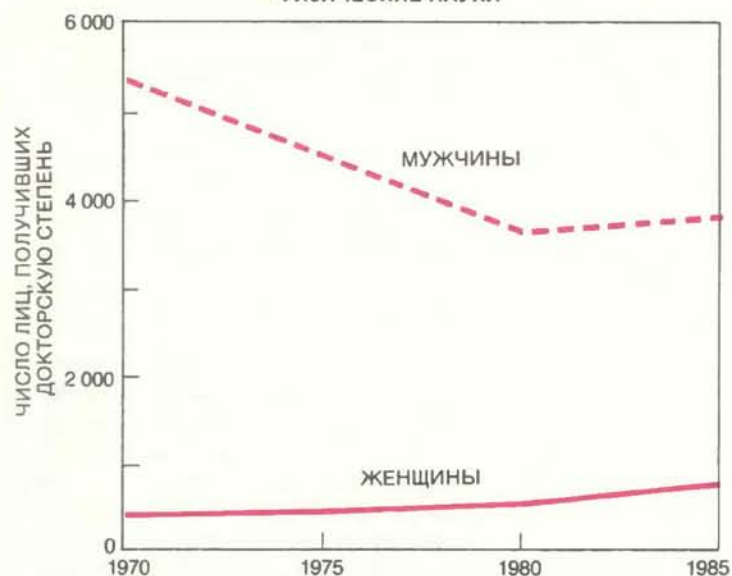
повсеместно. Из всех отобранных женщин 80% специализировались в области математики, физики и биологии, а остальные — в эконоимике и психологии. Такое соотношение 4:1 было выбрано в каждой возрастной группе.

Дальнейшее деление выполнялось на основе оценок коллег, сравнивавших их с другими учеными с примерно одинаковым научным стажем. В старшей группе ученые, стоящие на верхних ступенях «пирамиды» (мы назвали их видными), были представлены членами Национальной академии наук, Американской академии искусств и наук и штатными профессорами факультетов, входящих в первую десятку в данной области согласно результатам обследования качества докторских программ, проводимого в масштабах всей страны. В промежуточной возрастной группе видными считались стипендиаты фонда Гуггенхайма и профессора, работающие по договорам на одном из 10 наиболее престижных факультетов. Самые молодые ученые считались видными, если они получали стипендию Гуггенхайма или занимали должности доцентов на одном из 10 самых престижных факультетов.

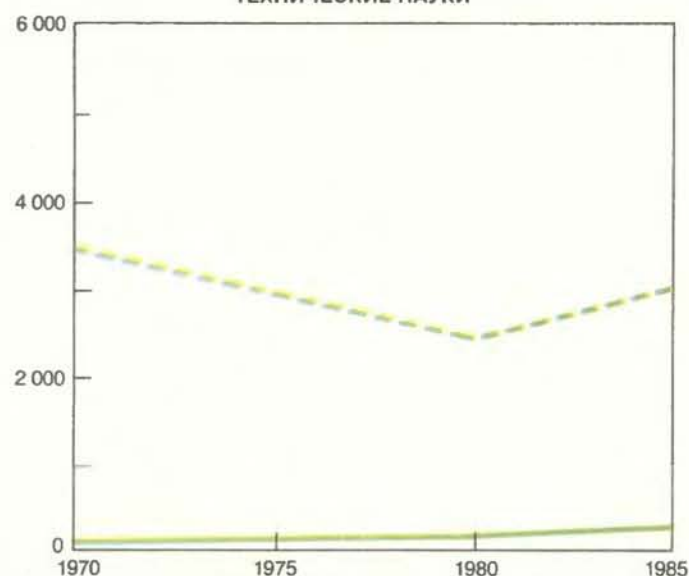
Ученые, не удовлетворяющие этим критериям, были названы нами рядовыми. Они произвольно выбирались из списков профессорско-преподавательского состава факультетов и исследовательских групп официально зарегистрированных четырехгодичных колледжей и университетов в тех же географических районах, что и видные ученые. Они также соответствовали видным ученым по научному стажу и специализации. Хотя эти ученые выбирались по определенной системе, критерий, которым мы пользовались, небольшое число опрошенных и то, что мы исключили из обследования некоторые группы (например, ученых, работающих в промышленности), означало, что мы имели дело не с произвольной выборкой из всех ученых США.

Мы спрашивали ученых об их науч-

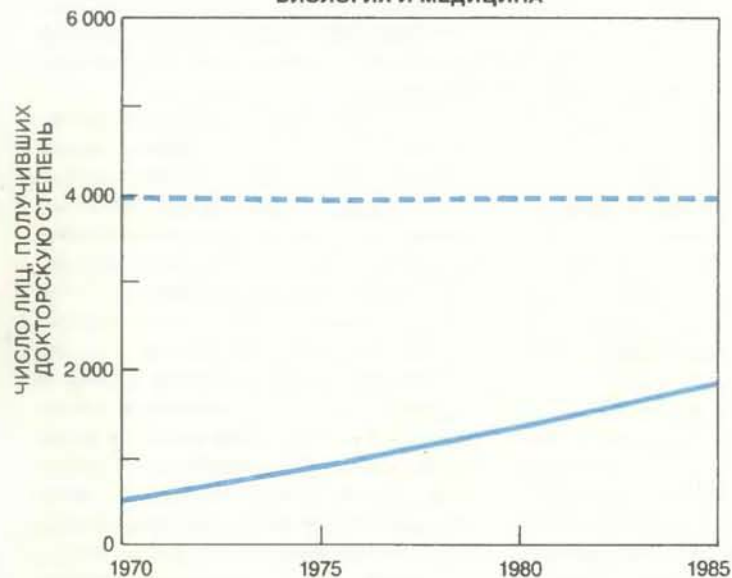
ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ



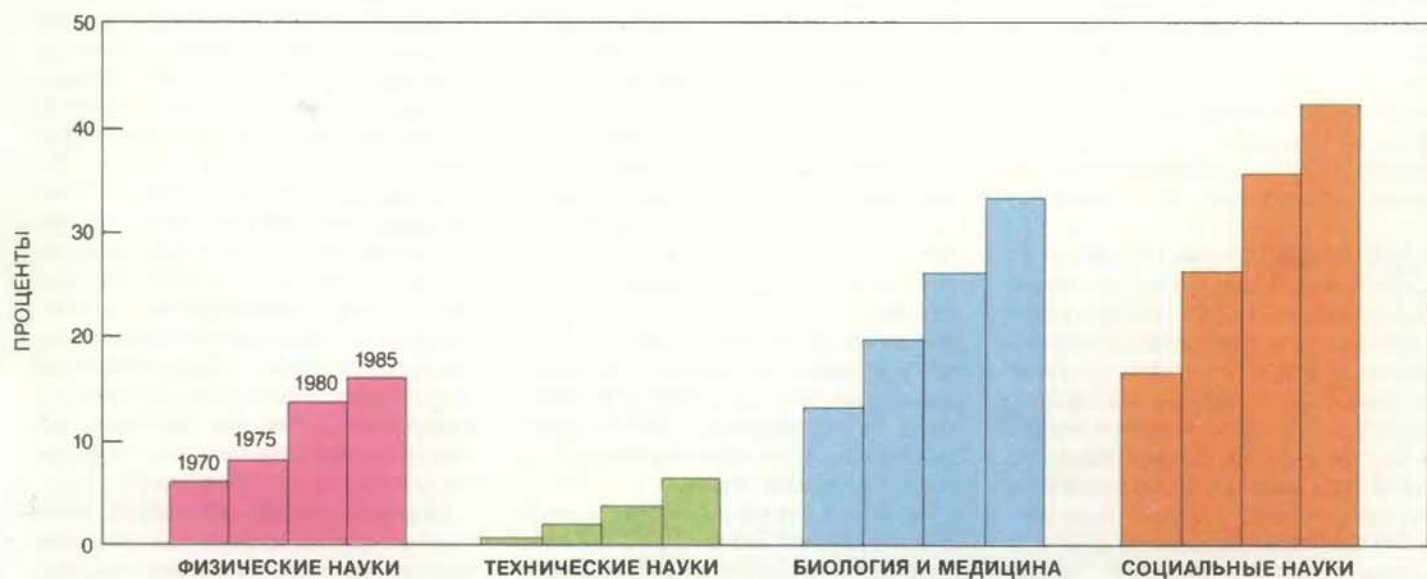
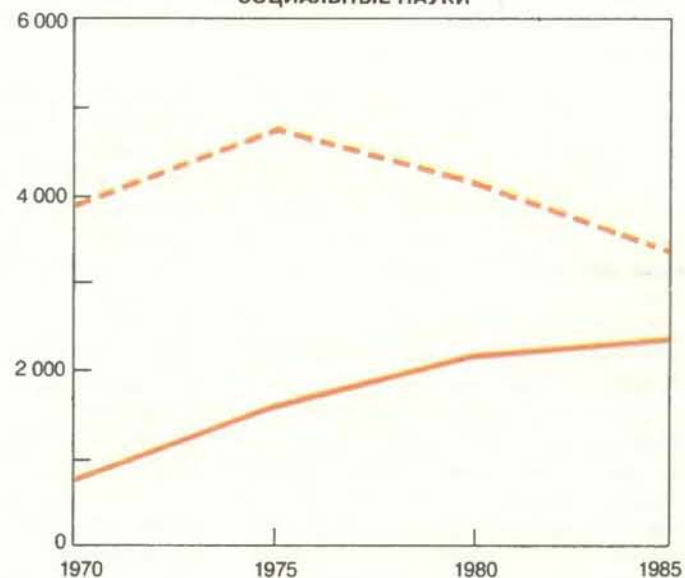
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



БИОЛОГИЯ И МЕДИЦИНА



СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ



ЧИСЛО ЖЕНЩИН, которым присуждалась степень доктора философии, с 1970 г. возросло, несмотря на общий спад числа новоиспеченных докторов-мужчин. Кривые (вверху) показывают изменение числа докторов в США за период с

1970 по 1985 г. Процент женщин-докторов резко увеличился (внизу), но остается низким в области физики и техники. Данные Национального совета по научным исследованиям.



УЧЕННЫЕ-МУЖЧИНЫ публикуют больше статей (черная кривая), чем ученые-женщины (цветная кривая), и эта разница растет со временем. Данные, полученные в результате широкого обследования лиц с докторской степенью и приведенные авторами статьи в более ранних исследованиях, показывают, что по сравнению с сороковыми годами разница несколько уменьшилась.

ной деятельности, публикациях, а также просили прокомментировать построенные нами графики, показывающие зависимость числа статей, опубликованных каждым в течение года, от существенных событий в его (или ее) научной карьере и личной жизни.

И мужчины, и женщины сообщали, что они в конечном счете встречались с убеждением, что брак и материнство не совместимы с тяготами научной карьеры. Не удивительно, что старшему поколению ученых гораздо чаще приходилось сталкиваться с таким убеждением. До (и даже некоторое время после) второй мировой войны считалось, что на первом месте у женщин должны быть брак и материнство, а если серьезно заниматься наукой, то это потребует полной отдачи. Предположение о том, что женщины могут одновременно быть женами и матерями в традиционном смысле и активно работающими учеными, казалось явно абсурдным.

ЭТИ ВЗГЛЯДЫ были выражены одной женщиной-зоологом следующим образом: «Если у тебя были дети и работал муж, то в твоей психологии просто не оставалось места ни для чего иного». В то время эти взгляды разделяли многие мужчины и женщины в среде ученых. Они полагали, что, как только женщина выходит замуж, она уже не может серьезно заниматься наукой. Как рассказала известная женщина-биолог (которой пошел восьмой десяток), заведующая лабораторией, в которой она работала в молодости, пришла в ужас, «узнав, что я выхожу замуж. Она выгнала ме-

ня из лаборатории тотчас же, как услышала об этом, потому что это было изменой по отношению к работающим в лаборатории женщинам». По словам одного мужчины-химика, замужество тогда означало, что женщина «кончена» для науки, а мужчина-физик сказал: «Как только женщина погружалась в домашнюю жизнь, это означало конец ее служебной карьеры».

При господстве такого мнения женщины, намеревавшиеся достичь серьезных успехов на научном поприще, часто не выходили замуж. Приведем слова еще одной женщины-биолога, которой сейчас за 70 лет. Она сказала: «Замужество (для женщины-ученого) считалось делом непозволительным. Вы должны были принадлежать только науке. От всего окружающего вы отгораживаетесь завесой, вы не следуете моде... вы не должны выходить замуж и заводить детей».

Разумеется, не все женщины-ученые разделяли эту точку зрения: некоторые выходили замуж, заводили детей и продолжали работать. Однако до конца второй мировой войны женщин-ученых было мало и менее половины из них были замужем. Среди американских ученых замужние женщины с детьми почти не встречались. Такие женщины рассматривались как нарушающие общепринятые нормы семейной жизни.

Хотя отношение общества к роли жен и матерей значительно изменилось, даже самые молодые женщины-ученые говорят, что многие продолжают считать брак и материнство несовместимыми с научной деятельностью. Одна молодая женщина-химик

сказала о себе: «Когда я должна была стать матерью, многие вычеркнули меня из числа полноценных ученых». Если люди, занимающие руководящие посты или наделенные властью, действуют в соответствии с такими взглядами, они серьезным образом препятствуют замужним женщинам использовать благоприятные возможности для научной карьеры.

ДЛЯ ТОГО чтобы оценить действительное влияние замужества и материнства на положение женщин в науке, мы должны были ответить на четыре вопроса: являются ли замужние женщины в целом менее продуктивными исследователями, чем незамужние и не имеющие детей; действительно ли те женщины среди замужних, которые имеют детей, публикуют меньше научных статей, чем бездетные; наблюдается ли спад числа печатных работ у женщин после рождения ребенка; влияет ли число детей у замужней женщины на ее научную активность?

Анализ научного роста и динамики публикуемости видных ученых среди женщин дал первое подтверждение того, что брак и дети, как правило, не влияют на научную продуктивность. В среднем эти видные в науке замужние женщины (они тоже выходят замуж и рожают детей и этим не отличаются от своих рядовых коллег) на протяжении своей научной карьеры публикуют несколько больше, а не меньше, работ, чем видные ученые из числа одиноких женщин: соответственно 3,0 и 2,2 статьи в год. Среди видных ученых замужние женщины с детьми публикуют 2,9, а бездетные — 3,3 статьи в год. Более того, в течение трехлетних периодов — до и после рождения первого ребенка средняя продуктивность не падает, а растет с 1,5 до 2,7 статьи в год. И наконец, число публикуемых статей в этой группе не зависит от количества детей.

Эти статистические данные явно противоречат здравому смыслу, и все же они согласуются с более ранними выборочными исследованиями. Насколько они соответствуют субъективным мнениям, высказанным женщинами при опросах? Действительно ли женщины думают, что замужество и появление ребенка не связаны с количеством публикаций, и если так, то чем объяснить это убеждение?

Динамика числа публикаций двух видных женщин-ученых старшего поколения — одной с четырьмя детьми, другой с тремя — указывает на одну общую особенность (см. рисунок на с. 67): такие ученые, когда они молоды и имеют маленьких детей, как пра-

вило, меньше публикуются. Число публикаций после первого десятилетия их научной деятельности заметно возрастает. На фоне этой общей тенденции роста наблюдаются также колебания год от года, пики и спады. Все эти женщины, конечно же, признают, что дети отнимают много времени. «Это значит, что на другие дела времени остается меньше». На другие, но не на науку! Их участие в научных исследованиях продолжается.

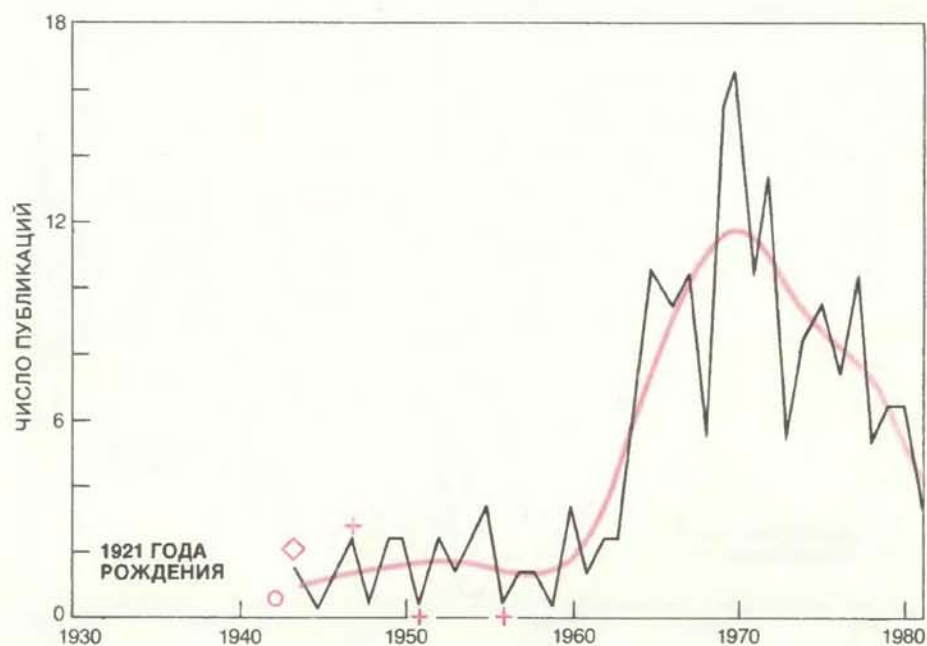
КАК ЖЕ ОНО может продолжаться? Видные ученые среди женщин отмечают, во-первых, что обдумывание научных проблем продолжается после работы и дома. По словам одной из них, оно не прекращается, когда закрывается дверь лаборатории. «Когда дети были маленькие... я обдумывала идеи, когда мыла посуду и нянчила детей. Иными словами, я работала наилучшим образом, когда у меня появлялись дети». Во-вторых, если их мужья также ученые (а это типичная ситуация), то они обсуждают свои научные проблемы и в так называемое свободное время». В-третьих, всякого рода профессиональные обязанности, не связанные непосредственно с исследованиями, гораздо менее многочисленны у молодых ученых, чем у маститых. «В ту пору я отдавала науке больше времени, чем сейчас... Все мое время уходило на работу и на детей. Сейчас у меня много других обязанностей». В-четвертых, менее частая публикуемость в первые годы научной деятельности не связана непременно с обязанностями женщины как матери, а скорее вообще характерна для начального периода работы ученого. По словам одной женщины-физика, «в первые годы... мы занимались созданием огромных приборов. Разработка теории и проведение эксперимента требовали массу времени, поэтому статей в ту пору публиковали не так уж много». Другая женщина, комментируя отмеченные на графике случаи снижения числа публикаций, сказала: «Спад приходится на тот период, когда вы очень заняты».

По мнению этих видных ученых, замужество и материнство не снижали научной активности. Следует ли доверять их ретроспективному взгляду? Возможно, их оценки не были правильными. Изучение графиков, построенных по данным, относящимся к более пожилым замужним женщинам, имеющим детей, показало, что они действительно работали менее продуктивно, когда были молоды и имели маленьких детей. Правда ли, что наличие маленьких детей влияет на научную продуктивность, по край-

ней мере на небольшом отрезке времени?

Мы полагаем, что дополнительный свет на эти противоречащие интуиции результаты может пролить исследование научной активности тех ученых, которые не должны испытывать влияния брака или родительских обязанностей, а именно видных ученых из числа одиноких женщин и мужчин, у которых ответственность за заботу о детях лежит на женах. Действительно ли эти необремененные семейными обязанностями ученые публикуют в

ранний период карьеры больше статей, чем женщины с маленькими детьми? На этот вопрос, вероятно, можно дать отрицательный ответ (см. рисунок на с. 68). Одиноким женщины и женатые мужчины также имеют меньше публикаций в первые десять лет своей научной карьеры. В их научной продуктивности также наблюдаются колебания и общее повышение числа публикаций со временем. Тот факт, что особенности в распределении числа публикаций в ранний период в этих двух группах не



ВИДНЫЕ УЧЕНЫЕ-ЖЕНЩИНЫ на протяжении первых трех десятилетий своей научной деятельности, как правило, с каждым годом публиковали все большее число статей. Изменение числа публикаций двух женщин, из которых одна имеет четверых детей (вверху), а другая — троих (внизу), подтверждают это; данные показывают, что замужество или материнство длительного негативного влияния не оказывают. Черная кривая указывает число статей, публикуемых в каждом году; красная кривая отображает общую тенденцию.

сильно отличаются от тех же особенностей у замужних женщин с детьми, укрепляет доверие к субъективным оценкам, высказанным замужними женщинами.

Однако возникает другой вопрос. Видные женщины-ученые старшей возрастной группы говорят, что замужество и забота о детях не снижали их научной активности. Если это так, почему же увеличивалось число их публикаций после того, как они миновали период, связанный с заботой о

детях, в особенности если учесть те отвлекающие дела и обязанности, которые, как они сами говорят, появляются с профессиональной зрелостью и ростом признания? Частично ответ состоит в том, что с продолжением научной карьеры возрастают возможности совместных исследований. Начинающие ученые большую часть или даже всю черную работу делают самостоятельно; ученые более высокого ранга часто занимают основные административные посты и осущест-

вляют общее руководство работами, которые ведутся в их лабораториях. Их публикации отражают результаты совместных усилий.

Хотелось бы отметить, что графики публикуемости некоторых видных женщин-ученых не обнаруживают типичного увеличения числа публикаций со временем (см. рисунок на с. 69). Сами эти женщины также говорят, что замужество и материнство в их жизни не отражались существенно на их научной активности.



МЕДЛЕННЫЙ РОСТ ЧИСЛА ПУБЛИКАЦИЙ в начальный период карьеры — особенность, характерная как для женатых мужчин, так и для одиноких женщин. Число публикаций известной женщины-биолога (вверху), которая никогда не была замужем, колеблется и со временем увеличивается, как и число публикаций замужних женщин с детьми. Примерно так же колеблется и число публикаций известного мужчины-химика (внизу). Когда его дети были маленькими, он публиковался реже, хотя его обязанности в семейной жизни были минимальными.

НАШИ ДАННЫЕ, похоже, указывают, что видные женщины-ученые старшей возрастной группы, имеющие детей, обычно публикуют столько же статей в начале научной карьеры, сколько их незамужние коллеги. Однако не могли ли мы допустить грубую ошибку в процессе сбора и интерпретации данных? Не может ли быть так, что женщины, имеющие детей и все же не снижающие свою научную активность, относятся к «избранным» в том смысле, что они просто более талантливы, чем те, кто предпочитает остаться бездетными?

Хотя прямое сравнение способностей к научной деятельности провести нельзя, мы можем сравнить публикуемость видных женщин-ученых старшей возрастной группы, имевших и не имевших детей, обращая внимание на период, предшествующий материнству. Мы сравнили число публикаций за три года, предшествующие появлению у женщины первого ребенка, с числом статей, опубликованных бездетными женщинами в соответствующие годы. Результаты были примерно одинаковыми: около 1,3 статьи в год у женщин, которые впоследствии имели детей, и 1,6 статьи у их бездетных коллег. Другими словами, видные женщины-ученые старшей возрастной группы с детьми публиковали лишь немногим меньше статей, чем женщины, которые никогда детей не имели.

Более важно другое обстоятельство, а именно то, что мы, возможно, ошибочно концентрировали внимание на научной деятельности видных женщин-ученых, а не на тех, кто мог с большей вероятностью испытывать отрицательное влияние замужества и материнства на научную активность. Видные женщины-ученые в конечном счете весьма удачливы; если бы замужество и материнство потребовали от них слишком больших жертв, они, возможно, не получили бы того признания, которое имеют. А что можно сказать о публикуемости женщин-ученых рядового состава? Сказались ли отрицательно замужество и материнство на их научной деятельности?

УЧЕННЫЕ рядового состава, как мужчины, так и женщины, в целом, разумеется, публикуются реже, чем их выдающиеся коллеги. Среди этой категории женщин, попавших в поле нашего зрения, замужние публиковали несколько меньше статей, чем одинокие (в среднем 1,1 в год против 1,7). Однако замужние женщины, имеющие детей, публиковали не меньше статей, чем замужние женщины без детей: в обеих группах в среднем примерно по одной статье в год. Как и у видных женщин-ученых, число публикаций у этой категории женщин после рождения детей не снижалось. Рядовые женщины публиковали в среднем существенно меньше одной статьи в год (0,2 статьи) в течение трехлетнего периода до рождения первого ребенка и лишь немногим меньше одной статьи в год (0,8 статьи) в течение трех лет после рождения.

Собственные признания ученых хорошо согласуются с вышеизложенным: появление ребенка не оказывало значительного влияния на исследовательскую работу и число публикаций. Одна женщина-психолог заметила: «Я не прекратила работать, когда у меня появился ребенок... Сразу после его рождения я написала статью и приступила к работе над следующей... так что в любом случае... мне кажется, я работала лучше (точнее, более эффективно), хотя напряжение было большим».

Эта оценка согласуется с оценками других женщин, например женщины-биохимика, которая утверждала, что число публикаций не зависело от семейных обязанностей. «Здесь много случайностей... Моя активность как матери и активность как исследователя не связаны между собой напрямую... Одно другому не мешает». Итак, вопреки ожиданиям, эти представительницы науки так же, как и их старшие и более именитые коллеги, не склонны утверждать, что замужество и семейные обязанности влияют на число их публикаций, а статистические данные, собранные нами, подтверждают их мнение.

УВИДИМ ли мы ту же картину у молодых женщин? Поскольку женщины выходят замуж и заводят детей обычно в начале своей научной карьеры, данные о публикациях молодых ученых должны отражать влияние этих жизненных событий на научную продуктивность, по крайней мере на небольших отрезках времени.

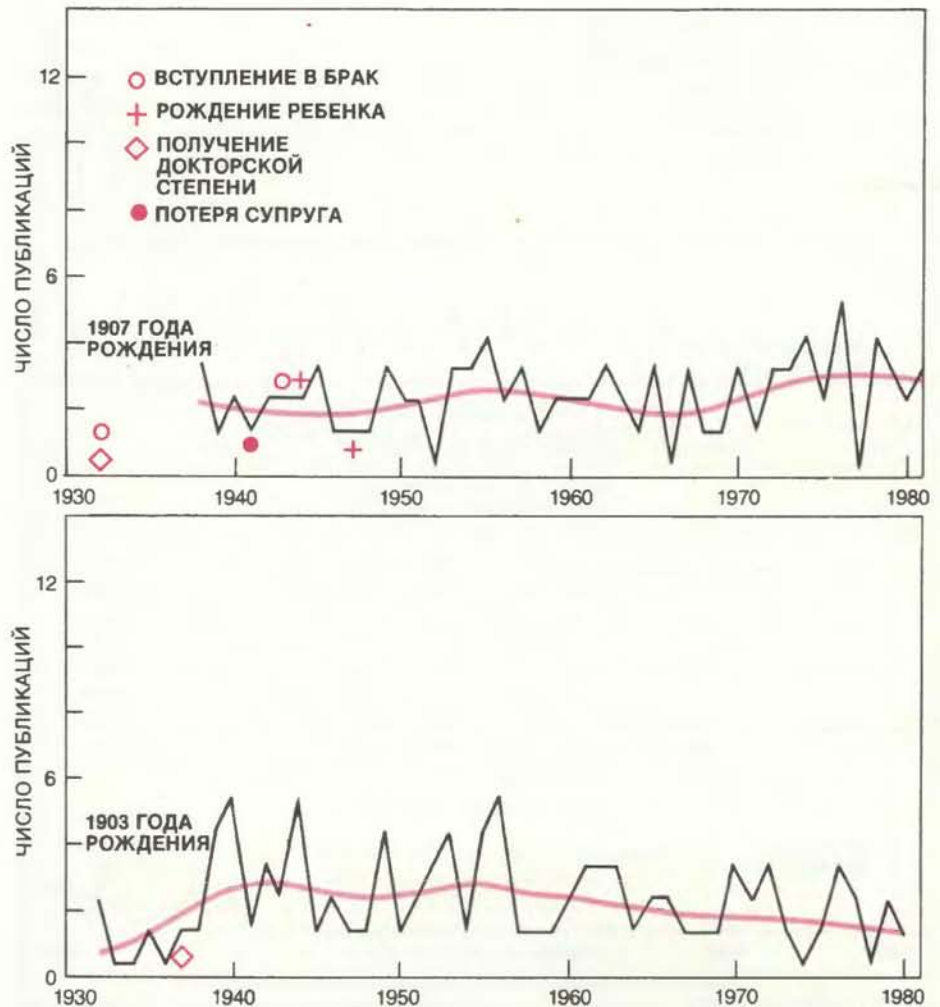
Еще одна женщина-психолог, занимающая сейчас штатную должность профессора на престижном факультете и недавно родившая ребенка, счи-

тает, что материнство не повлияло на интенсивность ее публикаций. «Появление ребенка налагает ограничения на многое, но только не на научную работу; это видно из того, как много сделала я в этом году. Что касается просмотра фильмов, встречи с друзьями и т.п., то здесь я вынуждена себя ограничивать, поскольку в этом году я много времени отдаю ребенку. Раньше приходилось много работать с дипломниками... в комиссии по назначению стипендий, выполнять редакторскую работу, а теперь — ребенок. По сути, у меня всегда было что-нибудь, что отнимало время».

Показателен, пожалуй, случай, относящийся к женщине, которая заведует кафедрой на одном из крупных факультетов. Она живет с четвертым мужем и у нее четверо детей от трех мужей. Если замужество и материнство действительно тормозят научную карьеру, то в данном случае это непременно проявилось бы. Однако

на протяжении ее сложной жизни число публикуемых ею статей росло (см. рисунок на с. 70). Парадоксально, но наиболее резкий спад числа публикаций приходится на 1979 г. — один из немногих, когда она не выходила замуж, не рожала и не разводилась. Когда ее спросили о ее публикациях, она ответила, что внезапно наступает момент, когда ты вдруг готов высказаться по трем различным проблемам, поэтому статьи идут одна за другой... Падения и взлеты в работе не имеют ничего общего с остальными сторонами моей жизни».

И все-таки при опросе 37 женщин, имеющих детей, в трех случаях беременность и рождение ребенка временно помешали исследовательской работе. Женщина-биолог сказала нам: «Я была одной из тех женщин, которые говорили, что они настолько организованы, что рождение ребенка не помешает их научной работе. Я и не сознавала, что физиологические изме-



НЕКОТОРЫЕ УЧЕННЫЕ публикуют статьи на протяжении всей своей научной деятельности примерно с одинаковой частотой. Приведены две кривые для двух известных женщин-ученых; одна была замужем дважды и имеет двоих детей (вверху), другая никогда не состояла в браке (внизу). Хотя среднегодовое число статей колеблется, за пятилетние интервалы в среднем оно остается примерно одинаковым для обеих ученых. Эта особенность проявляется как у замужних, так и у незамужних женщин.

нения могут так повлиять на меня». Когда мы спросили, почему число публикуемых ею работ снизилось лишь временно и всего лишь ненадолго, она ответила: «Мне повезло, потому что в то время у меня в лаборатории были добросовестные сотрудники... Они работали продуктивно... Но я обнаружила, что в течение целого года мой мозг был отключен».

Итак, многочисленные данные показывают, что в целом брак и дети не являются фактором, обуславливающим снижение научной эффективности женщин. Хотя найдется немного людей, которые взялись бы оспорить тот факт, что замужество и материнство влекут за собой огромные обязанности, имеется все же большое число женщин-ученых, успешно совмещающих и научную работу, и семейные обязанности. Как им это удается и как они поступают, когда воз-

никают конфликты между домом и работой?

ЧАСТИЧНО ответ можно найти, поняв, как женщина поддерживает свой «комплексный статус», т.е. совокупность выполняемых ею функций (профессор, заведующая лабораторией, жена, мать и гражданин). Мы сосредоточили внимание на трех взаимосвязанных аспектах комплексного статуса: объеме (количестве одновременно выполняемых функций), совместимости (степени взаимосоответствия различных обязанностей) и временном порядке приобретения или утраты тех или иных функций статуса.

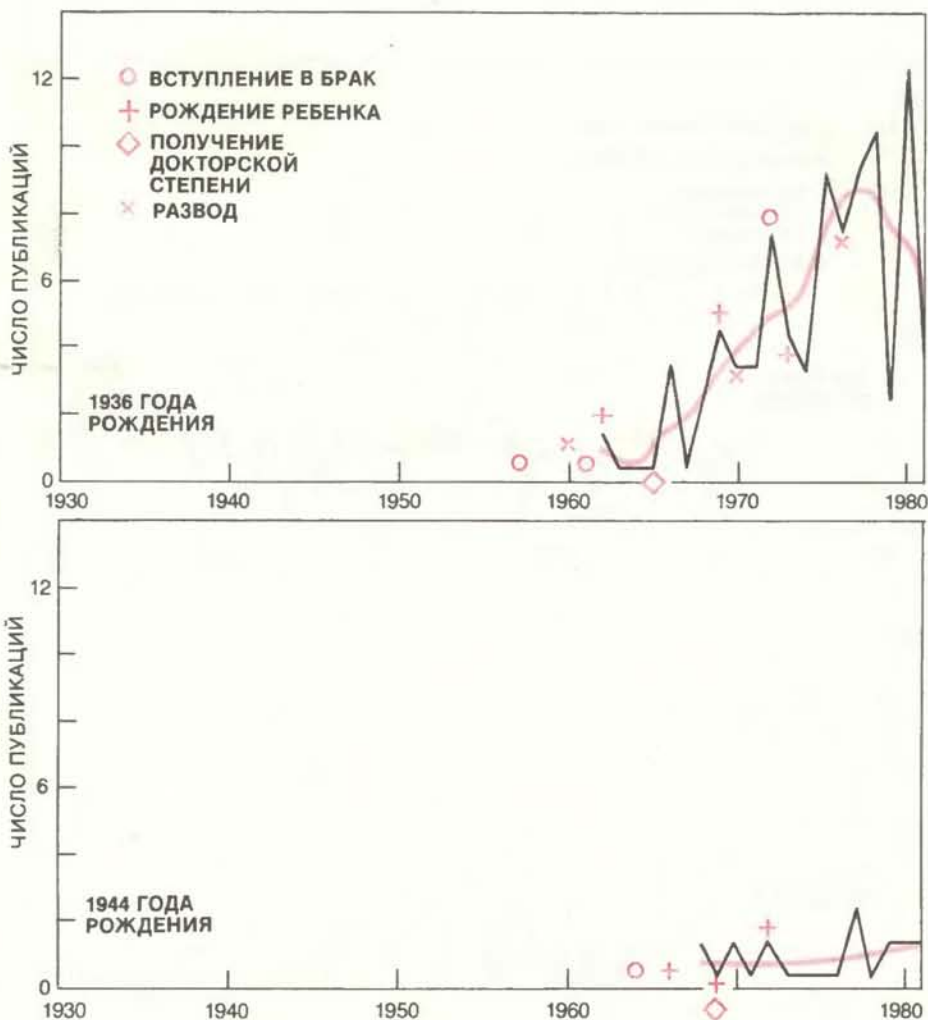
Экспериментальным представляется случай, когда несколько женщин, убежденных в том, что замужество несовместимо с научной работой, решили не выходить замуж и таким об-

разом ограничить свой комплексный статус. Однако три четверти женщин из числа опрошенных все-таки вышли замуж; такое соотношение, вероятно, типично для женщин-ученых в наши дни. Для большинства из них основной вопрос, возникающий в связи с браком, сводился лишь к тому, когда выходить замуж. Как сказала молодая женщина-экономист: «Замужество явилось бы тормозом для моей карьеры. Но как только я получу договор и закреплюсь в университете, то решить проблему замужества будет несколько проще».

Две трети опрошенных замужних женщин-ученых имели детей. Планирование времени их появления, как говорили многие женщины, помогает сохранять полноценную научную деятельность. Известная женщина-физик откладывала появление первого ребенка в течение девяти лет после вступления в брак, чтобы утвердиться как специалист. Многие молодые женщины говорили, что они стараются не обзаводиться детьми, пока не заключат договор на занятие научной должности. Молодая женщина-биохимик, сомневаясь, что можно иметь ребенка и при этом сохранять профессиональный уровень, необходимый для занятия такой должности, отмечала: «В идеале я хотела бы занять должность по договору, а затем родить одного или двух детей».

Все опрошенные женщины-ученые, и известные и рядовые, имели примерно одинаковое количество детей: в среднем двух и не более четырех. Наши данные показывают, что число публикаций в год практически одинаково у тех женщин, которые имеют одного ребенка, и у тех, которые имеют двоих детей и более.

ИМЕЮТСЯ и другие аспекты брака и материнства помимо планирования рождения ребенка, которые важны для равновесного комплексного статуса. Почти четыре пятых опрошенных замужних женщин были замужем за учеными (и здесь пропорция была типичной для женщин-ученых в целом). Такой «селективный» отбор партнеров, очевидно, дает этим женщинам (да и мужчинам тоже) целый ряд преимуществ, включая взаимопонимание в вопросах профессиональных обязанностей супругов и их образа жизни. Одна из женщин — специалист в области молекулярной биологии — заметила, что ее муж вряд ли будет волноваться, если она поздно возвратится домой, поскольку «он знает, что, как бы тщательно я ни планировала что-нибудь, эксперименты всегда связаны с задержками. Я думаю, что такое взаимопонимание



ЧИСЛО ПУБЛИКАЦИЙ не зависит от семейных обязанностей. Этот вывод подтверждается динамикой числа публикаций двух женщин с сильно различающимися научными карьерами. Одна (вверху) — выдающийся психолог, продуктивность ее росла стабильно, несмотря на то, что она четвертый раз замужем (последний раз вступила в брак в 1982 г.), три раза разводилась и имеет четверых детей. Другая (внизу) — доцент химии и имеет троих детей. Свою низкую научную продуктивность она объясняет факторами, не связанными с семейными обязанностями. Динамика числа ее публикаций типична для многих рядовых женщин-ученых.

облегчает жизнь». Женщины-ученые, имеющие мужей-ученых, публикуют в среднем на 40% статей больше, чем женщины, имеющие мужей других профессий. Разницу в продуктивности можно объяснить отношением к работе, совпадением интересов или гибкостью распорядка рабочего дня.

Женщины-ученые могут сбалансировать свои обязанности, налагаемые статусом, путем четкого их разделения, хотя, как они сами утверждают, это не всегда легко сделать. На самом деле для многих труднее не думать о работе дома, чем не думать о детях на работе. Кроме того, каждая женщина, имеющая детей, подчеркивала, что она полагается на ту или иную помощь в воспитании детей или домашнем хозяйстве. Это всегда желательно, но не всегда осуществимо. Стоит заболеть супругу, ребенку или домработнице, и налаженная система рушится.

Если иметь в виду эти трудности, не уместно ли допустить, что ученые, как мужчины, так и женщины, продолжают свою исследовательскую деятельность только благодаря тому, что пренебрегают интересами своих супругов и детей? Наше исследование не ставило своей целью ответить на этот вопрос. Но одно можно утверждать определенно: число разводов как по инициативе мужчин, так и по инициативе женщин не связано с научной продуктивностью.

Замужние женщины с детьми вынуждены многим жертвовать, чтобы поддерживать свою научную активность на достаточном уровне. Они говорят, что должны были отказываться от всего, за исключением работы и семьи, особенно в ту пору, когда дети были маленькими. Как отметила одна психолог из группы выделенных нами видных ученых, самым важным является «продуктивное время. Я думаю, что могу работать эффективно лишь 50 часов в неделю... Если бы у меня не было детей, я бы, вероятно, больше читала... или ходила в кино».

Потеря продуктивного времени не только влияет на возможность развлечений, но иногда также имеет серьезные последствия для исследовательской работы женщины и ее карьеры, даже если не оказывает существенного влияния на количество публикуемых статей. Женщины-ученые, которые связаны жесткими рамками семейной жизни, говорят, что они утратили гибкость в распределении своего времени, что мешает им остаться в лаборатории после окончания рабочего дня и продолжить работу по интересной проблеме. Они жалуются, что перестают чувствовать себя членами коллектива и не имеют времени для

дискуссий с коллегами в нерабочей обстановке.

Другие исследователи пришли к выводу, что лишь 12% женщин-ученых прекращают свою научную деятельность после получения докторской степени. Разумеется, часть из них идет на это из-за невозможности совместить научную деятельность с материнскими обязанностями. Одна женщина, которая оставила благоприятно складывающуюся научную деятельность и занялась администраторской работой, сказала в дополнительном интервью: «Я могла находиться в лаборатории лишь в те часы, когда дети были в школе... Я работала вместе с поистине талантливыми людьми, которые имели такую продуктивность, которая для меня оказалась невозможной... Это меня очень угнетало». Небольшая часть женщин, стало быть, приходит к выводу, что наука и воспитание детей — занятия несовместимые, и они так организуют свою работу, чтобы имелась возможность уделять больше внимания семье.

Наше обследование показывает, однако, что для большинства женщин-ученых наука и дети все же не мешают одно другому. Женщины-уче-

ные, выходящие замуж и обзаводящиеся детьми, публикуют в среднем в год столько же научных статей, сколько и одинокие женщины. Не просто, конечно, одновременно быть и преуспевающим ученым, и женой, и матерью. Для этого требуются правильная организация и умение приспособиться к сложившимся условиям.

Результаты наших исследований не следует интерпретировать так, будто брак и дети не оказывают никакого влияния на карьеру женщины-ученого. Конечно, оказывают, но в целом женщине не приходится платить за это уменьшением продуктивности в ее научной работе. Как же в таком случае объяснить устойчивую разницу в публикуемости мужчин и женщин? Почему мужчины на протяжении своей научной карьеры публикуют существенно больше статей, чем женщины с таким же уровнем образования? Эту разницу, видимо, нельзя объяснить влиянием замужества и наличием материнских обязанностей. Вопрос остается открытым и требует дальнейшего сопоставительного анализа научной деятельности мужчин и женщин.

Издательство МИР предлагает:

КОСМИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Под редакцией Л. Кейви
Перевод с английского

Книга, написанная ведущими зарубежными специалистами, представляет собой сборник статей, в которых рассматриваются перспективные двигатели космических аппаратов (лазерные, солнечные, ядерные и химические) для выполнения орбитальных маневров и межорби-

тальных полетов. Представлены различные научно-технические данные об этих двигателях, проблемах их разработки и областях рационального применения.

Для специалистов, аспирантов и студентов в области ракетно-космической техники.

1988, 29 л. Цена 4 р. 20 к.

Предварительные заказы на книгу выпуска 1988 г. принимаются с апреля-мая 1987 г. магазинами, распространяющими научно-техническую литературу.



Компьютер в роли музыкального инструмента

Достаточно компьютеру сгенерировать определенную последовательность чисел, чтобы произвести любой звук, в том числе и такой, какого еще никто не слышал.

Благодаря широкому спектру возможностей цифровой синтез звука уже нашел свое место в музыке

М. В. МЭТТЮЗ, ДЖ. Р. ПИРС

В ПРОШЛОМ ГОДУ французский композитор и дирижер Пьер Буле поразил американских любителей музыки во время своих гостевых поездок по стране. В его ансамбле музыкальных инструментов использовались компьютер и ряд других электронных устройств, синтезирующих звук. В сочинениях Буле, написанных для оркестра и синтезирующего звук компьютера, цифровое электронное оборудование выступает в роли генератора звука, что далеко выходит за рамки традиционного применения подобного оборудования — записи и последующего воспроизведения симфонической музыки. Хотя компьютеры еще не стали частью каждого симфонического оркестра, цифровые синтезаторы звука уже выступают в качестве альтернативы традиционным инструментам при озвучивании кинофильмов и телевизионных программ и быстро становятся все более популярными в легкой музыке.

Работа по созданию синтезаторов музыки начиналась с одного — можно сказать, пионерного — исследования по компьютерной обработке звука, в котором нам посчастливилось участвовать и которое стало проводиться в 50-х годах в лабораториях фирмы Bell Telephone. Первоначально мы использовали компьютер для анализа и воспроизведения звука, когда занимались изучением факторов, влияющих на качество передачи человеческой речи по линиям телефонной связи.

Хотя наши первые попытки получить при помощи компьютера музыкальные звуки были не совсем удачными, электронные синтезаторы и компьютерные программы, к появлению которых привели в конце концов эти попытки, теперь достигли столь высокого уровня, что стали оказывать существенное влияние на не-

сколько связанных с музыкой областей. Во-первых, эти «инструменты» имеют важное коммерческое значение, поскольку могут создавать музыку и производить звуковые эффекты, легко синхронизируемые с действием, происходящим на кино- или телеэкране. Во-вторых, они способны порождать неограниченное многообразие звуков, что расширяет возможности композиторов и исполнителей. Наконец, — что, наверное, важнее всего — они помогают углубить наше понимание тех звуковых сочетаний, которые мы называем музыкой.

ПО СВОЕЙ физической природе звук представляет собой колебания давления в какой-либо среде, в частности в воздухе. Как таковой он может быть графически представлен в волновой форме — функциональной зависимости между давлением в среде и временем. Как мы воспринимаем звук, т. е. приятен он нам или нет, зависит от того, каким образом различные особенности изменений давления «переходят» в импульсы слухового нерва и как эти импульсы субъективно интерпретируются мозгом.

Звуки, воспринимаемые нами как определенный музыкальный тон, имеют волновые формы, соответствующие почти периодическому изменению давления. Высота звука зависит от частоты повторения вариаций давления. Например, вариации давления, повторяющиеся 440 раз в секунду, воспринимаются музыкантом как тон определенной высоты, а именно как звук ля первой октавы.

Источники большинства слышимых нами звуков самые обычные, например голосовые связки людей, струны скрипки, автомобили и т. д. Звуки могут также вызываться колебаниями в громкоговорителе, если соответствующим образом изменить напряжение на его входе. Как извест-

но всякому, кто знаком со звуковоспроизводящей техникой, при помощи хорошего громкоговорителя можно получить любой заданный звук, если подать на вход громкоговорителя сигнал, являющийся точным электрическим аналогом функции давления, характерной для данного звука.

В математике известна теорема о представлении формы колебания выборочными значениями (отсчетами), согласно которой любое колебание, состоящее из многих компонент различной частоты, может быть точно описано последовательностью чисел, задающих значение амплитуды этого колебания с частотой, определяемой шириной спектра, т. е. диапазоном частот компонент (обычно эти частоты и ширина спектра выражаются в герцах, или числом колебаний в секунду). Точнее, частота, с которой должны генерироваться отсчеты, равна удвоенной ширине спектра описываемого колебания. Именно на этой теореме, доказанной в 1948 г. К. Шенноном * из фирмы Bell Laboratories, основаны цифровая запись, обработка и генерация звука.

Согласно теореме о представлении колебаний выборочными значениями, звуковой сигнал продолжительностью 1 с, с шириной полосы 20000 гц (эта полоса находится в диапазоне слышимых человеком частот), может быть точно записан, если в продолжение этой секунды мы зарегистрируем 40000 чисел — выборочных значений, соответствующих равномерно распределенным мгновенным значениям амплитуды давления звуковой волны (или ее электрического аналога — напряжения). И наоборот, по соответствующим 40000 выбранных значений можно воспроизведе-

* В отечественной литературе эта теорема известна как теорема Котельникова. — Прим. перев.

сти любой звук во всем его акустическом богатстве и сложности. Примером такой системы хранения и воспроизведения информации может служить «оптический» диск с высокой плотностью записи, на котором 40000 отобранных за 1 с значений волновой функции закодированы в виде точечных участков поверхности, обладающих различными отражающими свойствами.

Другой способ записи и считывания таких колоссальных массивов чисел, необходимых для воспроизведения звука, дают нам цифровые микропроцессоры. Преобразование компьютером чисел в электрическое напряжение определенного уровня — важный этап в цифровой обработке звука — можно легко выполнить с использованием аналого-цифровых преобразователей, которые переводят электрический сигнал в последовательность чисел, пропорциональных уровню напряжения, и цифро-аналоговых пре-

образователей, совершающих обратную процедуру. Последовательность дискретных импульсов напряжения, которую выдает цифро-аналоговый преобразователь по входной последовательности выборочных значений амплитуды, обычно «сглаживается» в непрерывную волновую форму при помощи специального фильтра, прежде чем этот электрический сигнал подается на вход звуковоспроизводящей системы.

И в памяти компьютера, и на поверхности диска выборочные значения амплитуды представлены в виде двоичных чисел. По современным стандартам каждое выборочное значение представляет собой 16-разрядное двоичное число. Это позволяет разбить амплитуду звуковой волны на 65 536 дискретных уровней. (На практике половина этих чисел используется для представления положительных значений амплитуды, а другая половина — для отрицательных.)

Такой диапазон уровней амплитуды недостаточен для абсолютно чистого, лишённого шумов воспроизведения джазовой или симфонической музыки, однако качество получаемого в результате звука все-таки намного лучше по сравнению с обычными аналоговыми записями на стандартных грампластинках или магнитной ленте.

НАШИ ПЕРВЫЕ попытки применить теорему о представлении формы колебания выборочными значениями для генерации звука при помощи компьютера завершились неприятным сюрпризом: вместо прекрасных звуков музыки мы синтезировали лишь немusикальные звуки. На начальном этапе работы мы преимущественно занимались преобразованием в звук числовых последовательностей, представляющих простые волновые формы (такие, как синусоида или пилообразная кривая).



СИСТЕМА ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗВУКА является составной частью оркестра в ансамбле InterContemporain. На снимке показан момент репетиции сочинения Пьера Буле

«Ответ». Операторы управляют системой (на переднем плане) в реальном масштабе времени по сигналам самого Буле, дирижирующего оркестром.

Звуки, полученные таким образом, были какими-то жужжащими и «электронными».

Проблема заключалась не в том, что возможности компьютера, с которым мы работали, были ограничены. Основная трудность состояла в том, что никто из нас не знал, какие компоненты определяют форму колебаний, которые человеческое ухо воспримет как приятный музыкальный звук. Характерное качество звука, или его «оттенок», называется тембром. Хотя нам удалось синтезировать при помощи компьютера звуки заданного тона и громкости, воспроизвести звуки приятного музыкального тембра оказалось очень трудно.

Не помогла нам и та не слишком обширная литература, которая была посвящена физическим свойствам звука, производимого традиционными музыкальными инструментами. Она оказалась не только неполной, но и во

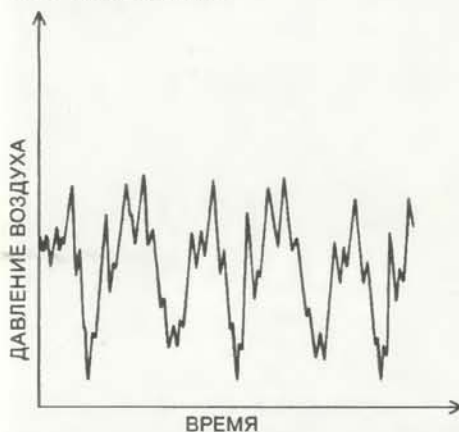
многих случаях вводящей в заблуждение. Например, во многих работах при описании музыкального звука обычно рассматривается его «стационарное» состояние, или средняя часть его волновой формы, однако нам вскоре стало очевидно, что начальный участок нарастания амплитуды колебания и конечный участок (затухание) гораздо важнее. Контур волны, проведенный путем соединения одной линией ее пиков и впадин, называется огибающей. Огибающая с крутым нарастанием, за которым следует относительно плавный спад, соответствует звуку с тембром резко задетой струны независимо от флуктуаций формы волны в пределах огибающей на стационарном участке.

Считалось также, что достаточно знать относительные амплитуды для компонент с различными частотами на стационарном участке музыкального тона, чтобы охарактеризовать

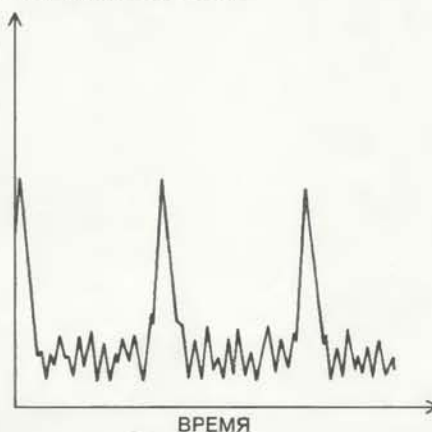
его тембр. Анализ частотного спектра музыкального тона показывает, что его волновая форма содержит не только компоненту с частотой, соответствующей высоте тона (называемой основной частотой), но и несколько других компонент, частоты которых обычно, хотя и не всегда, являются целыми кратными от основной частоты. Эти компоненты называются частичными тонами, или гармониками, и их можно пронумеровать в порядке частот. Следовательно, основная компонента — это первая гармоника, компонента следующей в порядке возрастания частоты — вторая гармоника и т. д.

Согласно традиционной точке зрения, звук кларнета, например, полностью определяется спектром, в котором частоты всех гармоник являются нечетными кратными основной частоты. Хотя такое представление о частотном спектре кларнета в какой-

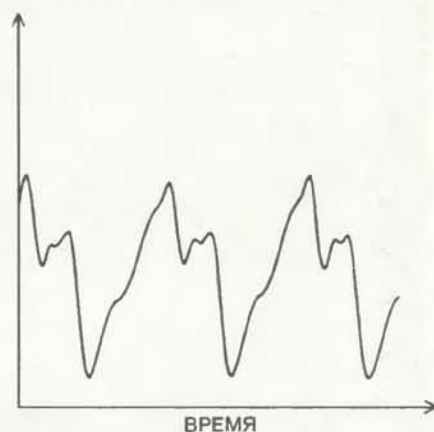
ОБЫЧНАЯ СКРИПКА



ЭЛЕКТРОННАЯ СКРИПКА



ЦИФРОВОЙ СИНТЕЗАТОР



ФОРМЫ КОЛЕБАНИЙ показывают, как тот или иной звук изменяет давление окружающего воздуха. Звук обычной скрипки (слева) характеризуется сложной периодической формой колебаний. В электронной скрипке (в центре), созданной одним из авторов (Мэттьюзом), движение метал-

лической струны преобразуется в электрический сигнал, который, пройдя через фильтр, дает простую форму колебаний, похожую на скрипичную. Цифровой синтезатор звука (справа) точнее имитирует звук настоящей скрипки по сравнению с электронной скрипкой.



ТЕОРЕМА, согласно которой любое колебание, состоящее из компонент с различными частотами, может быть точно описано последовательностью выборочных значений его амплитуды, лежит в основе всех видов цифровой обработки звука. Выборочные значения — это числа, пропорциональные мгновенным значениям амплитуды колебания, а минимальная частота, с которой отбираются эти значения, должна быть равна удвоенной ширине спектра коле-

баний. Выборочные значения, хранящиеся в памяти компьютера, могут быть преобразованы в напряжения, пропорциональные каждому значению. Дискретные уровни напряжения затем «сглаживаются» в непрерывный сигнал, который, пройдя через усилитель, подается на вход громкоговорителя. Синтез звука осуществляется при помощи компьютера, который для каждого заданного звука генерирует соответствующую последовательность чисел.

то степени справедливо, мы пришли к выводу, что, исходя лишь из него, невозможно охарактеризовать тембр этого музыкального инструмента.

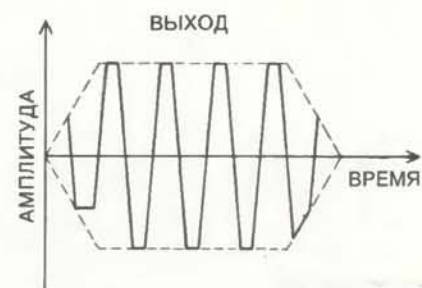
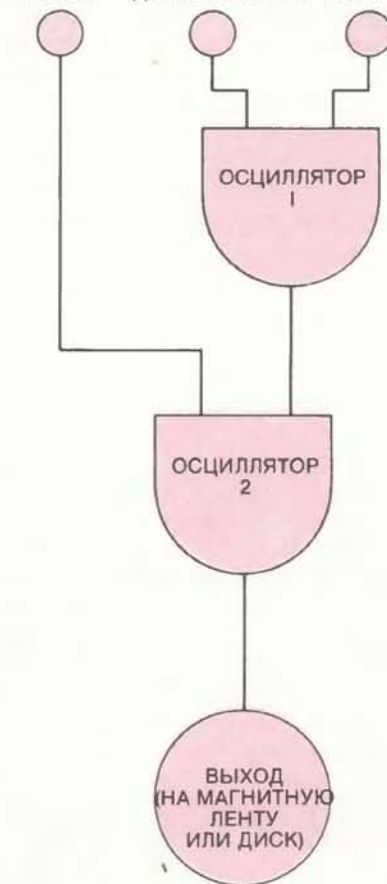
ЧТОБЫ ПОНЯТЬ, что такое тембр звука, и рассеять некоторые устаревшие, вводящие в заблуждение представления, потребовалось провести детальное исследование. К счастью, компьютер оказался мощным инструментом для изучения музыкальных тембров. Яркой демонстрацией того, как можно анализировать и синтезировать звук хорошего тембра, может послужить работа, выполненная еще в 1965 г. в фирме Bell Laboratories французским композитором и физиком Клодом Риссе.

Риссе намеревался синтезировать звук медных духовых инструментов, отличающийся хорошим тембром, основываясь на том, что он прочел в существующей литературе об относительных амплитудах гармоник трубы. Он составил для компьютера программу, которая должна была генерировать числа, соответствующие выборочным значениям амплитуды того, что он считал волновой формой, характерной для трубы. Однако, когда эти числа были преобразованы в звук, выяснилось, что этот звук совсем не похож на звук трубы.

Тогда Риссе записал звук настоящей трубы и проанализировал его спектр при помощи компьютера. Анализ показал, что спектр звука меняется на протяжении его звучания и что высокочастотные гармоники имеют гораздо большие амплитуды в средней части звука по сравнению с участками его нарастания и затухания. Синтезируя звук, высокочастотные гармоники которого медленно увеличивают свою амплитуду на начальном участке и достигают максимума на стационарном участке, Риссе добился звучания, которое обычный слушатель не мог отличить от записей звуков трубы.

В конечном итоге Риссе установил, что частотный спектр стационарного состояния не дает адекватного описания тембра. Чтобы синтезировать музыкальный звук определенного тембра, необходимо знать, каким образом частотный спектр изменяется на протяжении звучания тона, т. е. как различные гармоники нарастают на начальном участке и как они потом затухают. Более того, он пришел к выводу, что различные гармоники следуют своим собственным временным зависимостям и что последние имеют определяющее значение для слушателя. Поэтому частотный спектр стационарного состояния редко дает достаточную информацию

ЧАСТОТА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ГРОМКОСТЬ



ВРЕМЯ ОТСЧЕТА (С)	ДЛИТЕЛЬНОСТЬ (С)	ГРОМКОСТЬ (ПРОИЗВОЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ)	ЧАСТОТА (ГЦ)
0	1,5	1	262
2,0	0,25	5	325



КОМПЬЮТЕРНЫЙ «ИНСТРУМЕНТ» построен из так называемых генераторов — блоков программы синтеза звуков Music V, написанной одним из авторов (Мэттьюзом). Генераторы представляют собой подпрограммы, численные входы и выходы которых соединяются различными способами. Наиболее важную роль играет генератор, называемый осциллятором. При каждом обращении к осциллятору он генерирует последовательность чисел, соответствующих заданной форме колебаний. Амплитуда и частота колебаний на выходе определяются двумя входными переменными осциллятора. Вход, управляющий амплитудой осциллятора, который определяет высоту тона, часто является выходом другого осциллятора, управляющего огибающей звуковой волны. Огибающая определяет участок нарастания звука (его крутизну), его «стационарное состояние» (средний участок) и участок затухания. Игруют на таком инструменте с помощью нотных списков (слева внизу) — компьютерных инструкций, содержащих по существу ту же информацию, которую сообщают ноты (справа внизу).

для воспроизведения звука обычных музыкальных инструментов.

В своей работе Риссе следовал методике, которую можно назвать анализом путем синтеза и которая расширила наше представление о тембрах, характерных для звучания традиционных музыкальных инструментов. В рамках этой методики сначала анализируется звук, часто с помощью компьютера. Звук разбивается на отдельные частотные компоненты и определяется огибающая для каждой

компоненты. Обычно подобный анализ дает массу подробной информации, из которой затем экспериментатор должен отобрать те свойства, которые он считает важными для порождения тембра, присущего данному звуку. После этого исследователь формулирует гипотезу, дающую простое физическое описание звука, и проверяет эту гипотезу, синтезируя на ее основе звук. Гипотеза оценивается путем сравнения синтезированного звука со звуком-оригиналом. Ес-

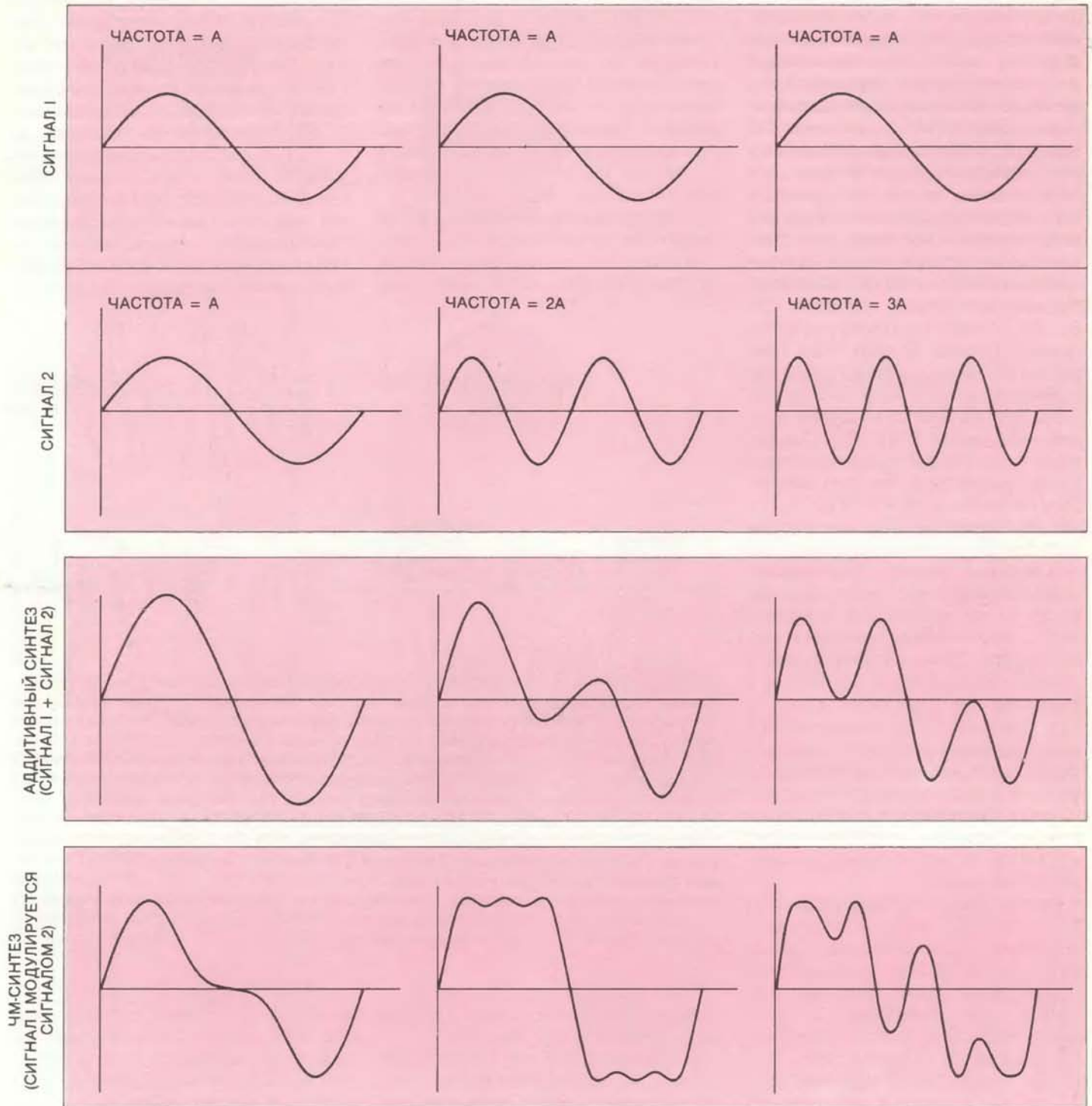
ли они оказываются неразличимыми для слушателя, то экспериментатор сумел правильно выделить ту информацию, которая эффективно характеризует данный класс звуков.

ДЛЯ ТОГО чтобы синтезировать звуки, будь то в целях анализа или воспроизведения музыки, необхо-

димо располагать программным обеспечением, которое эффективно генерировало бы последовательность двоичных чисел, представляющих последовательные выборочные значения формы колебаний. Программы должны быть простыми в обращении и в то же время достаточно сложными, чтобы превратить фактически

любую гипотезу звука-тембра в колебание.

В конце 50-х — начале 60-х годов один из авторов (Мэттьюз) занимался составлением таких программ. Одна из этих программ, Music V, содержит основные элементы, которые до сих пор применяются в программном обеспечении всех центров компьютер-



ДВА РАСПРОСТРАНЕННЫХ МЕТОДА синтеза сложных музыкальных волновых форм — аддитивный синтез и синтез на основе частотной модуляции (ЧМ). При аддитивном синтезе отдельные колебания суммируются, чтобы получить музыкальный звук. Частоты суммируемых колебаний являются целыми кратными от основной частоты, задающей высоту тона. Эти отдельные частоты соответствуют различным компонентам музыкального звука, или его гармоникам. При синтезе звука методом частотной

модуляции частота несущего колебания изменяется в зависимости от амплитуды модулирующего колебания. В результате обычно получаются более сложные колебания. Более сложные звуки можно получить, варьируя относительные амплитуды и фазы несущего и модулирующего сигналов. Поскольку синтез на основе ЧМ требует меньшего количества форм колебаний для обогащения тембра, он пользуется большей популярностью, чем метод аддитивного синтеза.

ной музыки в мире. Среди них несколько простых программных блоков, называемых генераторами, которые предоставляют в распоряжение музыканта гибкие средства для создания уникальных инструментальных звуков; таблицы чисел, хранящиеся в памяти и позволяющие по команде эффективно генерировать определенные формы колебаний; списки нот (применяемые вместо обычных музыкальных обозначений), задающие исполняемую мелодию.

Композитор имеет возможность создавать свои собственные уникальные «инструменты», комбинируя генераторы тем или иным способом. В некотором смысле генераторы — это компьютерные модели электронных устройств, применявшихся в аналоговых синтезаторах первого поколения. Эти устройства пользователь сам соединял в нужные ему комбинации. В то время как модульные устройства в аналоговом синтезаторе манипулируют электрическим напряжением, генераторы программы Music V манипулируют числами. Наиболее важными элементами являются осциллятор, сумматор и умножитель.

При каждом обращении к осциллятору он генерирует ряд чисел, соответствующих форме колебаний, взятой из каталога всевозможных форм, которые хранятся в памяти компьютера в виде набора выборочных значений. Эти формы колебаний могут представлять функции различного вида, в том числе синусоидальные, пилообразные, прямоугольные и т. д. То, что формы колебаний хранятся в памяти, значительно повышает эффективность осциллятора, поскольку программе требуется лишь «взглянуть» на выборочные значения формы колебаний вместо того, чтобы каждый раз вычислять их заново. Вдобавок хранящаяся в памяти форма колебаний определяет некоторые характеристики тембра.

Осциллятором управляют две входные переменные: одна определяет амплитуду его выхода, другая — частоту колебаний. Обе эти переменные могут менять свое значение как функции времени, что приводит к увеличению или уменьшению амплитуды и частоты. Вход, управляющий амплитудой генерирующего звук осциллятора, сам часто является выходом другого осциллятора, который выступает в роли генератора огибающей для управления участками нарастания и затухания звука. Как мы уже отмечали выше, вид функции на участках нарастания и затухания волны существенным образом влияет на тембр синтезируемого компьютером звука.

Сумматор и умножитель, как и предполагают их названия, вычисляют соответственную сумму и произведение двух входных чисел. Сумматор может складывать выходные значения двух синусоидальных осцилляторов, которые были «настроены» на отдельные гармоники инструмента. Он может также прибавлять к входной величине, определяющей частоту осциллятора, небольшое, определенным образом изменяющееся число. Это позволяет моделировать эффект частотной вибрации звука. Умножителем можно пользоваться несколькими способами: как регулятором громкости (путем умножения сигнала на входе осциллятора, задающего амплитуду, на заданный коэффициент) или как устройством, изменяющим высоту тона путем умножения на заданный множитель сигнала на частотном входе осциллятора. Часто используются также генераторы, выдающие случайные числа для синтеза шумоподобных звуков и небольших случайных флуктуаций в частоте и амплитуде генерируемых тонов. Благодаря этому приему звучание становится более естественным и менее машинным.

Композитор «создает» свой инструмент на начальной стадии выполнения программы Music V, отобрав нужный ему набор генераторов и указав все связи между их числовыми входами и выходами. По крайней мере один выход должен вести к цифроаналоговому преобразователю, который преобразует двоичные отсчеты в колебания, воспроизводимые громкоговорителем. Для композитора, пишущего компьютерную музыку, задача создания своего инструмента открывает простор для творчества. Композитор же, полагающийся в своих сочинениях на традиционные инструменты, может синтезировать лишь обычные музыкальные звуки. Каким же образом можно «сочинять» музыку с помощью подобной программы? Это делается с использованием списков нот.

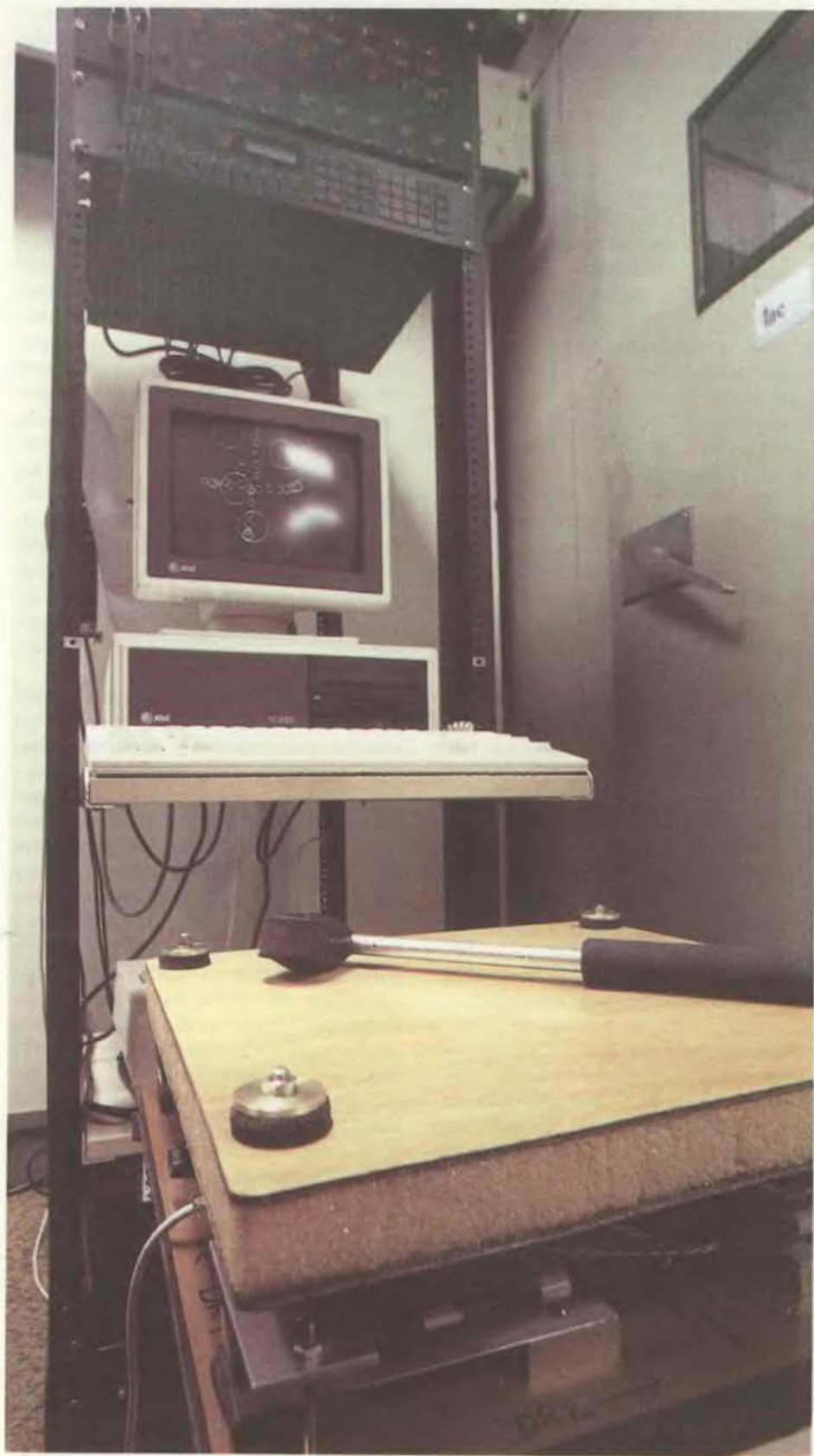
Нотный список — это компьютерная инструкция, определяющая по существу ту же информацию, которую сообщают музыканту ноты. В этом списке указано, какая нота должна быть сыграна и на каком инструменте, ее продолжительность, высота и громкость. Список часто включает дополнительную информацию, определяющую тембр инструмента. Нотные списки, конечно, не похожи на обычные музыкальные партитуры. Они состоят из букв и чисел, интерпретируемых компьютером как входные данные для синтезирующих выборочные значения «инструментов»,

которые в свою очередь состоят из соответствующим образом соединенных генераторов.

ПРИ СИНТЕЗИРОВАНИИ сложных звуков можно воспользоваться несколькими общими подходами. В работе Риссе, например, применен метод, называемый аддитивным синтезом, или суммированием компонент; каждая компонента звука синтезируется отдельно, у каждой из них своя собственная частота и своя огибающая. При сложении всех компонентов получается синтезированный вариант звука. Следуя методу аддитивного синтеза, можно довольно точно имитировать «негармонические» компоненты (т. е. компоненты, частоты которых не являются целыми кратными основной гармонике), присущие звуку рояля, или ярко выраженные негармонические компоненты ударных инструментов. Этот метод представляет собой наиболее общий подход к синтезированию звука с тем или иным тембром.

Метод аддитивного синтеза — эффективное средство, но требует больших затрат средств и времени. Тембры определяются многими гармониками, и если каждую из них генерировать по отдельности, то нужно проводить очень много вычислений. Кроме того, если каждая компонента по своему зависит от времени, то для управления синтезом огибающих этих компонент необходимо хранить много дополнительной информации. По этим причинам начались поиски более простых путей, позволяющих синтезировать звуки с тембром, сравнимым с тем, который дает метод аддитивного синтеза, но при меньших затратах. Одним из таких путей является синтез на основе частотной модуляции, предложенный Дж.М. Чаунингом из Станфордского университета. Именно этот метод применяется в настоящее время в наиболее известных цифровых синтезаторах.

Частотная модуляция (ЧМ) обычно вызывает ассоциацию с широко применяемым в радиотехнике методом передачи информации путем модулирования, или изменения, частоты высокочастотного сигнала (несущего сигнала) низкочастотным информационным сигналом (модулирующим сигналом). Метод Чаунинга основан на несущем и модулирующем сигналах, которые имеют либо идентичные частоты, либо частоты одного и того же порядка величины. В радиотехнике подобных соотношений частот между несущим и модулирующим сигналами стараются избегать, поскольку информационный сигнал занимает очень широкую полосу ча-



«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ» МУЗЫКАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ в лаборатории одного из авторов (Мэттьюза) состоит из персонального компьютера, подсоединенного к изготовленному по заказу датчику и промышленному цифровому синтезатору звука. Инструмент позволяет «дирижировать» исполнением запрограммированной музыкальной пьесы: удары мягкого молоточка по прямоугольному «барабану», играющему роль дирижерской палочки и называемому дейтоном (на переднем плане), задают темп; место, по которому ударяет молоточек, определяет громкость и другие параметры, регулирующие звук инструмента. На экране компьютера, расположенном над дейтоном, графически отображаются удары, — круг, радиус которого пропорционален силе удара, появляется в том месте, по какому пришелся удар молоточка. Два темных блока на стойке над компьютером — это синтезатор и устройство цифровой обработки звука.

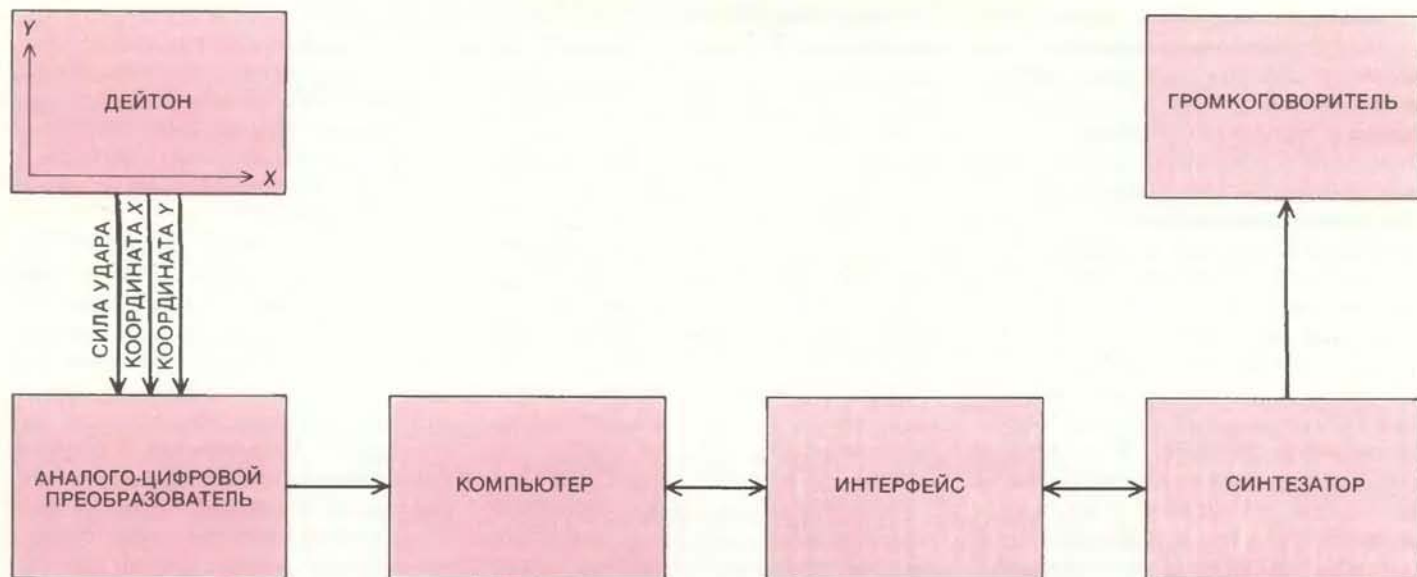
стот. Однако в случае музыкальных приложений таким расширением частотного спектра сигнала можно воспользоваться для обогащения тембра.

По сравнению с инструментами аддитивного синтеза понять принцип работы инструмента, основанного на ЧМ, пожалуй, труднее. Синтез на основе частотной модуляции требует по крайней мере двух осцилляторов — осциллятора несущей частоты и осциллятора модулирующей частоты. Оба осциллятора обычно генерируют простые синусоидальные колебания, у которых участки нарастания и затухания управляются генераторами огибающих. Частота осциллятора несущей волны непрерывно сдвигается на величину, пропорциональную амплитуде колебания, генерируемого осциллятором модулирующего сигнала. Поэтому частота несущего сигнала уже не является постоянной, она представляет собой сумму средней несущей частоты и постоянно изменяющегося сигнала на выходе модулирующего осциллятора.

Если средняя частота несущего сигнала и частота модулирующего сигнала совпадают, то период основной гармоники частотно модулируемого колебания будет тем же, что и у неизменного несущего колебания. Меняется, однако, форма колебания несущего сигнала. Можно показать, что по мере увеличения амплитуды модулирующего сигнала количество и относительная амплитуда высокочастотных гармоник несущего колебания также увеличиваются.

Предположим, что у огибающей модулятора участок нарастания более пологий, чем у несущего сигнала. В этом случае высокочастотные гармоники будут нарастать медленно, приближаясь к амплитудам своего стационарного состояния. Но это как раз то, что нужно для имитации тембра духовых инструментов. На самом деле программа, которую мы только что описали, достаточно хорошо имитирует этот тембр, причем для этого требуются лишь два осциллятора и два генератора огибающих. Для сравнения заметим, что синтез того же тембра методом аддитивного синтеза обычно требует 10 отдельных осцилляторов и 10 отдельных генераторов огибающих.

Если частота модулирующего сигнала не совпадает с частотой несущего, то компоненты результирующего промодулированного сигнала не являются гармоническими. Частотный спектр звука состоит из множества компонент с центром, соответствующим несущей частоте. Частоты отстоят друг от друга на величину, рав-



ЦИФРОВОЙ ИНТЕРФЕЙС МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ (MIDI), предназначенный для кодирования музыкальных данных, несколько лет назад был принят в качестве стандарта фирмами — изготовителями электронных инструментов. Он обеспечивает связь между компьютером и синтезатором. В инструменте, называемом дейтоном (см.

рисунок на с. 78), аналоговые электрические сигналы, преобразуются в цифровые и передаются в компьютер. Последний комбинирует эту информацию с нотами, хранящимися в его памяти, и посылает результирующую информацию через интерфейс MIDI синтезатору, который и воспроизводит соответствующие музыкальные звуки.

ную модулирующей частоте. Когда модулирующая частота очень низка, образуется весьма плотный набор частот, и в результате синтезируемый звук имеет резкий, диссонирующий тембр. Когда модулирующая частота выше несущей, негармонические компоненты разбросаны далеко друг от друга и получаемый в результате звук имеет тембр, характерный для ударных инструментов.

Хотя при помощи частотной модуляции невозможно получить любой произвольно выбранный спектр частот, Чаунинг показал, что за счет правильно подобранных частот и огибающих для несущего и модулирующего сигналов можно получить множество интересных с музыкальной точки зрения звуков. Более того, основной звук, получаемый при помощи ЧМ, можно обогатить путем простого объединения нескольких колебаний, генерируемых посредством ЧМ. Синтезатор Yamaha DX-7, основанный на методе частотной модуляции, имеет 6 осцилляторов для каждого из 16 одновременно звучащих голосов. Эти осцилляторы часто группируются на три пары несущего и модулирующего сигналов, а их результирующие сигналы затем складываются.

МЕТОД аддитивного синтеза и синтез, основанный на частотной модуляции, были первыми методами воспроизведения музыкальных звуков при помощи компьютера. Применяются они и сейчас. В последнее время разработаны новые

подходы, основанные на применении цифрового оборудования, которое специально сконструировано для музыкальных целей. Несколько фирм, выпускающих музыкальные синтезаторы, воспользовались, например, значительным падением стоимости интегральных микросхем памяти и стали хранить в памяти машины копии форм колебаний реальных музыкальных инструментов в виде множества выборочных значений. Для каждого звука нужно хранить информацию об участке нарастания, а также части стационарного участка затухания. Тона различной высоты получают за счет повышения или понижения плотности, с которой хранящиеся в памяти формы колебаний объединяются в единый сигнал. Качество звука и его продолжительность можно регулировать путем усреднения и гладкого слияния различных частей хранящихся форм колебаний.

Если хранящиеся в цифровом виде «естественные» формы колебаний дают «естественные» звуки, то в синтезируемой музыке очень трудно адекватно уловить все нюансы, связанные с громкостью, высотой тона и тембром при исполнении целых музыкальных фраз. Поэтому и сейчас много внимания уделяется проблеме «естественности» звуков, в том числе и тех, которые синтезируются из основных форм, таких, например, как пилообразная функция.

Пилообразная функция сходна с формой колебаний, соответствующей звуку, производимому струной скрип-

ки, однако если воспроизвести пилообразный сигнал через громкоговоритель, то звук будет неприятным, звенящим. Различие между этим звуком и звуком скрипки заключается в том, что корпус скрипки избирательно усиливает некоторые частоты (резонансные) и приглушает остальные. Аналогичным образом вибрирующие голосовые связки поющего человека сами по себе производят совершенно невообразимый звук. Тембр голоса почти полностью формируется системой резонаторов голосового аппарата.

Эти свойства музыкального звука были ясны уже в начале исследований в области компьютерной музыки, но их было очень трудно реализовать на практике. Технические достижения последнего времени, приведшие к снижению стоимости и повышению быстродействия интегральных схем, позволяют теперь моделировать при помощи компьютера резонансные явления, характерные для «естественных» систем, производящих музыкальные звуки.

Синтез звука, основанный на моделировании резонансов, имеет две основные фазы: общее возбуждение сигнала, например такого, какой дает пилообразное колебание и последующее затухание нескольких основных резонансов. Таким образом, при компьютерном воспроизведении звуков скрипки на основе пилообразных колебаний решающее значение имеет моделирование затухания различных частотных компонент. Сделать это

компьютер может путем решения линейных разностных уравнений — дискретного аналога линейных дифференциальных уравнений. Решение линейного разностного уравнения дает сумму «приглушенных» синусоидальных колебаний. При помощи последних можно смоделировать затухание звукового колебания в корпусе-резонаторе скрипки или голосовом аппарате человека.

Главная проблема, присущая этому методу синтеза, заключается в том, что для решения разностного уравнения требуется очень большой объем вычислений. Недавно К.А. Мид и Дж.К. Вавржинек из Калифорнийского политехнического института сконструировали интегральные микросхемы, специально предназначенные для синтеза музыки с использованием метода разностных уравнений. Если начнется промышленный выпуск подобных микросхем, то привлекательность данного подхода к синтезу музыки значительно возрастет.

В настоящее время нет недостатка в количестве и разнообразии подходов к цифровому синтезу сложных и достаточно качественных музыкальных звуков. Главная проблема, с которой приходится сталкиваться в большинстве случаев, связана с объемом вычислительной работы, необходимой для воспроизведения звуков с богатым тембром. По грубой оценке на звук одного «инструмента» длительностью в 1 с затрачивается 1 млн. операций (сложения и умножения) и от 10 до 20 млн. операций на 1 с сложного звука. Такой огромный объем вычислений для синтеза сложных звуков, конечно, не позволяет эффективно генерировать звуки на универсальных компьютерах в реальном масштабе времени, не прибегая к предварительной записи выборочных значений звука на малой скорости, прежде чем их можно будет услышать в нормальном темпе.

Компьютеры первых поколений не обладали способностью синтезировать музыку в реальном масштабе времени. Поэтому композиторы компьютерной музыки синтезировали свои пьесы медленно, записывая выборочные значения звука на магнитные ленты и лишь потом проигрывая их в реальном масштабе времени. Таким способом было написано довольно много интересной музыки. Может быть, и сейчас это наилучший способ подготовки хороших музыкальных записей, поскольку в данном случае композитор располагает богатыми возможностями, позволяющими ему оценивать и совершенствовать свое произведение.

Тем не менее в подобном процессе

предварительной записи нет места для музыканта-исполнителя. Интерпретация нюансов исполнения должна быть полностью predetermined и записана в партитуре самим композитором, в противном случае эти нюансы будут просто утеряны. Отсутствует здесь и такой элемент музыкального творчества, как игра, исполнение, которое доставляет так много удовольствия и профессиональным музыкантам, и любителям. Слушателям такой музыки также будет не хватать музыкантов, глядя на которых, они и сами мысленно принимают участие в игре оркестра.

Хотя и сейчас уже существуют универсальные компьютеры, способные синтезировать музыку в реальном масштабе времени, они обычно слишком дороги и громоздки для того, чтобы служить в качестве практичного музыкального инструмента в концертном зале или в домашней обстановке. Решение проблемы заключается в промышленном освоении специализированных электронных микросхем, подобных тем, что используются в синтезаторах марки Yamaha, или тем пока опытным образцам, которые были разработаны Мидом и Вавржинек. Цифровые музыкальные инструменты, основанные на подобных специализированных интегральных микросхемах, зачастую оказываются даже дешевле некоторых традиционных музыкальных инструментов.

В этой связи заметим, что принятие фирмами изготовителями электронных музыкальных инструментов стандарта на протокол и цифровой интерфейс для музыкальных инструментов (Musical Instrument Digital Interface — MIDI) — хорошая новость для музыкантов, занимающихся компьютерной музыкой. Теперь компьютер можно подсоединять к различным электронным инструментам, наделяя их таким образом некоторым «интеллектом». Первоначально интерфейс MIDI был задуман как средство, позволяющее стандартизировать передачу управляющей информации между различными видами синтезаторов. Нажатие на одну из клавиш синтезатора, обладающего стандартным интерфейсом MIDI, влечет за собой не только воспроизведение какого-то музыкального звука, но также и передачу по выходному кабелю нескольких битов данных, указывающих, какая клавиша была нажата и с каким усилием. Через интерфейс MIDI к синтезатору можно также подключить и входной кабель. Если он получит по этому кабелю указание сыграть определенную ноту, то сыграет ее точно так же, как если бы

была нажата соответствующая клавиша. В принципе всеми действиями, совершаемыми синтезатором, можно управлять либо локально при помощи его клавиш, кнопок, переключателей и т. п., либо от другого устройства, с которым синтезатор соединен через интерфейс MIDI.

Хотя в намерения создателей интерфейса MIDI, может быть, и не входило использовать его как средство связи между компьютером и синтезатором, он прекрасно справляется с этой ролью. Даже обычному персональному компьютеру под силу выполнение большинства функций управления музыкой, поскольку генерирование колебаний производится специализированными электронными схемами самого синтезатора. Основными компонентами подобного «интеллектуального» инструмента являются синтезатор, клавиатура или еще какое-либо устройство, на котором играет исполнитель, компьютер и, наконец, программное обеспечение, которое объединяет все остальные компоненты в единое целое.

Хотя описанные выше методы синтеза звуков применялись для имитации традиционных музыкальных инструментов, с помощью цифрового электронного оборудования, можно также легко создавать совершенно новые классы звуков. Что еще важнее, колебания, представленные выборочными значениями — независимо от того, являются ли они цифровой записью «реального» инструмента или были получены компьютером, — легко поддаются обработке. При помощи средств цифровой обработки любой заданный звук можно преобразовать в иной звук. Например, частотные спектры и огибающие, характерные для звуков человеческой речи, можно преобразовать так, чтобы они звучали подобно рычанию льва.

Дальнейшее изучение музыкальных звуков при помощи компьютера приведет к более точной имитации традиционных инструментов, а также к созданию средств для быстрого и тонкого управления качеством порождаемого звука, что так важно в процессе исполнения музыкальных произведений. Компьютерные исследования играют также ключевую роль в прояснении аспектов, связанных с нашим субъективным восприятием звуков. Особенно важно это для современных композиторов, поскольку они уже не ограничены в своем творчестве рамками звуков, производимых обычными музыкальными инструментами. Теперь они располагают любыми звуками, которые мы только можем себе представить.

Вниманию читателей!

Если Вы хотите получать оперативную информацию о новых зарубежных книгах, отражающих последние достижения в различных отраслях науки и техники, подписывайтесь на критико-библиографический бюллетень

НОВЫЕ КНИГИ ЗА РУБЕЖОМ, выпускаемый издательством «Мир».

Бюллетень выходит ежемесячно в трех сериях:



СЕРИЯ А. Теоретическая кибернетика, программирование и математическое обеспечение ЭВМ, механика и процессы управления, теоретическая и прикладная математика, астрономия и исследование космоса, физика, химия и геология. Цена одного номера — 70 к.; подписная цена на год — 8 р. 40 к. Индекс 70631.

СЕРИЯ Б. Техника: техническая кибернетика, вычислительная техника, микроэлектроника, электроника и радиотехника, робототехника, САПР, ГАП, ядерная техника, авиация и космонавтика, физико-технические проблемы энергетики, материаловедение, вопросы охраны окружающей среды. Цена одного номера — 85 к.; подписная цена на год — 10 р. 20 к. Индекс 70632.

СЕРИЯ В. Биология: молекулярная биология, генетика, геновая инженерия, биотехнология, иммунология, физиология, биохимия, биофизика, микробиология, экология, вопросы клинической медицины, сельское хозяйство, земледелие, животноводство, растениеводство, ветеринария, борьба с вредителями сельскохозяйственных культур. Цена одного номера — 50 к.; подписная цена на год — 6 р. Индекс 70633.

Бюллетень публикует развернутые рецензии на книги, которые поступают в редакцию сразу после их выхода в свет от многих ведущих зарубежных научно-технических издательств. Авторами рецензий являются высококвалифицированные специалисты, дающие подробный критический анализ книги.

В бюллетене публикуются также списки книг, готовящихся к изданию в зарубежных книгоиздательских фирмах.

Подписка оформляется на каждую серию без ограничения с любого очередного месяца по Каталогу советских газет и журналов.



Секрет быстрого приготовления пищи в микроволновой печи

ДЖИРЛ УОЛКЕР

СЕКРЕТ быстрого действия микроволновой печи объясняется тем, что вода, содержащаяся в продуктах, быстро поглощает энергию волн. На первый взгляд это кажется удивительным. Во многих случаях, когда вещество поглощает свет или другое электромагнитное излучение, должен существовать резонанс, т. е. совпадение энергии излучения с допустимыми изменениями энергии атомов или молекул вещества. Вода резонансно поглощает инфракрасное излучение, в то время как частота микроволнового излучения для резонанса слишком низка. Каким образом тогда энергия электромагнитных волн передается хаотически движущимся молекулам воды? Те несколько гипотез, которые я изложу ниже, представляют собой попытку найти ответ на этот вопрос. Первая гипотеза требует понимания особенностей микроволнового излучения и некоторых свойств воды, каждая молекула которой состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода (H_2O).

Частоты микроволнового излучения лежат в пределах от $1 \cdot 10^9$ Гц (циклов в секунду) до $5 \cdot 10^{12}$ Гц, т. е. существенно ниже частоты света в видимой области спектра (примерно $6 \cdot 10^{14}$ Гц). Моя собственная печь излучает на частоте $2,45 \cdot 10^9$ Гц, или 2,45 ГГц. За исключением диапазонов частот, микроволновое излучение и видимый свет сходны между собой, поскольку представляют собой поток электромагнитных волн, в которых напряженность электрического и магнитного полей периодически изменяется.

Молекула воды может вращаться под действием электрического поля волны благодаря особенностям распределения электрического заряда в молекуле. Отрицательно заряженные электроны, входящие в состав атомов водорода, смещаются к атому кислорода вследствие сильного притяжения к восьми положительно заряженным протонам, находящимся в ядре атома кислорода. Смещение приводит к тому, что на кислородном «конце» молекулы образуется отрицательный заряд, а на водородных «концах» — положительные. Такое

распределение зарядов соответствует электрическому диполю. Хотя в целом молекула остается электрически нейтральной, она, во-первых, создает вокруг себя электрическое поле, а во-вторых, может вращаться во внешнем электрическом поле. Дипольный момент равен произведению результирующего заряда на каждом конце и расстоянию между зарядами. Он представляется вектором, который направлен от отрицательно заряженного конца молекулы, где находится атом кислорода, вдоль линии, проходящей симметрично между атомами водорода.

Как правило, диполи воды ориентированы хаотически. Однако внешнее электрическое поле создает вращающий момент, действующий на каждую молекулу и заставляющий молекулу поворачиваться так, что их дипольные моменты выстраиваются вдоль силовых линий. Вообразите электрическое поле, создаваемое двумя заряженными параллельными пластинами. Силовые линии поля направлены от положительно заряженной пластины к отрицательно заряженной. Молекула воды поворачивается таким образом, что ее отрицательно заряженный конец оказывается обращенным к положительно заряженной пластине, а положительно заряженный конец — к отрицательно заряженной пластине, и таким образом молекула приобретает определенную ориентацию.

Каждая молекула непрерывно подвергается ударам со стороны окружающих молекул, находящихся в состоянии хаотического теплового движения. Интенсивность этого движения, называемого иногда броуновским, связана с температурой воды. Подводимое тепло сообщает молекулам дополнительную кинетическую энергию, так что они сталкиваются друг с другом сильнее. При этом температура воды растет.

Поляризация воды выражается через результирующий дипольный момент на единицу объема. Если диполи ориентированы беспорядочно, он равен нулю, поскольку для каждого дипольного момента, направленного в одну сторону, найдется другой дипольный момент, направленный в

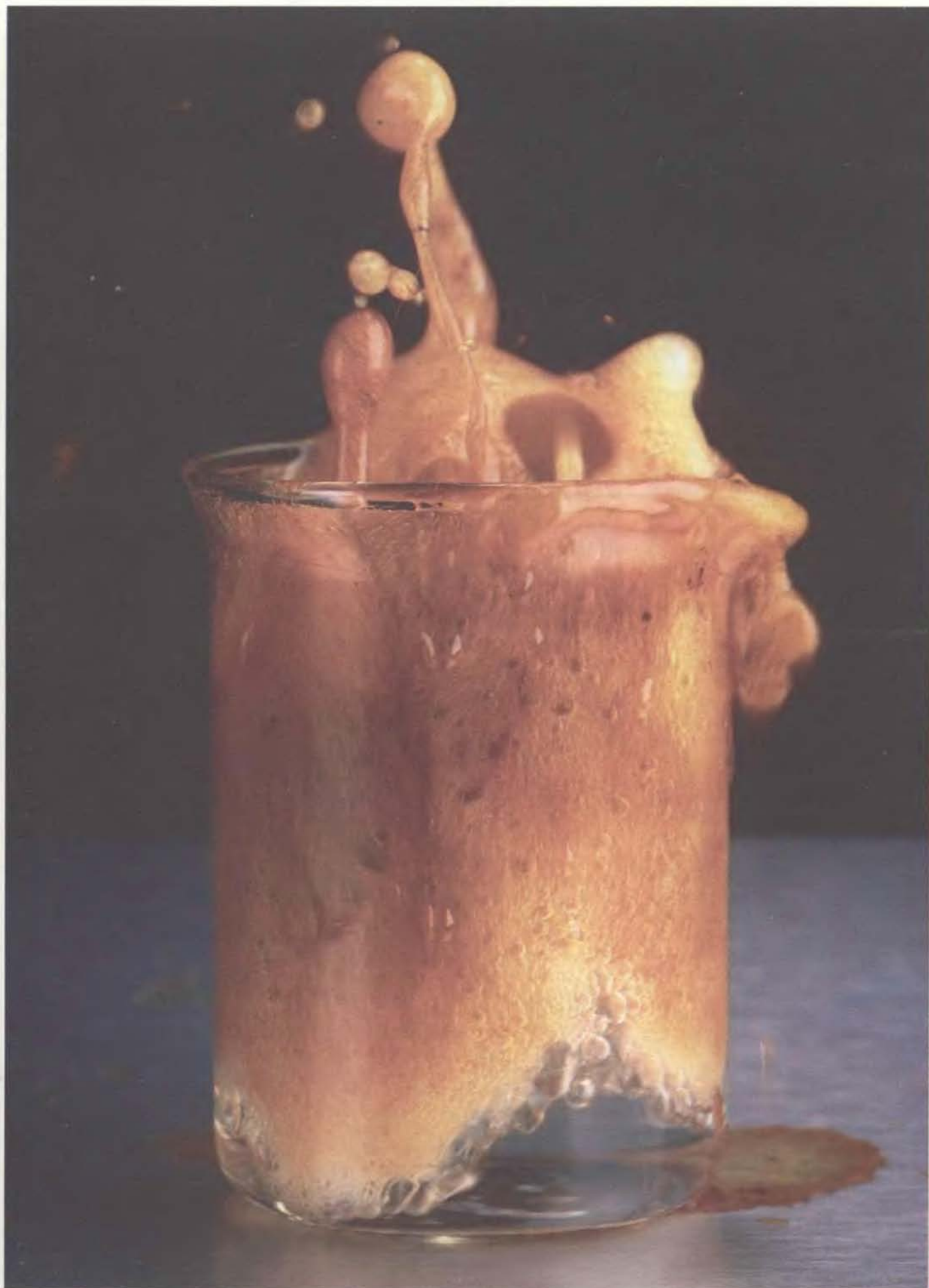
противоположную сторону. Когда под действием внешнего электрического поля диполи стремятся выстроиться по одному направлению, поляризация возрастает. Она была бы максимальной, если бы все диполи были ориентированы одинаково. Однако в результате случайного движения диполи постоянно теряют ориентацию и поляризация остается меньше максимально возможной.

Перейдем теперь к первой гипотезе. В начале этого века выдающийся физик П. Дебай продемонстрировал математически, почему энергия микроволнового излучения интенсивно поглощается водой. Дело в том, что диполи воды не могут мгновенно выстраиваться по направлению силовых линий электрического поля. Масса молекулы распределена по некоторому объему, поэтому требуется некоторое время для того, чтобы под действием вращающего момента она повернулась. Тормозящие силы, действующие со стороны окружающих молекул, также влияют на вращение.

Время реакции воды на воздействие переменного электрического поля может быть выражено в терминах уменьшения поляризации воды при мгновенном «выключении» электрического поля. Хаотическое молекулярное движение при этом начинает разрушать предпочтительную ориентацию дипольных моментов. В результате поляризация должна экспоненциально уменьшаться со временем.

Время реакции определяет, будут ли успевать диполи реагировать на колебание электрического поля в электромагнитной волне. При низкой частоте волны время, за которое напряженность электрического поля меняет направление, больше, чем время реакции диполей, поэтому поляризация изменяется в фазе с изменениями электрического поля. Поле снабжает молекулы энергией для того, чтобы они могли ориентироваться нужным образом. Некоторая доля энергии добавляется к энергии хаотического движения всякий раз, когда диполь теряет ориентацию, а затем вновь ориентируется вдоль силовой линии поля. Эта энергия, однако, настолько мала, что температура повышается незначительно. Если электрическое поле колеблется быстро, направление силовых линий меняется быстрее, чем успевают реагировать диполи. Поскольку диполи не поворачиваются, энергия не поглощается и вода не нагревается.

В диапазоне частот, соответствующем микроволновому излучению, время изменения знака напряженности поля примерно равно времени ре-



Порошок вызывает закипание перегретой воды в микроволновой печи

акции диполей. Под действием приложенного к ним вращающего момента они поворачиваются, но результирующая поляризация отстает от изменений электрического поля. Когда напряженность поля максимальна, поляризация может быть небольшой. По мере убывания напряженности поля она может возрасти. Такое отставание показывает, что вода забирает энергию из поля.

Микроволновые печи работают на частотах, более низких, чем частота, при которой поглощение максимально. С практической точки зрения это оправдано тем, что пищевой продукт должен прогреться по всей толщине. При частотах, соответствующих оптимальной скорости нагрева, микроволновое излучение поглощается во внешнем слое продукта, проникая вглубь лишь на небольшое расстояние. При более низкой частоте, скажем при 2,45 ГГц, излучение проникает глубже. Некоторые печи работают при частоте 0,915 ГГц, что дает еще более глубокое проникновение.

Абсолютно точное математическое решение Дебая оставляет без ответа вопрос о том, каким же образом энергия микроволнового излучения передается энергии теплового движения молекул. Дебай предложил простую модель, которая будет служить второй гипотезой. Представим молекулу воды в виде сферы. Когда сфера поворачивается под влиянием электрического поля, она испытывает вязкое сопротивление, обусловленное влиянием окружающей ее воды. Сопротивление существенно только на частотах, соответствующих микроволновому излучению. При более низких частотах сфера вращается слишком

медленно, чтобы испытывать сопротивление среды. При более высоких частотах она не вращается вообще.

При частотах, соответствующих микроволновому излучению, она вращается достаточно быстро, так что сопротивление среды мешает ей и поле должно обеспечивать ее дополнительной энергией. Эта энергия добавляется к энергии хаотического движения молекул, окружающих сферу, что приводит к повышению температуры воды. Почему сфера испытывает вязкое сопротивление и как передается энергия окружающим молекулам, во времена Дебая понято не было и во всех деталях остается непонятным и по сей день. Можно предложить следующее простое объяснение. Допустим, в какой-то момент сфера находится в состоянии равновесия с электрическими силами, действующими со стороны окружающих молекул. Чтобы повернуться, сфера должна нарушить это равновесие и сдвинуть молекулы со своих мест, тем самым увеличив энергию их теплового движения.

Несмотря на то что эта простая модель Дебая является довольно грубой, она удивительно точно предсказывает частоту максимального поглощения. Дебай предположил, что молекула имеет радиус $2 \cdot 10^{-10}$ м и что вязкое сопротивление, которое она испытывает, соответствует вязкости воды как сплошной среды. С помощью этой модели он рассчитал, что время реакции должно быть равно примерно $2,5 \cdot 10^{-11}$ с. Поскольку частота максимального поглощения обратно пропорциональна времени реакции, она должна составлять около 40 ГГц.

В дальнейшем была предложена

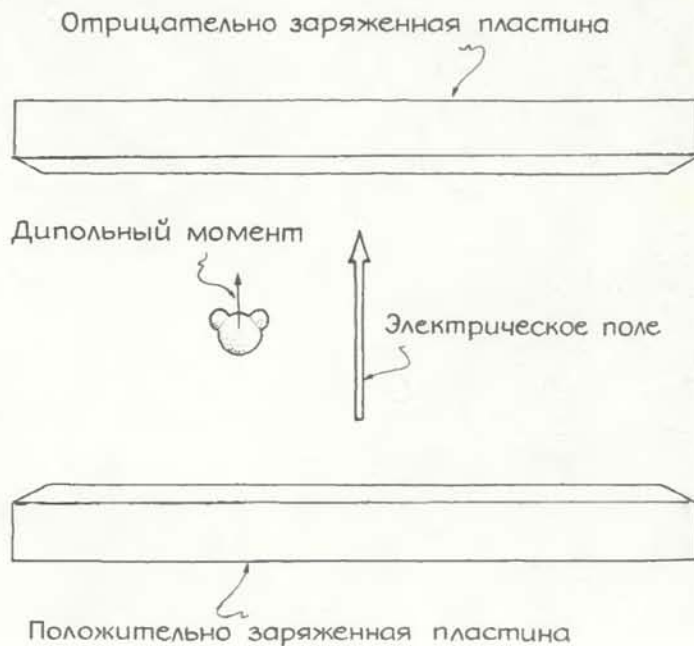
более строгая модель, объясняющая, каким образом микроволновое излучение нагревает воду. Это третья гипотеза. Вода состоит не только из отдельных молекул, но и из различных короткоживущих агрегатов — групп связанных молекул. Агрегаты удерживаются вместе благодаря водородным связям: водородные концы одной молекулы притягиваются к кислородному концу другой молекулы. Каждый раз, когда две или больше молекул образуют агрегат, их потенциальная энергия, определяемая электростатическим взаимодействием, уменьшается. Выделяемая энергия добавляется к энергии теплового движения агрегатов. Температура воды при этом не повышается, так как в среднем число образующихся агрегатов равно числу агрегатов, распадающихся в результате столкновения с хаотически движущимися молекулами, и поэтому энергия теплового движения не растет.

Микроволновое излучение вносит вклад в энергию теплового движения, если вращающиеся моменты, создаваемые волной, заставляют разрываться водородные связи в агрегатах. (Необходимую для этого энергию предоставляет электрическое поле.) Когда освободившаяся молекула вновь связывается с агрегатом, уменьшение потенциальной энергии взаимодействия приводит к тому, что агрегат получает дополнительную кинетическую энергию.

Какие из агрегатов наиболее «чувствительны» к такому разрыву связей? Отдельные молекулы не участвуют в этом процессе, поскольку здесь нет связи, которую должен разорвать вращающийся момент, чтобы



Молекула воды



Диполь, ориентированный в электрическом поле



привести молекулу во вращение. Агрегаты, состоящие из двух молекул, также вряд ли играют важную роль, поскольку каждая молекула может вращаться вокруг водородной связи, оставаясь связанной с другой молекулой. Агрегаты из четырех и более молекул скорее всего также следует исключить, так как в этом случае должны рваться сразу несколько связей.

Наиболее подходящим кандидатом является агрегат из трех определенных образом расположенных молекул (см. нижний рисунок на с. 86). Первая (средняя) молекула присоединяется ко второй молекуле одним из своих водородных концов. Другой водородный конец остается свободным. К кислородному концу средней молекулы водородным концом присоединяется третья молекула воды. Положение мест присоединения имеет важное значение. Расчеты показывают, что на кислородном конце средней молекулы есть два «пятна», присоединение к которым приводит к максимальному понижению потенциальной энергии. Поэтому присоединения молекул к другим местам менее вероятны. Так, например, третья молекула вряд ли присоединится к средней молекуле вблизи ее свободного водородного конца, поскольку он будет отталкивать водородный конец третьей молекулы.

Вращающий момент, действующий на среднюю молекулу со стороны электрического поля волны, должен быть достаточно велик, чтобы разорвать водородную связь с третьей молекулой. После поворота средней молекулы третья молекула могла бы восстановить свою водородную связь в другом «энергетически выгодном» месте на кислородном конце средней молекулы. При таком

процессе происходит добавление энергии к энергии теплового движения агрегатов. Электрическое поле поставляет энергию, необходимую для разрыва первоначальной водородной связи. Когда связь возникает вновь, выделенная энергия идет на увеличение кинетической энергии агрегата. Таким путем энергия микроволнового излучения превращается в тепло.

Так обстоит дело с гипотезами, объясняющими, почему вода, содержащаяся в пищевых продуктах, быстро поглощает энергию микроволнового излучения. Теперь перейдем к некоторым другим секретам микроволновой печи.

Присутствие хлорида натрия (поваренной соли) в воде приводит к увеличению скорости нагрева. Соль распадается на положительно заряженные ионы натрия и отрицательно заряженные ионы хлора. Вокруг положительных ионов собираются до четырех молекул воды, вокруг отрицательных — до семи. В обоих случаях положительно или отрицательно заряженный конец молекулы воды притягивается к иону. Электрическое поле электромагнитной волны увлекает гидратированные ионы через воду, причем ион натрия движется по силовой линии поля, а ион хлора — в противоположном направлении. Всякий раз, когда гидратированные ионы сталкиваются с молекулами воды, энергия теплового движения этих молекул возрастает, и вода нагревается.

Молекулы воды, «запертые» в кристаллической структуре льда, не могут поглощать энергию микроволнового излучения, поскольку они неподвижны. Как же в таком случае микроволновая печь расплавляет лед и готовит замороженные продукты? Ответ заключается в том, что эти продукты

заморожены не полностью. Пока вы достаёте кубик льда из морозильника, на его поверхности начинается таяние. Если поместить его в микроволновую печь, наружный жидкий слой будет поглощать энергию микроволнового излучения, нагреваться и плавить лед.

Замороженные продукты, оказавшись на воздухе, также покрываются пленкой воды. Они начинают размораживаться и сверху, и во многих внутренних областях, где есть жидкая вода. Если эти области доступны для микроволнового излучения, они быстро нагреваются. По мере того как соседние с ними участки начинают оттаивать, новая вода начинает поглощать еще больше энергии микроволнового излучения и процесс таяния стремительно нарастает. Чтобы избежать этого, продукт нужно размораживать при более низкой мощности излучения, а при высокой мощности — лишь периодически включая печь, так чтобы тепло успевало проникнуть в замороженные области благодаря теплопроводности и размораживание шло бы более однородно во всей толще продукта.

При обычном способе готовки продукт находится в горячей внешней среде и тепло может распространяться от поверхности вглубь путем теплопроводности или конвекции. Когда таким способом готовится бифштекс, температура внешней среды может достигать 170 °С, что значительно выше точки кипения воды. При этом внутренние области куска мяса, скорее всего, не нагреваются выше 70 или 80 °С. При этой температуре белок миоглобин, содержащийся в мясе, превращается в оксимиоглобин, имеющий ярко-красный цвет. Тем временем поверхность мяса становится настолько горячей, что окси-

миоглобин денатурирует, становясь коричневым. При высокой температуре изменяются также вкус и запах верхней корочки мяса.

Когда кусок говядины готовится в микроволновой печи, вода, содержащаяся в мясе, нагревает остальные его компоненты. Поверхность никогда не нагревается выше 100°C — точки кипения воды. Поскольку такая температура не достаточна для полной денатурации оксимиоглобина, поверхность мяса так и не приобретает коричневого цвета. Мясо к тому же никогда не обладает вкусом и запахом жареного бифштекса, приготовленного обычным способом.

Если кусок мяса тонкий, он проваривается изнутри благодаря непо-

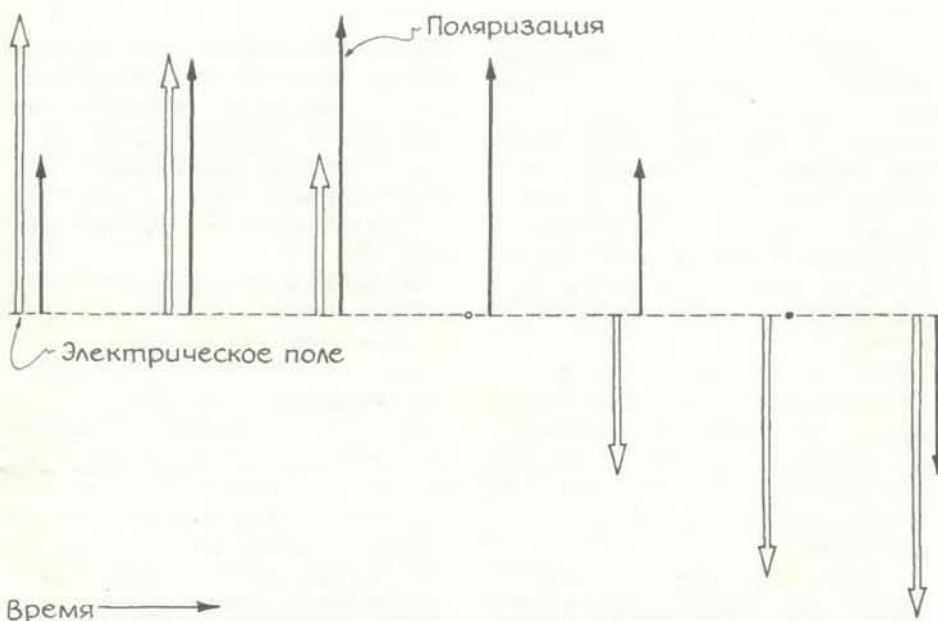
средственному поглощению микроволнового излучения. Если же он толстый, какой обычно используется для жарения, микроволновое излучение поглощается до того, как достигнет середины куска. Тепло передается в середину из областей, непосредственно нагреваемых микроволновым излучением. Поскольку передача тепла путем теплопроводности требует определенного времени, большой кусок мяса после нагрева в микроволновой печи следует выдержать.

Жидкая вода нагревается под действием микроволнового излучения так быстро, что выделяющийся пар может явиться проблемой. Если нагревать в микроволновой печи яйцо или даже отдельный желток, быстрое

внутреннее выделение пара может взорвать их. Если пища готовится в закрытом сосуде, последний должен иметь отверстие для выхода пара. По этой причине в пластиковых мешочках с продуктами, подлежащими тепловой обработке, следует делать сверху щель.

Использование металлических сосудов в микроволновых печах следует избегать по нескольким причинам. Металл отражает микроволновое излучение, экранируя таким образом продукт, и может возвращать слишком много энергии назад к излучателю, что создает опасность перегрузки. Из-за того что металл проводит электрический ток, между сосудом и дном или стенками печи проскакивают искры. Я был свидетелем того, как металлическая проволочка, скрепляющая края пластикового пакета, устремляюще искрила, когда находилась поблизости от дна печи. При приготовлении птицы в микроволновой печи часто используют алюминиевую фольгу, защищающую части тушки, которые могут перегреться. Фольга не представляет опасности, если ее масса не велика и она располагается по меньшей мере в нескольких сантиметрах от дна или стенок печи. Для приготовления пищи в микроволновой печи обычно рекомендуется использовать пластиковые или стеклянные сосуды. Они содержат вещества, которые поглощают микроволновое излучение незначительно или не поглощают его совсем. Эти сосуды нагреваются только под действием тепла, идущего от горячего продукта. Иногда сосуды поглощают некоторую часть микроволнового излучения и тогда они способствуют нагреву продукта.

В 1986 г. Р. Апфель из Йельского университета и Р. Дей из Медицинской школы Йельского университета обратили внимание, что воду, находящуюся в стеклянном сосуде, можно нагреть в микроволновой печи до 110°C так, чтобы она не закипела. Вода в середине сосуда нагревается так быстро, что конвективная передача тепла к поверхности и последующее испарение недостаточны для того, чтобы воспрепятствовать перегреву. В более холодной воде у стенок сосуда пузырьки пара не образуются отчасти потому, что сосуд не поглощает микроволновое излучение и отводит тепло от воды. Если опустить в перегретую воду кубик льда, на многочисленных трещинках, пересекающих поверхность кубика, быстро образуются пузырьки пара. Кубик продолжает инициировать закипание, пока температура окружающей воды не понизится до 102°C .



Отставание изменений поляризации от колебаний электрического поля



Молекула, поворачивающаяся в агрегате

Силы, действующие на гидратированные ионы

Я исследовал процесс перегрева, наполнив частично лабораторный стакан водой и затем налив тонким слоем кукурузное масло на ее поверхность. Когда вода перегрелась, пузырьки пара начали образовываться у поверхности стекла и пробивать себе путь через масло. В одном случае вода, очевидно, перегрелась настолько, что в результате внезапного интенсивного испарения и она сама, и масло разлетелись по всей печи. Похожее, но менее мощные взрывы могут произойти, когда жир от готовящегося мяса растекается поверх воды в блю-

де для жарения. Я избегаю таких происшествий, заключая мясо в пластиковый пакет, который надрезаю в нескольких местах.

Апфель и Дей наблюдали также, что закипание в перегретой воде может вызвать обыкновенная ложка. Ранее об этом явлении мне писал Э. Сигман из Станфордского университета. Э. Парсонс из Йоркского университета недавно отметил, что порошок, добавленный к перегретой воде, может привести к такому резкому вскипанию, что содержимое сосуда выплеснется.

лагают, что ядро содержит простые органические молекулы, состоящие из водорода, углерода, азота и кислорода, которые образуют темные, подобные дегтю вещества.

Эти теоретические предположения, по-видимому, невозможно подтвердить. Исследования облаков газа и пыли, выбрасываемых из ядра кометы, показали, что 80—90% массы ядра составляют пыль и лед. Поскольку хвост кометы представляет химический состав ядра лишь приблизительно, состав оставшихся 10—20% трудно установить. В то время как пыль выбрасывается из ядра, практически не изменяясь, газы претерпевают сложные химические превращения по мере перехода во внешние области, что скрывает их первоначальный состав.

Это сообщение — краткое изложение отчета Р. Рейнхарда из Европейского космического агентства, представленного на международном симпозиуме по комете Галлея в Гейдельберге. Полный текст доклада Рейнхарда будет опубликован в «Spectrum der Wissenschaft» — немецком издании журнала «Scientific American».

Наука и общество

Наследие Галлея

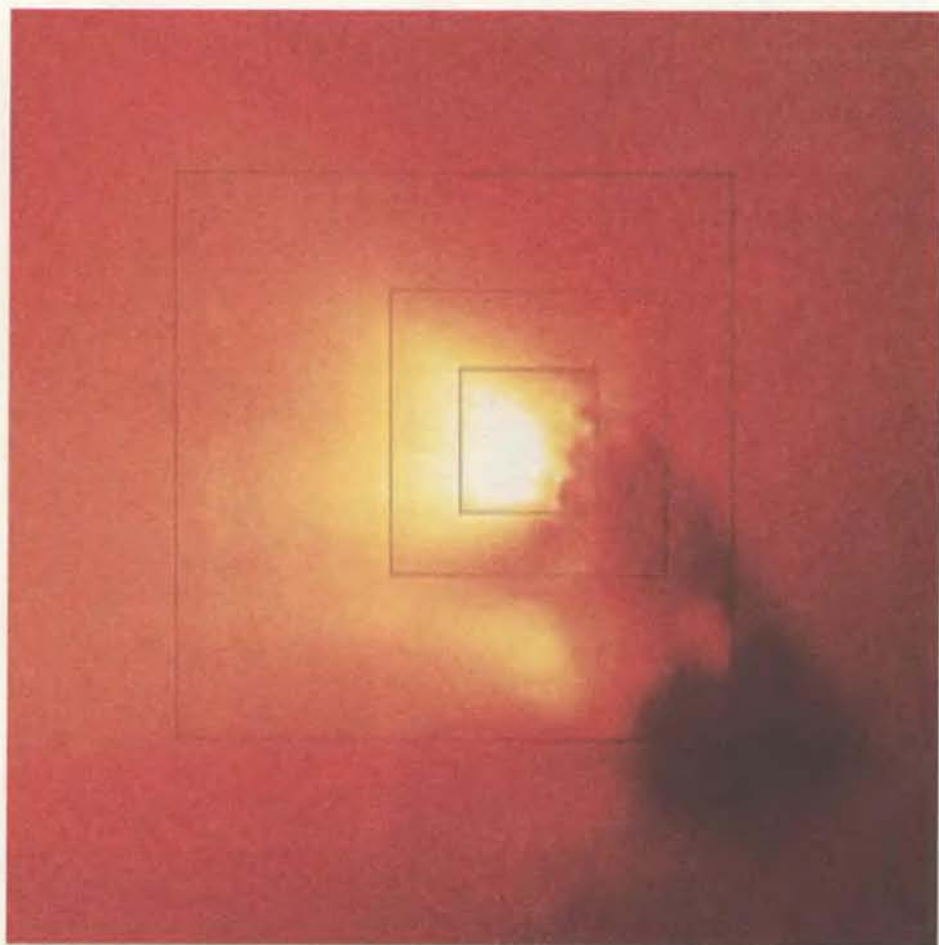
БОЛЬШЕ ГОДА прошло с тех пор, как комета Галлея пролетела мимо Земли, а исследователи все еще осмысливают информацию, собранную шестью космическими аппаратами и многочисленными наземными обсерваториями, наблюдавшими ее движение. Ученые пришли к общему мнению по некоторым основным вопросам, хотя остается и много неясного.

Пыль, выбрасываемая из ядра кометы, летит по спирали, поэтому был сделан вывод, что ядро вращается, однако не ясно, с какой скоростью. До прошлого лета считалось, что ядро совершает полный оборот за 2,2 суток, но новые данные свидетельствуют в пользу того, что период составляет 7,4 суток. Это противоречие можно объяснить тем, что ядро вращается вокруг своей длинной оси с периодом 7,4 суток, а сама ось прецессирует, или качается, с периодом 2,2 суток.

В настоящее время установлено, что ядро, которое некоторые наблюдатели описывают как тело, имеющее форму ореха арахиса длиной 10 км, покрыто слоем пыли. Оценки толщины этого слоя лежат в пределах от одного сантиметра до нескольких десятков метров. Толщина слоя пыли может быть различной в разных местах и меняться с течением времени; это изменение может объяснить тот факт, что практически вся пыль и весь газ, составляющие хвост кометы, выбрасываются из нескольких точек ядра в виде мощных струй.

Некоторые ученые высказали предположение, что слой пыли представляет собой пористую структуру, которая образовалась при испарении воды из смеси льда и пыли на поверхности ядра. Пористость может объяс-

нить основную загадку: почему ядро, обладающее сравнительно низкой плотностью, кажется таким темным. Структура из пылевых частиц может быть достаточно пористой, чтобы поглощать фотоны, и в то же время достаточно мелкодисперсной, чтобы захватывать большинство этих фотонов внутри ядра. Исследователи по-



ЯДРО КОМЕТЫ ГАЛЛЕЯ было сфотографировано космическим аппаратом «Джотто» Европейского космического агентства. Снимки, сделанные на расстояниях от 20 000 до 2500 км, были скомпонованы в один. Размер самой внутренней рамки соответствует 4 км.

Занимательный компьютер

Трехмерные версии игры «Жизнь»

А. К. ДЬЮДНИ

У ПОПУЛЯРНОЙ ИГРЫ «Жизнь» с клеточными автоматами, игровые ситуации в которой разворачиваются на двумерном поле, теперь стали появляться трехмерные аналоги. К. Бейс, специалист по программированию в Южно-Каролинском университете, исследовал множество трехмерных версий, две из которых он считает заслуживающими наибольшего внимания. Бейс назвал их «Жизнь 4555» и «Жизнь 5766». В обеих этих версиях присутствуют многие свойства исходного варианта (такие образования, как «мигалки» и «планеры»), и одна из них, несомненно, станет достойным последователем игры, изобретенной в 1968 г. Дж. Конвеем из Кембриджского университета.

Игра Конвея, как, наверное, помнят многие читатели по нескольким статьям М. Гарднера в рубрике «Математические игры», разворачивается на бесконечной двумерной решетке квадратных клеток. Каждая клетка имеет восемь соседей (четыре по углам и четыре по сторонам) и может находиться в одном из двух состояний, живом или мертвом. Игра управляется часами, задающими такт. При каждом тактовом сигнале часов одни клетки могут оживать, другие умирать. Судьба каждой клетки определяется числом ее соседей, живых на данный момент. Например, если на каком-то такте у живой клетки окажется менее двух или более трех живых соседей, то на следующем такте она должна умереть. Здесь как бы моделируются неблагоприятные для клетки условия — недостаток питания или перенаселенность в среде обитания. В то же время мертвая клетка может снова ожить на следующем такте, если у нее в данный момент насчитывается ровно три живых соседа. Для рождения клетки, таким образом, необходимо наличие трех «родителей».

Конвей назвал свою игру «Жизнь» просто потому, что клетки могут быть либо живыми, либо мертвыми. Однако вскоре стало очевидно, что это название оказалось более подходящим, чем могло показаться с первого взгляда. Дело в том, что всевозможные образования из живых клеток демонстрируют сложное поведение, в чем-то подобное поведению

живых организмов (см. верхний рисунок на с. 90). Оно носит циклический характер, на каждом такте часов конфигурации изменяются, но после некоторого конечного числа тактов исходные конфигурации возникают вновь. Некоторые образования остаются на месте, другие же путешествуют по всей решетке, перемещаясь за один такт на одну клетку в горизонтальном, вертикальном или диагональном направлении. Клеточные конфигурации обоих типов имеют разные названия. Среди стационарных конфигураций различают «маяки», «ульи», «мигалки» и «блоки». Примерами конфигураций-путешественников являются «планеры» и «космические корабли». Однако возможности игры Конвея не ограничиваются лишь имитацией природных явлений. Как я уже указывал в статье в рубрике «Занимательный компьютер» в июльском номере журнала за 1985 г., в плоском клеточном «пространстве» игры «Жизнь» можно построить даже компьютер.

Поэтому было бы, наверное, не удивительно, если бы в трехмерном клеточном пространстве аналоги игры Конвея оказались способными порождать еще более фантастичные конфигурации. Такими аналогами и являются уже упомянутые версии Бейса «Жизнь 4555» и «Жизнь 5766». Здесь клетка представляет собой уже не квадрат, а куб, а число кубов-соседей равно не 8, а 26.

Названия «Жизнь 4555» и «Жизнь 5766» были взяты из лаконичного лексикона, придуманного Бейсом. Первые две цифры служат критерием при определении судьбы живой клетки. Первая цифра указывает наименьшее число соседей, при котором клетка еще не погибает голодной смертью, а вторая цифра — максимальное число соседей, при котором клетка еще не погибает от перенаселенности среды обитания. Третья и четвертая цифры определяют судьбу мертвой клетки. Третья цифра указывает минимальное, а четвертая — максимальное число живых соседей, при котором мертвая клетка становится живой. (В каждой из рассматриваемых версий «Жизни» третья и четвертая цифры в названии версии будут совпадать, однако, вообще говоря, это не всегда так.) Таким образом, согласно систе-

ме обозначений Бейса, первоначальная версия игры Конвея будет иметь название «Жизнь 2333».

Правила игры «Жизнь 4555» так же просты, как и для варианта 2333. Живая на данный момент клетка умирает, если у нее менее четырех или более пяти живых соседей. В то же время мертвая клетка оживает, если у нее ровно пять живых соседей. Исследуя многочисленные варианты игры в этой области определяющих числовых параметров, Бейс впервые заинтересовался вариантом 4555, когда заметил, как на экране компьютера «Макинтош» начала вырисовываться любопытная конфигурация кубических «клеток», показанная на нижнем рисунке на с. 90. Это был трехмерный планер, который циклически проходит через четыре различных превращения, прежде чем вернуться к исходному состоянию. Каждая из этих конфигураций состояла из 10 кубических «клеток», образующих продолговатый странным образом притупленный объект, движущийся в пространстве подобно дивану, совершающему свободное падение.

Бейс решил провести более полное исследование варианта 4555, поставив ряд экспериментов с «первобытным бульоном». Задав в исходном состоянии случайным образом выбранные конфигурации живых клеток, он следил за эволюцией своего клеточного мира. В каждом поколении одни клетки-кубики умирали, другие оживали. Число клеток с каждым новым поколением уменьшалось, однако Бейс обнаружил некоторые любопытные стабильные образования, остававшиеся неизменными из поколения в поколение. Эти образования напоминали пьедесталы, кресты, ступеньки, шары и спортивные штанги (см. рисунок на с. 91). Другие исходные конфигурации порождали все новые стабильные образования, а также циклические, которым Бейс присваивал такие имена, как «ротор» или даже «лягающий мустанг».

Подобно физике, исследующему элементарные частицы, Бейс устраивал столкновения между планерами и другими мелкими конфигурациями, причем объекты сталкивались под всевозможными углами. «Среди наиболее удивительных столкновений, — пишет он, — можно выделить столкновение планера с шариком, при котором суммарная масса осколков увеличивается до 29, что само по себе не так уж примечательно. Но затем после нескольких поколений внезапно снова появляется планер, несколько переместившийся от места столкновения».

Все то, что развивается из первобытного бульона, и даже результаты

столкновений планеров между собой и с другими объектами Бейс называет природой. Некоторые конфигурации получить нетрудно. Другие же, более экзотические образования требуют для своего воссоздания значительно больших усилий. Можно, например, сцепить друг с другом несколько конфигураций, имеющих форму арки, и получить таким образом новое стабильное образование, которое Бейс называет галереей. Возникает полный архитектурный ансамбль из заборов, лестниц, стен и цепей. Стены можно закручивать в спирали и множество других экзотических стабильных форм, ограниченных лишь воображением энтузиаста, исследующего возможности «Жизни 4555» (см. рисунок внизу).

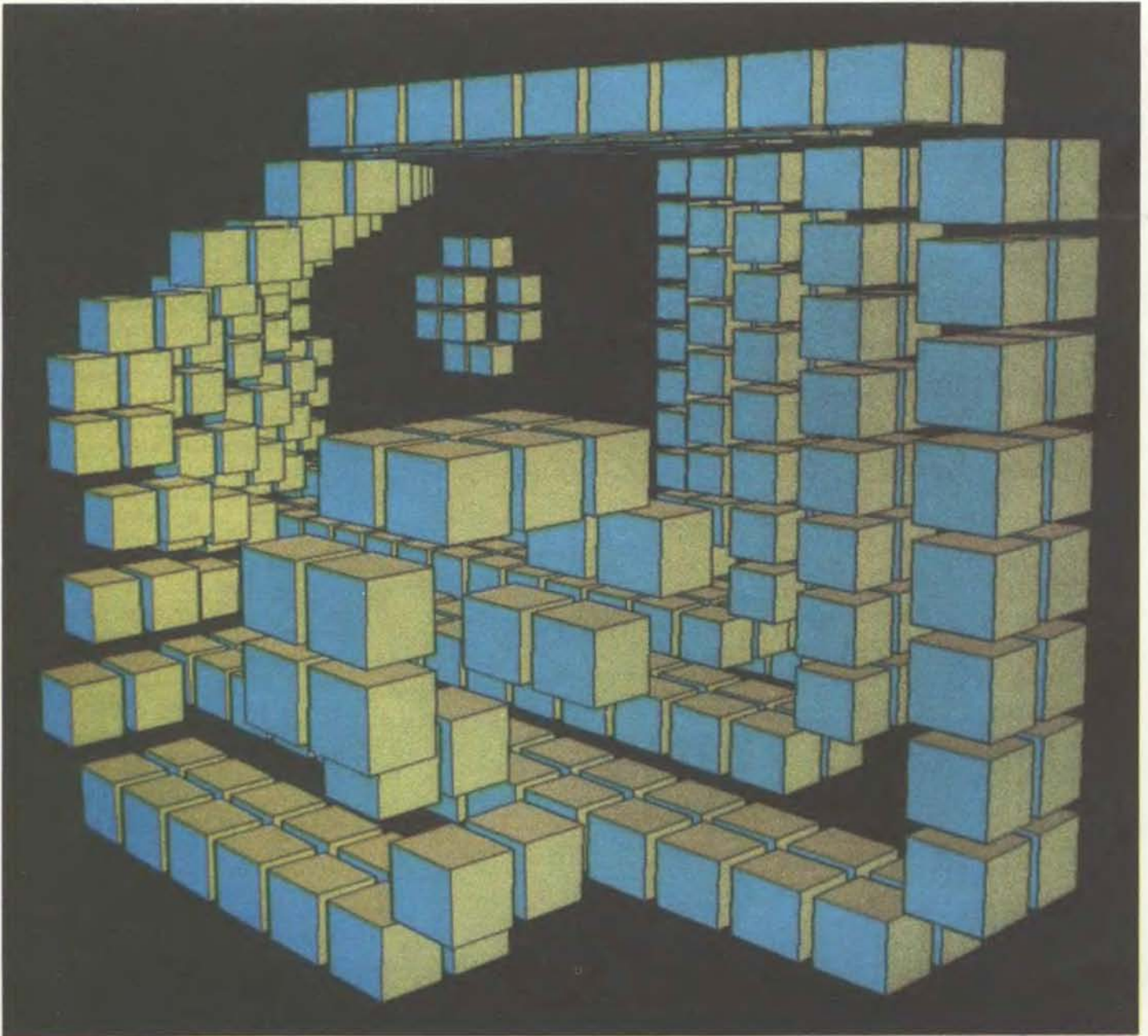
Следует обратить внимание и на некоторые другие интересные явления. Среди прочих образований часто встречается объект из 7 кубиков под названием «привет». В отсутствие другого такого же привета это образование погибает. Планер, встретившись с приветом, оказывается захваченным и не может продолжить свое путешествие. Второй планер может случайно освободить своего собрата, столкнувшись с приветом и взорвав его.

Из двух наиболее плодотворных трехмерных версий, открытых Бейсом, «Жизнь 4555», по-видимому, нравится ему больше. Здесь можно отметить одно любопытное обстоятельство: цифры в названии «Жизнь 4555» получаются прибавлением 2 к

соответствующим цифрам названия версии Конвея 2333. Возможно, это совпадение послужит предзнаменованием того, что именно «Жизнь 4555» станет достойным преемником игры Конвея.

Однако, строго говоря, «Жизнь 5766» имеет больше сходства с игрой Конвея по сравнению с вариантом 4555. В частности, при некоторых условиях «Жизнь 5766» моделирует версию Конвея на плоскости. Эти условия сформулированы в теореме, на которую наткнулся в своих исследованиях Бейс.

Представим себе, что мы смотрим сверху на плоскую решетку игры Конвея и видим какую-то конфигурацию живых (квадратных) клеток. Теперь поместим непосредственно над каж-



Планер проходит через стабильную улочку в трехмерном пространстве игры К. Бейса «Жизнь 4555»

дой клеткой конфигурации и под ней по одному живому кубу. Следуя правилам игры «Жизнь 5766», эти кубические «клетки» будут неограниченно долго точно копировать поведение «бутерброда» из клеток Конвея тогда (и только тогда), когда будут выполнены два условия:

1. Ни одна живая клетка на плоскости никогда не имеет 5 живых соседей.

2. Ни одна мертвая клетка на плоскости никогда не имеет 6 живых соседей.

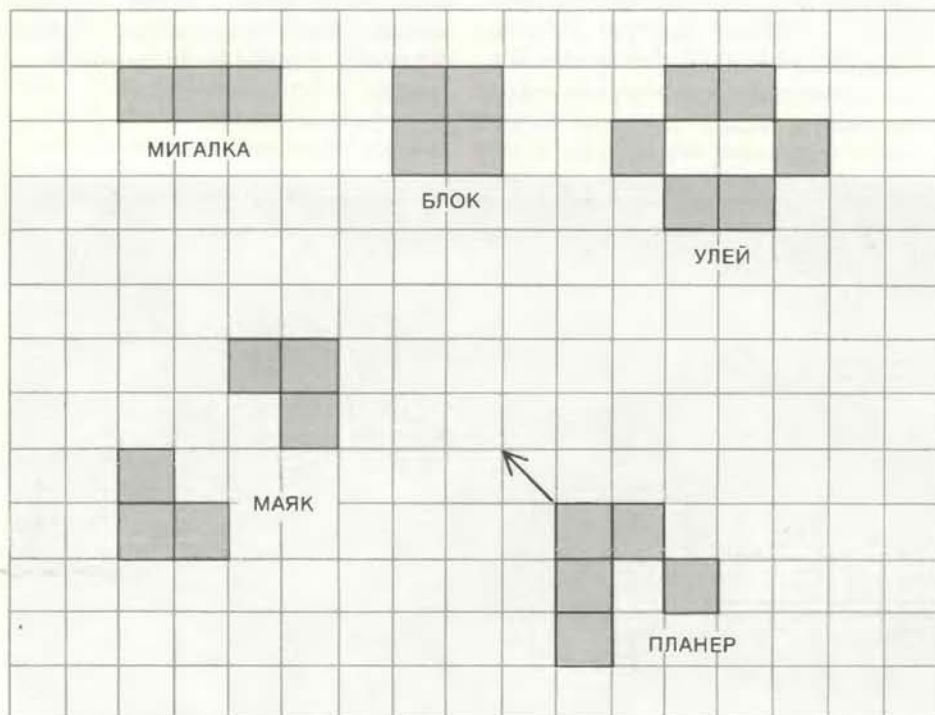
Многие конфигурации «Жизни», в том числе и планер Конвея, удовлетворяют указанным условиям. Планер в пространстве «Жизни 5766» можно создать, преобразовав клетки двумерного планера в кубы. Такой планер занимает два прилегающих друг к другу слоя клеток в трехмерном пространстве и будет двигаться всегда в пределах этих слоев (см. рисунок на с. 92).

Многие другие простые объекты «Жизни» Конвея, такие, как маяк, улей, мигалка и блок, а также более

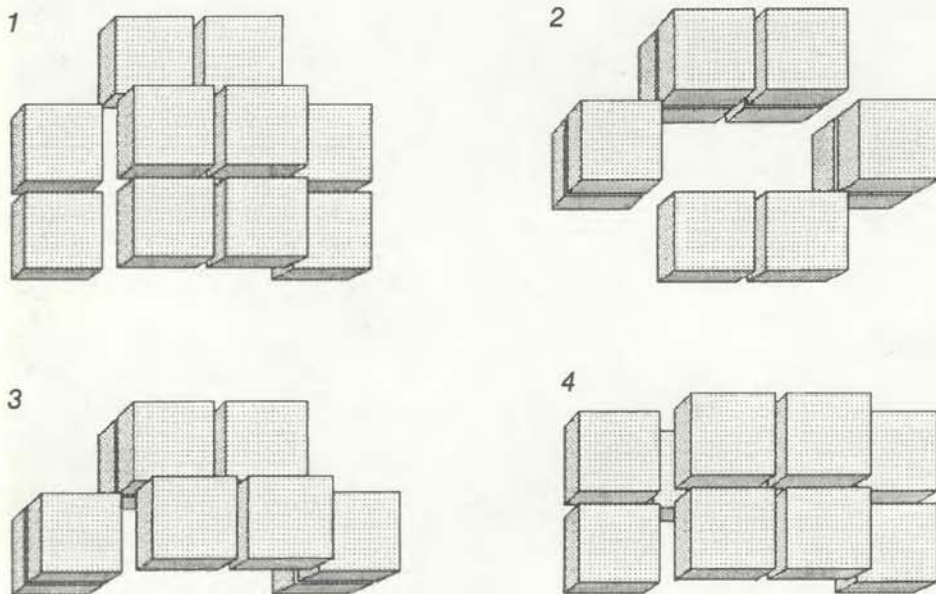
экзотические образования, такие, как лодка и часы, также удовлетворяют условиям теоремы Бейса. Эти объекты существуют в двухслойном виде как конфигурации «Жизни 5766», которые ведут себя точно так же, как и их двумерные аналоги. К сожалению, не все конфигурации игры Конвея удовлетворяют критериям теоремы. Среди этих «неподдающихся» объектов — знаменитая катапульта, запускающая планеры, которая была открыта Р. Госпером в 1970 г., когда он был еще студентом Массачусетского технологического института. Проследив за катапультой, мы видим, что на любой стадии ее жизненного цикла у нее имеются живые клетки с пятью живыми соседями. Любые нарушения какого-либо условия теоремы Бейса приводят к отклонению от модели. «Когда это происходит, — рассказывает Бейс, — объект, до тех пор ограниченный двумя плоскостями, почти во всех случаях превращается в округлую трехмерную массу, которая обычно довольно быстро погибает».

Можно добиться более полного моделирования версии Конвея на основе «Жизни 5766», если воздвигнуть то, что Бейс называет барьером времени-пространства. Он состоит из единой поверхности живых клеток, в которой как бы просверлены дырки (см. рисунок на с. 93). Дырки расположены таким образом, чтобы каждый куб в барьере имел ровно 7 соседей. Клетки-кубы, принадлежащие барьеру, едва-едва избегают гибели от перенаселения среды, в то время как любой куб, непосредственно прилегающий к барьеру, всегда будет иметь более 6 живых соседей и потому никогда не оживет. Образующейся в результате мертвой зоной с каждой стороны от барьера можно воспользоваться для точного воспроизведения «Жизни» Конвея. Для этого нужно соорудить два параллельных барьера времени-пространства на расстоянии четырех кубов друг от друга. Из четырех заключенных между ними плоскостей две центральные могут поддерживать все формы жизни, потому что теперь условия теоремы Бейса удовлетворяются для любой популяции живых клеток, находящихся посередине этого «бутерброда».

Несмотря на то что «Жизнь 5766» способна в той или иной мере имитировать версию Конвея, ее клеточный мир все же не так красив и привлекателен. Как свидетельствует Бейс, случайно выбранные первобытные бульоны «Жизни 5766», кажется, всегда достигают «установившегося состояния» быстрее по сравнению с «Жизнью 4555». Неустановившийся характер «Жизни 4555» говорит о ее



Некоторые формы двумерной игры «Жизнь» Дж. Х. Конвея



Планер в «Жизни 4555»

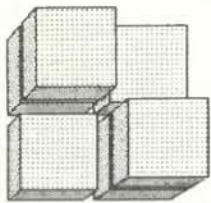
более богатых вычислительных возможностях. В самом деле, «Жизнь 4555» изобилует стабильными и осциллирующими формами, которые обладают свойством симметрии. Возможно, окончательное решение вопроса о том, какая версия станет наиболее достойным преемником «Жизни» Конвея, будет зависеть от

того, удастся ли смоделировать двумерную игру при помощи «Жизни 4555». В случае успеха эта версия окажется во всех отношениях лучше, чем «Жизнь 5766».

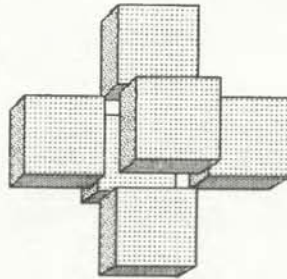
Бейс написал брошюру на 40 страницах под названием «Трехмерная игра «Жизнь»». Она содержит в себе все, о чем мы здесь говорили, и много

больше, включая советы по эффективному программированию игр. Бейс располагает также программой для компьютера «Макинтош», которая моделирует обе версии трехмерной жизни.

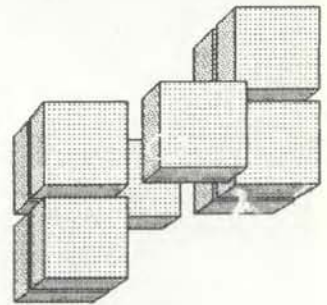
Программу, вычисляющую и показывающую последовательные поколения любой формы трехмерной вер-



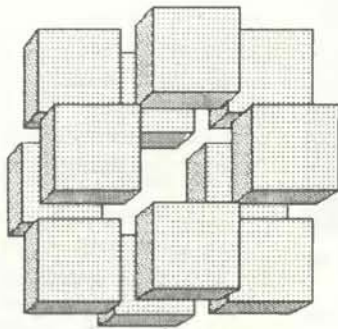
ПЬЕДЕСТАЛ



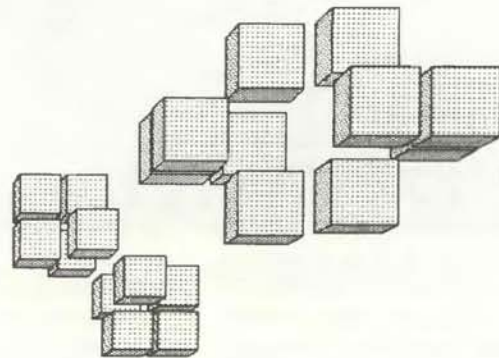
КРЕСТ



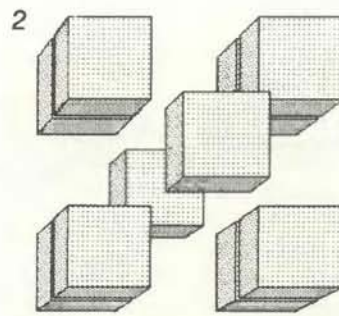
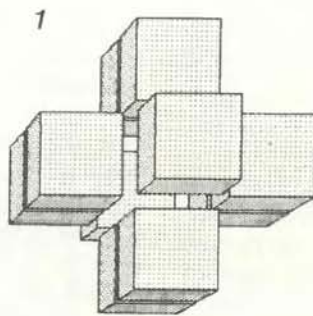
СТУПЕНЬКА



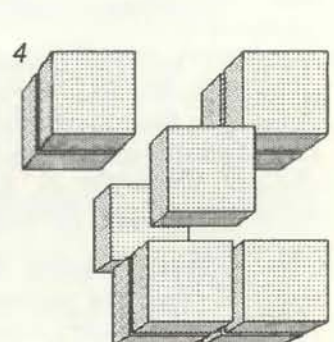
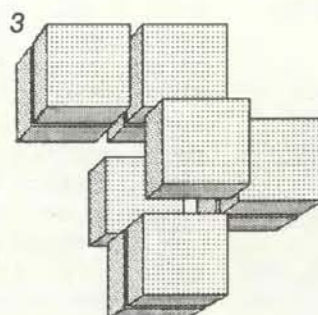
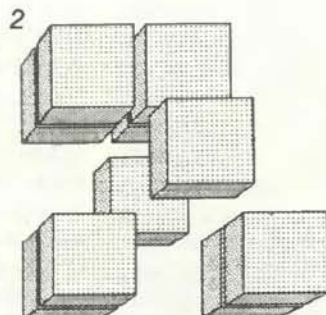
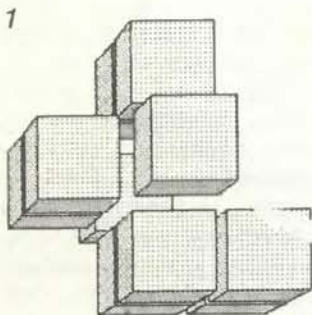
ШАР



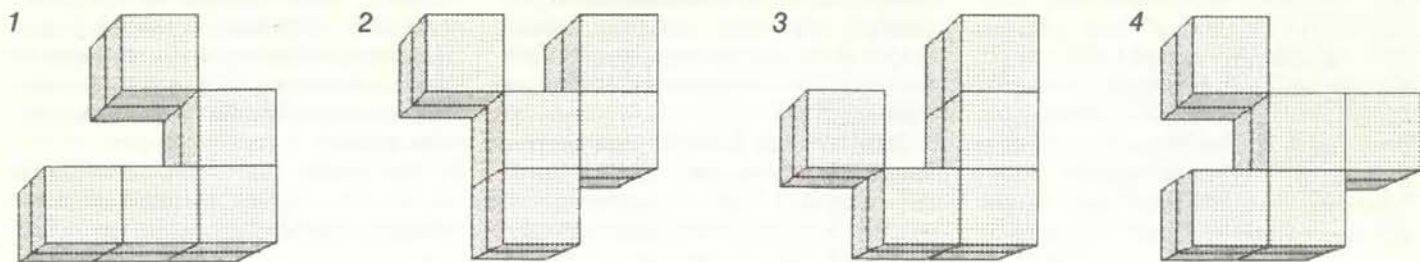
ШТАНГА



ПОТОП



ЛЯГАЮЩИЙ МУСТАНГ



Планер в трехмерной игре Бейса «Жизнь 5766»

сии игры, написать нетрудно, по крайней мере в принципе. Программу можно даже модифицировать так, чтобы она пробовала различные правила, и, может быть, читателям удастся открыть третью удачную трехмерную версию «Жизни», которую Бейс мог упустить в своих исследованиях.

Два больших трехмерных массива *cells* (клетки) и *newcells* (новые клетки) имеют три индекса *i, j* и *k*, соответствующие трем координатам клеточного пространства. Содержимое каждого элемента массива показывает, жива или мертва соответствующая клетка. Пусть 1 означает живое состояние а 0 — мертвое.

Не удивительно, что для вычисления статуса каждой клетки в каждом поколении требуются три вложенных цикла. Самый внешний цикл с индексом *i* служит для вычисления последовательности плоскостей, проходящих через все пространство игры. В этот цикл вложены два других с индексами *j* и *k*. В цикле по *j* происходит вычисление последовательных строк в пределах каждой плоскости, а в цикле по *k* вычисляется состояние последовательных клеток в строке. В качестве руководства можно воспользоваться следующей схемой:

```
for i = 1 to 30
  for j = 1 to 30
    for k = 1 to 30
      вычислить соседей
      определить состояние
      высветить живые клетки
```

Число 30, конечно, выбрано произвольно. Однако лишь читателям, обладающим неограниченным терпением, можно поэкспериментировать с числами, большими 30, потому что время вычислений становится очень большим.

Во внутреннем цикле перед программой стоят три основные задачи. Чтобы решить задачу вычисления соседей, программе нужно исследовать состояние 26 соседей каждой клетки и подсчитать число живых на данный момент. Это можно сделать при по-

мощи трех миниатюрных циклов или путем перечисления всех возможных координат 26 клеток. Если воспользоваться конструкцией с циклами, то их можно расписать по следующему алгоритму:

```
tot = 0
for l = i - 1 to i + 1
  for m = j - 1 to j + 1
    for n = k - 1 to k + 1
      if cells(l, m, n) = 1
        then tot = tot + 1
tot = tot - cells(i, j, k)
```

Здесь переменная *tot* (от слова total — полный) хранит суммарное число живых соседей. Последняя строчка в алгоритме нужна для того, чтобы состояние самой клетки *cells(i, j, k)* не влияло на подсчитываемую сумму.

Определив величину *tot* — полное число живых соседей, программа должна затем определить новое состояние рассматриваемой в данный момент клетки *cells(i, j, k)*. Задача определения состояния сводится к простой проверке значения *tot* в отношении к состоянию клетки *cells(i, j, k)*:

```
if cells(i, j, k) = 0
  then if tot = 5
    then newcells(i, j, k) = 1
    else newcells(i, j, k) = 0
if cells(i, j, k) = 1
  then if tot < 4 or tot > 5
    then newcells(i, j, k) = 0
    else newcells(i, j, k) = 1
```

Здесь я предполагал, что читатель программирует игру «Жизнь 4555». Можно несколько изменить алгоритм, чтобы приспособить его к версии 5766 или сделать его достаточно общим, чтобы охватить любые трехмерные правила. Рассмотрим последнюю возможность.

В универсальном виде описанный выше алгоритм вычисления состояния можно записать, воспользовавшись четырьмя переменными, которые Бейс назвал как *el, eu, fl, fu*. Буквы *e* и *f* означают соответственно среду (*environment*) и плодovitость (*fertility*), а буквы *l* и *u* соответственно

нижний (*lower*) и верхний (*upper*). Таким образом, *el* и *eu* — это нижняя и верхняя границы, в которые должна попасть клетка, чтобы продолжить жизнь в следующем поколении. Клетка останется живой, если число окружающих ее живых соседей больше или равно *el*, но меньше или равно величине *eu*. Аналогично, величины *fl* и *fu* — это границы, в которые должна попасть мертвая клетка, чтобы ожить в следующем поколении. Это произойдет, если число живых кубов в окрестности клетки больше или равно *fl*, но меньше или равно *fu*. В этих обозначениях общий алгоритм приобретает следующий вид:

```
if cells(i, j, k) = 0
  then if tot < fl or tot > fu
    then newcells(i, j, k) = 0
    else newcells(i, j, k) = 1
if cells(i, j, k) = 1
  then if tot < el or tot > eu
    then newcells(i, j, k) = 0
    else newcells(i, j, k) = 1
```

Здесь в любой версии трехмерной жизни программа должна перевести содержимое массива *newcells* в массив *cells* при помощи тройного цикла. Таким образом, массив *newcells* освобождается для следующего поколения живых кубов.

В заключительной стадии рассматриваемого нами алгоритма, обозначенной как «высветить живые клетки», программа должна изобразить соответствующий куб при условии, что он находится в живом состоянии. При изображении кубов на экране мы советуем закрашивать видимые поверхности. Если оставлять рисунок в скелетном виде, то изображение получается очень сложным и непонятным. Простейший способ сделать невидимыми кубы, расположенные за видимыми поверхностями, заключается в том, чтобы *i* — индекс внешнего цикла — пробегал значения, соответствующие оси, ведущей из глубины экрана к зрителю. Тот печальный факт, что некоторые кубики становятся, таким образом, невидимыми, — единственный недостаток, прису-

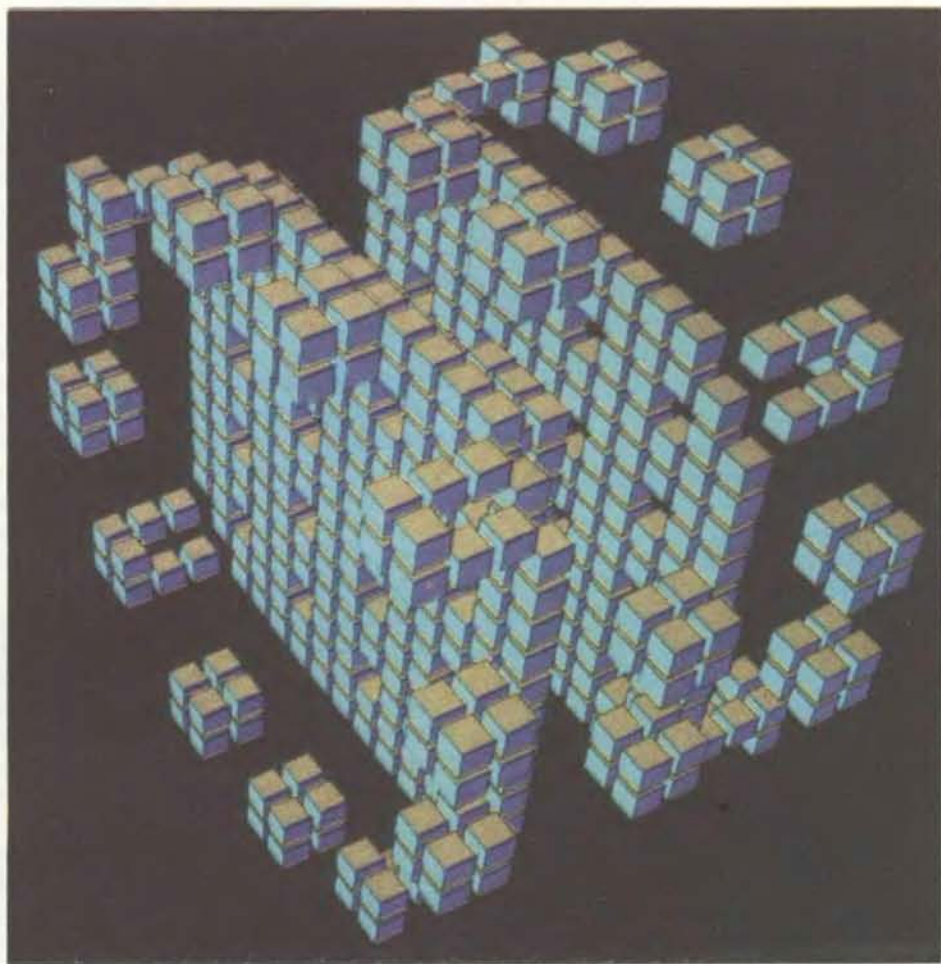
ший всем трехмерным версиям «Жизни». Мы не имеет возможности охватить взглядом все, что происходит в пространстве, как мы могли это сделать в двумерной версии Конвея. В то же время этот недостаток любой трехмерной игры присущ и всему нашему трехмерному миру. Мы не можем видеть всего того, что в нем происходит. И можно сказать, что это к нашему счастью.

После того как в программе реализована последняя стадия, процесс ее выполнения становится довольно медленным. Можно добиться некоторого ускорения, заменив кубы сферами (на самом деле заштрихованными дисками, размеры которых изменяются в зависимости от их «глубины» на экране). Нужно сказать, что в брошюре Бейса, о которой мы говорили, есть рецепты, позволяющие добиться увеличения скорости на несколько порядков.

Как всегда, я с радостью расскажу обо всех необычных, интересных явлениях, которые будут открыты читателями. Во-первых, удастся ли неутомимым исследователям, всегда стремящимся к обобщению, найти какие-нибудь формы трехмерной жизни (стоящие такого названия), которые, возможно, упустил Бейс? Во-вторых, читателям, наверное, будет интересно поэкспериментировать со своими собственными рецептами первобытного бульона. Ну а в остальном, кто знает, сколько еще существует неоткрытых планеров, космических кораблей, катапульт и других интересных образований! Но чтобы не дублировать результатов, достигнутых Бейсом, следует обязательно изучить брошюру «Трехмерная игра «Жизнь»».

ИГРА ПОД названием «Звездный бой» (Star trek), о которой речь шла в первом номере журнала за этот год, оказывается, существовала, если не по названию, то по сути, еще задолго до появления на телевизионных экранах популярного многосерийного фильма с этим названием. Р. Нельсон-младший из Остина (шт. Техас) вспоминает, как в начале 60-х годов появилась игра под названием «Космическая война» — прабабушка всех игр, в которых космические корабли охотятся друг за другом. Программа была написана для ЭВМ PDP-1 в Массачусетском технологическом институте. Авторы игры, аспиранты МТИ, очень гордились своим изобретением. Об этом можно прочитать в августовском номере журнала «Creative Computing» за 1981 г. (см. библиографию).

Машина PDP-1 была плохо приспособлена для программирования по-



Два барьера времени-пространства в «Жизни 5766»

добных игр, и входные параметры вводились в нее с операторского пульта. Дж. Грэтц, один из авторов игры, вспоминает, в какой атмосфере проходили состязания: «Если мы загорались какой-нибудь идеей, для нас не было ничего невозможного... «Космическая война» прекрасно работала с ключей регистра операторского пульта, правда, монитор терминала был расположен несколько в стороне, так что один из игроков получал преимущество, потому что ему было удобнее наблюдать за событиями на экране. Важнее было, наверное, то, что двое возбужденных бойцов теснились в ограниченном пространстве, рассчитанном на одного спокойно работающего оператора, поэтому постоянно возникала опасность поломки оборудования».

Программа варианта «Космической войны», описанная в январском номере журнала, не удовлетворила К. Ван-Еселтайна из Скулкрафта (шт. Мичиган). Она показалась ему настолько медленной, что он назвал ее «Звездным трактором» (Star truck). Она стала достойной названия «Звездный бой» (Star trek) лишь после того, как он нашел способ удалить большую часть арифметических опе-

раций с плавающей запятой из главного цикла программы. Чтобы не вычислять квадратных корней по ходу выполнения программы, он заранее рассчитал двумерный массив расстояний от всех возможных точек (x, y) до начала координат $(0, 0)$. Теперь расстояние между любыми двумя точками (x_1, y_1) и (x_2, y_2) можно получить очень просто, посмотрев в таблице расстояние для координат $(x_2 - x_1, y_2 - y_1)$. Ван-Еселтайн затабулировал также значения синуса и косинуса в двух массивах по 36 элементов в каждом, по одному элементу на каждые 10 градусов. Кроме того, он пришел к выводу, что с ракетами легче управляться, если их всегда ровно 20. Разумеется, на любой конкретный момент многие из них могут оказаться виртуальными, в этом случае они просто не отображаются. Далее, массивы, задающие скорость, должны быть не двумерными, а спаренными одномерными. На многих персональных компьютерах такое простое новое определение может дать значительную экономию времени. Целеустремленные читатели, несомненно, сами дойдут до многих других усовершенствований, позволяющих ускорить программу Ван-Еселтайна.

Книги

Росписи в Бонампаке; геоканцерология; стеклянные дворцы; экспонаты зоологических музеев

ФИЛИП MORRISON

Мери Эллен Миллер. РОСПИСИ БО-
НАМПАКА

THE MURALS OF BONAMPAC, by Mary
Ellen Miller. Princeton University Press
(\$67.50)

В МАЕ 1946 г. кинорежиссер
Джайлс Хили, снимавший фильм
в Мексике, получил от своих госте-
приимных хозяев, индейцев Лакандо-
на, «драгоценный подарок»: они по-
казали ему скрытые в чаще тропиче-
ского леса на границе Мексики и Гва-
темалы развалины здания, которые
они называли «грудой камней». Хили
был первым «человеком со сторо-
ны», увидевшим в этом здании пора-
зительные настенные росписи майя.

Здание находилось на ступенчатом
возвышении и было разделено на три
небольшие смежные комнаты. Внут-
ри этих комнат — на стенах и сводча-
тых потолках — художники майя со-
здали множество ярких и выразитель-
ных композиций, включавших сотни
человеческих фигур в 2/3 натуральной
величины. Частично сохранившиеся
надписи позволяют датировать рос-
писи приблизительно 790 г. н. э.

За прошедшие столетия обильные
дожди, просачиваясь сквозь много-
численные трещины в каменной кров-
ле, понемногу размывали камень, так
что поверхность росписей (как это
бывает в пещерах) постепенно покры-
лась известковым налетом. Именно
этот налет и спас росписи. Для
удобства туристов крыша здания бы-
ла покрыта жестью, а окружающий
лес частично вырублен. В результате
росписи оказались в сухом и теплом
микроклимате после более чем тыся-
челетнего «прозябания» во влажных
прохладных джунглях. Однако в на-
ступление перешла плесень, и теперь
«росписи понемногу отслаиваются от
стен».

«С Бонампаком было связано мно-
жество недоразумений и несчастий». Даже само его название, которое за-
ключает в себе лингвистическую нео-
пределенность, означает скорее вы-
крашенные, чем расписанные стены
— с легкой руки археолога, который
не мог похвастаться совершенным

знанием языка майя. Обстоятельства
открытия снискали этому месту скан-
дальную славу. Ей способствовали ха-
рактер и судьба первооткрывателя и
его спутников, а также конфликт
между национальной гордостью и ак-
тивной деятельностью иностранных
археологов — «porteamericano», как
их называли местные жители. Карлос
Фрей, сопровождавший Хили во вре-
мя съемок фильма по заказу United
Fruit Company, заручился поддерж-
кой Диего Риверы и Давида Сикейро-
са — крупнейших мастеров по настен-
ной росписи — в снаряжении специ-
альной экспедиции в Бонампак. Одна-
ко сам Фрей утонул во время этой экс-
педиции.

На протяжении десятилетий эта пе-
чальная история служила поводом
для различных домыслов. На эту те-
му было написано несколько романов
и даже поставлен балет. В 1981 г. вы-
шел очередной роман о Бонампаке —
на сей раз любовная история Фрея и
его подруги-индианки, где описыва-
ются их похождения в джунглях. Од-
нако вся эта шумиха вокруг Бонампак
кончилась тем, что никто всерьез
не занимается проблемой его сохране-
ния. Автор иронизирует, что к тому
времени, когда от росписей ничего не
останется, винить тоже будет некого.

Профессор Миллер — молодой
майянист и искусствовед из Йельско-
го университета. Ее книга представ-
ляет собой пример тщательного ана-
лиза деталей. Хотя неискушенному
читателю нелегко будет следить за
профессиональным разбором содер-
жания росписей и знаков, все же путе-
шество по Бонампаку, в которое нас
приглашает автор, оказывается на
редкость увлекательным.

Хили, которому посчастливилось
вывести Бонампак из забвения, не зря
был кинематографистом: он тотчас
принялся фотографировать увиденное.
Но вместо того чтобы детально от-
снять все три комнаты, он сосредото-
чил свое внимание на одной из них.
Единственная полная фотосъемка бы-
ла проведена только в 1964 г. по иници-
ативе знаменитого Национального
музея антропологии в Мехико, при-
чем были получены как черно-белые

негативы, так и цветные слайды. К
сожалению, цветные оригиналы ис-
чезли из архивов. С тех пор немало
фотографов побывало в Бонампаке,
но они интересовались лишь наиболее
хорошо сохранившимися участками
росписи. Так что до сих пор не су-
ществует исчерпывающей фотодоку-
ментации всех трех комнат.

Наиболее полной из существующих
документаций мы обязаны археоло-
гам-копировщикам. Всего с росписей
были сделаны четыре копии. Первые
два копировщика за два сезона кро-
потливой работы срисовали изобра-
жения в масштабе 1:4 с помощью сет-
ки, наносимой карандашом прямо на
стены; третий копировщик использо-
вал большие ацетатные листы, накла-
дываемые непосредственно на рас-
крашенные поверхности. Еще два ко-
пировщика (Ф. Давалос и К. Грутен-
берг, — «безусловно, наиболее квали-
фицированные из всех копировщиков,
работавших в Бонампаке»), послан-
ные музеем штата Флорида в Гейнс-
вилле, сделали великолепную умень-
шенную копию первой из расписан-
ных комнат. Эта копия сейчас выстав-
лена в музее. В задачу этих художни-
ков входила и реконструкция повреж-
денных мест.

Необходимую информацию предо-
ставляют читателю и иллюстрации:
контуры настенных росписей, а также
карты, планы и множество фотогра-
фий, изображающих наиболее инте-
ресные детали росписей и находки из
других мест. Цветные иллюстрации
знакомят нас с уменьшенными копия-
ми 1946 г.

Цвета, возможно, имеющие и сим-
волическое значение, близки к нату-
ральным: красновато-коричневый
цвет человеческого тела, зеленая рас-
тительность, красная кровь, желтая с
черными пятнами шкура ягуара. Мы
видим торжественные многолюдные
процессии, сражающихся воинов, му-
зыкантов, разряженную толпу в ма-
сках. . . Поражает обилие сложных и
подчас непонятных деталей, а сами
рисунки испещрены надписями. Есть
даже предполагаемые авторские под-
писи: несколько не бросающихся в
глаза значков, не связанных с осталь-
ными изображениями.

Выводы автора книги часто проти-
воречат традиционным представле-
ниям. Видные майянисты, еще не
знавшие, как расшифровать надписи,
полагали, что росписи изображают
не конкретные исторические эпизоды,
а сцены ритуалов, сложившихся за
многие века теократии. Так, истяза-
ние обнаженных пленников трактова-
лось как ритуальная инсценировка.
«Поскольку майя по природе не были
склонны к сацизм, — писал в 1955 г.

один из исследователей росписей Бонампака, — я не считаю, что здесь изображены пытки пленников».

Хотя многие надписи до сих пор остаются непонятными, расшифрованные знаки свидетельствуют о том, что на росписях, вероятно, изображены реальные деяния одного из влиятельнейших Бонампака по имени Хаан-Муан. В первых сценах отражено важное «астрологическое событие»: одновременное прохождение Солнца через зенит над Бонампаком и наибольшее сближение с Венерой. В отмеченный столь добрым предзнаменованием день правитель показывает народу своего маленького сына-наследника, и по этому поводу устраивается пышное и шумное торжество.

Изображения во второй комнате, посвященные, вероятно, военной победе, вносят ноту ужаса в ансамбль росписей. Мы видим эпизоды сражений и пытки несчастных пленников. Множество деталей указывают на справедливость такой трактовки, хотя читателю это может показаться и не очевидным. Например, по фотографии вряд ли можно сказать, что пленник — поистине взывающая к жалости фигура — «кричит от боли».

Третья комната сохранилась менее всего. В глаза бросаются куски голых стен, пояснительные надписи уцелели лишь частично. В этой комнате изображено приношение человека в жертву у подножия большой пирамиды, фигуры людей, одетых в костюмы с легкими крыльями, исполняющих удивительный танец, а также людей, несущих балдахины и «штандарты». На соседней стене изображена правящая семья на огромном троне. Фигура самого правителя несколькими десятилетиями раньше описывалась в литературе как «пожилая женщина за утонченной трапезой». Миллер видит в этой сцене искупительное самоистязание, при котором язык протыкали острыми иглами. В доказательство этой интерпретации ссылаются на изображения подобных сцен в других майяских храмах и на новейшие находки, относящиеся к иным культурам.

Это потрясающие картины красоты и жестокости. Совершенство линий приводит нас в восторг, но в той же мере вызывает отвращение жестокость изображаемых пыток. Некогда лучшие художники были созваны в Бонампак, дабы обессмертить великие деяния. Но росписи не были закончены. Династия прекратила свое существование: по всей видимости, маленький наследник не успел взойти на трон. «Бонампак был заброшен, а художники разбрелись кто куда». Ни разу за всю свою последующую исто-

рию живопись Месоамерики не достигала таких высот.

Не является ли Бонампак отражением эпохи крушения Древнего царства, произошедшего в результате войны городов? Даже если объяснение росписей действительно верно, многое остается неясным. Города классического периода действительно были разрушены, однако нигде не были обнаружены следы сражений. Вероятно, они происходили за городом, и поэтому сами города не имели фортификационных сооружений. Все исследователи, начиная с Дж. Стивенса, обращали внимание на мирный вид городов майя, так непохожих на европейские, на отсутствие у них окружных стен и изображений вооруженных стражей.

Современная точка зрения, разделяемая и автором книги, состоит в том, что разрушительные войны уже происходили между поселениями майя еще до прихода племен с территории Мексики. Но сами каменные города в то время были скорее культурными, а не экономическими центрами с большим населением. Вот почему внушительные пирамиды, дворы и галереи редко были предметом нападения во время войн. Не разрушение, а забвение грозило им смертью!

ГЕОКАНЦЕРОЛОГИЯ: РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАКОВЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ В МИРЕ. Под редакцией Дж. Мелвина Хоу GLOBAL GEOCANCEROLOGY: A WORLD GEOGRAPHY OF HUMAN CANCERS, edited by G. Melvyn Howe. Churchill Livingstone (\$127.50)

РЕГИСТРАЦИЯ новорожденных и умерших — первый необходимый элемент статистики рождаемости и смертности. В наше время многие страны имеют хорошо налаженную систему сбора демографических данных с обязательным составлением свидетельства о смерти людей. Наряду с другими данными в книге представлена обширная статистика о возрастных категориях; эпидемиологами даже составлена оценка возрастной структуры населения всего земного шара на 1982 г. По обобщенным демографическим данным возраст половины человечества на сегодняшний день превышает 26 лет, однако лишь один из 25 человек доживает до 70 лет.

Причины смерти? О них мы, к сожалению, знаем гораздо меньше. Правда, за одним исключением: на протяжении жизни целого поколения во многих странах проводился сбор данных обо всех случаях заболевания раком. Эти данные были обработаны



Изображение музыкальной процессии: копия росписей первой комнаты в Бонампаке

в специальных международных организациях, а затем опубликованы в виде таблиц, собранных в 5 томах. В настоящее время в мире существует 84 центра, регистрирующих раковые заболевания от Эль-Пасо до Кампучии и Сингапура. К сожалению, очень мало таких данных представлено Китаем.

Вся информация о зарегистрированных случаях раковых заболеваний, их лечении и смертных исходах поступает в эти центры, где она тщательно анализируется. В среднем каждую неделю регистрируется несколько сот смертей от этой страшной болезни. Был ли каждый из этих случаев засвидетельствован если не врачом, то хотя бы просто очевидцем? Есть ли отчет врача? Можно ли доверять записям, сделанным непрофессионалами и не подкрепленными результатами патологоанатомического вскрытия?

Книга знакомит читателя с результатами детального анализа, проведенного отдельно для каждой страны: в ней собраны статьи, написанные 30 специалистами и дополненные картами, цифрами, таблицами и диаграммами. Представленные в таблицах данные иногда трудно объяснить. Например, почему процент заболевания раком дыхательных путей среди мужского негритянского населения Нового Орлеана и Маори в Новой Зеландии в 100 раз выше, чем среди черного населения Дакара, и в 10 раз выше, чем среди индейцев Нью-Мексико? Определенную, однако не решающую, роль играет генетический фактор. Так, согласно одной из оценок, этим фактором обусловлено примерно 20% случаев заболевания раком дыхательных путей. Очень высокая заболеваемость отмечается среди белых жителей Нового Орлеана и совсем низкая — среди испанского населения Нью-Мексико. Из приводимых таблиц видно, что сельское население болеет раком дыхательных путей реже, чем городское, бедные — в два раза чаще, чем богатые, а непосредственная связь между курением и частотой заболевания раком очевидна.

Рак предстательной железы поражает мужское население Калифорнии на два порядка чаще, чем жителей Шанхая. Распространен он и среди пожилых шведов и швейцарцев. Жители ряда стран Восточной Азии, Сенегала и Чехословакии страдают раком предстательной железы в среднем в 5 раз реже. Японцы, проживающие на Гавайях, весьма подвержены этому заболеванию. Причин подобных аномалий множество, включая особенности природной, социальной и культурной среды.

В Японии и Чили всегда отмечался

наиболее высокий уровень заболеваемости раком желудка. За последние 30 лет он неуклонно снижается как в этих, так и во многих других странах. В Чили этот процесс наблюдается главным образом в больших городах. Возможно, что в сельских районах реже, чем в городах, проводят медицинское освидетельствование умерших и потому за рак желудка могут приниматься другие раковые заболевания брюшной полости. В Японии предпринимаются значительные усилия по изучению причин заболеваний раком. Курение и род занятий, несомненно, играют важную роль, не последнее место занимает и питание. Так, по результатам исследований, одной из причин заболеваний является высокое содержание соли в пище. В этом отношении весьма положительную роль сыграло появление электрохолодильников, дающих возможность сохранять пищу без обработки ее солью.

По-прежнему спорной остается гипотеза о том, что частые случаи заболевания раком в Чили вызваны высоким содержанием в почве природных нитратов. В Иране вдоль побережья Каспийского моря часты случаи заболевания раком пищевода. Эта болезнь распространена на значительной территории Азии — от Ближнего Востока до Китая. Опиум, на который ранее падало подозрение, видимо, здесь ни при чем; зато обнаружилась прямая связь между заболеваниями раком пищевода и потреблением хлеба домашней выпечки: канцерогенные кристаллики кварца были обнаружены в муке, смолотой с помощью каменных жерновов. Постоянно возникающие «очаги» заболевания раком пищевода зарегистрированы и в тех районах, где население привыкло пить очень горячий чай при нехватке в рационе витаминов. Однако корреляция с этими факторами — это пока лишь гипотеза.

Джордж Кольмейер, Барна фон Сартори. ЗДАНИЯ ИЗ СТЕКЛА — СООРУЖЕНИЯ XIX ВЕКА

HOUSES OF GLASS: A NINETEENTH CENTURY BUILDING TYPE, by Georg Kohlmeier and Barna von Sartory. The MIT Press (\$65)

ГРАНЕННЫЕ сверкающие купола, украсившие в XIX в. многие города Европы, — свидетельство того, что именно на этом континенте впервые стали использоваться отопляемые сооружения из стекла и железа для выращивания тропических культур, ранее привозимых из далеких колоний. Словно по волшебству, в Ев-

ропе появились зимние сады со стройными пальмами и гигантскими водяными лилиями, о которых ранее можно было узнать лишь из рассказов путешественников. Возможность полюбоваться тропической флорой появилась у тех, кто мог заплатить за вход в один из сотен филигранных стеклянных дворцов, выросших на территории от Белфаста до Лиссабона и Петербурга.

Титулованные особы были первыми, кто наслаждался тропическими видами под стеклом. Так, представители Венского конгресса пользовались обеденным залом во дворце Шёнбрунн, где столики были расставлены вдоль арочной галереи длиной 1800 м. Со стороны были видны лишь деревья и цветы, между ними — статуи и четырехступенчатый водопад, освещаемый тысячами ламп. Королевская оранжерея явилась предшественницей оранжерей «промышленной эпохи»: вся ее южная стена была застекленной, однако климат в ней вряд ли можно было назвать тропическим. Строительными материалами служили в основном камень и дерево, крыша была непрозрачной, а сама оранжерея предназначалась для очень узкого круга посетителей.

Типичный зимний сад крупного города занимал примерно в десять раз большую площадь, чем частная оранжерея. Эти сооружения были намного выше, имели прозрачные крыши и стены и собирались из модульных элементов из стекла и железа. Оранжереи отапливались с помощью угольных печей, а позднее — паровых котлов и системы радиаторов. В темное время суток они освещались газовыми фонарями.

В этих сооружениях нашли воплощение не только новые принципы в архитектуре и эстетике. Утопистам Чарльзу Фурье и Роберту Оуэну будущее человечества рисовалось в прекрасных стеклянных дворцах (в противовес мрачным условиям на фабриках и заводах). Более реальным поводом к созданию сооружений из стекла и металла был «спрос» на развлечения в непрерывно растущих скучных и холодных городах с весьма несовершенной системой центрального отопления. Известный лондонский конструктор таких сооружений писал в 1840 г. об одном из берлинских зимних садов: «По утрам в нем можно встретить джентельменов, читающих газету, пьющих шоколад или рассуждающих о политике. После трех часов пополудни сад заполняется самыми различными людьми, они сидят под деревьями и разговаривают друг с другом, курия и попивая кофе, вино, пиво, пунш или грог». В наше время,

когда широкое распространение получили небольшие огороженные скверы, нетрудно понять, почему подобные идеи были столь привлекательными.

Несомненно, самая интересная страница в истории сооружений из металла и стекла была вписана Джоозефом Пакстоном. Его детище — Хрустальный дворец (построенный в 1851 г. и занимающий площадь немногим менее 72 000 м²) — было крупнейшим среди таких сооружений. «Основные конструктивные и пространственные концепции здания Пакстон разработал. . . за несколько часов — во время заседания комиссии по подготовке промышленной выставки». Это стало возможным потому, что у него был опыт нескольких десятков лет строительства теплиц (из застекленных деревянных рам) за годы службы садовником у герцога Девонширского, одного из самых состоятельных лордов Англии.

Оранжерея Грейт-Стоув — «хрустальная гора», сооруженная по проекту Пакстона в Чатсворте, занимает особое место в истории архитектуры. Для ее строительства использовались заранее изготовленные стеклянные панели размером 1,2 м. Оранжерея просуществовала около 80 лет, до тех пор пока затраты на ее отопление (восемь мощных паровых котлов и свыше 12 км труб) не сочли непомерно высокими. Это удивительное сооружение с его чугунными колоннами и деревянными ребрами удалось «повергнуть на землю» взрывом динамита лишь с пятой попытки.

Строительство подобных зданий требует большого количества заранее изготовленных и собранных деталей. Для изготовления множества горбыльков оконного переплета Пакстон сам сделал пилы и фасонно-фрезерные станки с паровым двигателем. Чугунные детали, а затем детали из ковкого железа также стали изготавливаться в огромном количестве специально для оранжерей. По заказу Пакстона фирма Robert Lucas Chance изготовила 300 тыс. листов стекла, предназначавшегося для сооружения Хрустального дворца, т. е. 1/3 всего стекла, производившегося в Великобритании в то время.

Приблизительно 3/4 объема этой прекрасно оформленной книги большого формата посвящено описанию самих сооружений из стекла. Они перечисляются в алфавитном порядке в каталоге, который снабжен историческими справками, чертежами и иллюстрациями. Подборка сделана на высоком профессиональном уровне и в то же время доступна каждому читателю. Далее следует альбом фото-

графий, выполненных в разное время, например здания Грейт-Пам-Хаус в Берлин-Далеме — выдающегося достижения строителей конца эпохи Эдуардов. Около 20 лет назад оно было восстановлено, однако вместо стекла использовались листы из пластика. Хотя экономически это оказалось выгодным, филигранность прежних оконных переплетов была, к сожалению, утрачена.

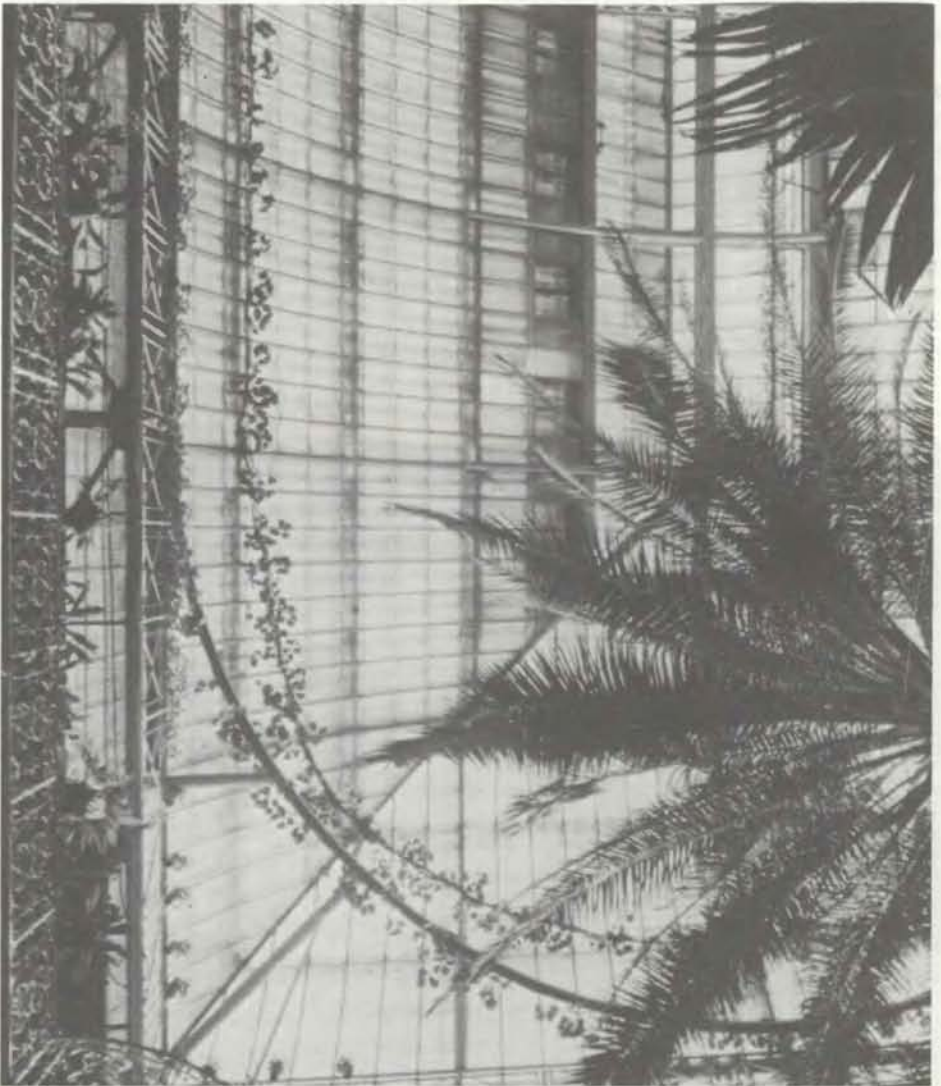
Далее читатель познакомится с зимним садом, сооруженным в 40-х годах XIX в. английским архитектором в замке Лихтенштейн. Элегантность этого сооружения до сих пор вызывает восхищение. Невольно позавидуешь также жителям Глазго, имеющим возможность восхищаться сооружением Киббл-Пэлас. Прозрачный главный купол дворца привлекает внимание, несмотря на многочисленные скульптуры и орнамент, которыми он был щедро украшен в 1872 г.

Эти похожие на драгоценные камни сооружения символизируют промышленный век, к которому мы до сих пор принадлежим (какие бы названия ему ни давали). Ле Карбюзье

подвел итог всему, что было выстроено, начиная с замков Шартра и кончая Хрустальным дворцом: «История архитектуры — это нескончаемая борьба за облегчение конструкций против оков, накладываемых законом всемирного тяготения».

Розамунд Вольф Парселл, Стивен Джей Гулд. «Жизнь» ПОСЛЕ СМЕРТИ: ЭКСПОНАТЫ ЗООЛОГИЧЕСКИХ МУЗЕЕВ ILLUMINATIONS: A BESTIARY, by Rosamund Wolff Pursell and Stephen Jey Gould. W. W. Norton & Company (\$35)

ГЛАВНОЕ назначение подобных книг — показать многообразие животного мира. Цель эта авторами достигнута. В этом нас убеждают прекрасные фотографии, сделанные Розамунд Парселл: 70 снимков, отражающих, пусть и не в полной мере, многообразие, которое продемонстрировала жизнь на протяжении 600 млн. лет. Подписи к иллюстрациям, написанные палеонтологом Стивеном Гулдом, представляют собой не-



Центральный павильон Грейт-Пам-Хаус в парке Шёнбрунн (Вена)

большие, не более половины страницы, статьи, на редкость содержательные, остроумные и не перегруженные научными терминами.

Представленные фотографии сделаны не в лесу и не в поле. Мы видим фрагменты скелетов животных и другие различные экспонаты, пылящиеся на полках запасников больших старых музеев, например иссохшие кости совы на фоне истлевшего фоллианта; заспиртованная гадюка, лишенная своих ядовитых зубов; насаженные на гвоздь гигантские жуки-голиафы; полосатая шкура зебры Грэви; ночная бабочка с причудливым узором; коренные зубы носорога в форме греческой буквы π; лабиринты сосудистой системы беличьей обезьяны. Перед нами богатейший, добывавшийся столетиями таксономический материал, послуживший основой для современной эволюционной биологии!

«Жизнь» экспоната в зоологическом музее начинается после смерти животного. Наблюдательный художник решил осуществить смелую затею — вторгнуться вместе с фотокамерой в эту жизнь, в тихие музейные запасники, посещаемые лишь их хранителями и учеными.

Один из экспонатов символизирует единство дисциплин. Этот экспонат — окаменелый рачок, найденный в известняках Зольнхофена. Его сложный узор образовался еще в юрском периоде. «Искусство и наука встречаются здесь. . . самым очевидным образом». Некогда мягкая порода затвердела, сохранив заключенные в ней нежнейшие ткани ракообразного. На большой глубине, где она находи-

лась, кислорода было слишком мало, чтобы произошло органическое разложение. В руках художников эта отвердевшая порода превратилась в материал для прекрасных литографий с изображениями этих организмов.

Любая старая коллекция, как бы хорошо она ни содержалась, сама может превратиться в «окаменелость». На одном из лучших снимков с удачным освещением видны следы пальцев, намеренно оставленные фотографом на запыленном стекле, закрывающем коробочку с четырьмя яйцами каравайки. Ученый вспоминает: «Однажды я открыл один из ящиков старой части нашей коллекции. Он, вероятно, был когда-то случайно опрокинут, после чего содержимое как попало запихнули обратно. . . Я обнаружил и записку, датированную 1861 г., содержащую извинения перепуганного студента — на тот случай, если вспыльчивый и эксцентричный директор музея Луис Агассиз вдруг заметит беспорядок. Агассиз, очевидно, никогда не открывал этот ящик. Что касается студента, Натаниэля Саутгейта Шенера, то он сделался известным ученым. Пыль же по-прежнему царит здесь единовластно. . .».

На двух фотографиях мы видим челюсти кита во всех деталях. По форме и цвету снимки вполне можно было бы принять за вид пустыни Аризоны с высоты 10 000 м. Неопределенность масштаба дает волю фантазии. Все живое, подобно творению каменщика, состоит из кирпичиков-атомов; и эти вездесущие «кирпичики» не меняют своих размеров даже под молотом

всевластного времени. «Когда я разбирался в науке куда хуже, чем сегодня, — вспоминает Гулд, — меня раздражала профессиональная беседа. Стоило рассказчику показать слайд, часто очень красивый, как кто-нибудь тотчас прерывал его вопросом: «А каков масштаб?» «Какой тупица!» — думалось мне тогда. Сейчас я понимаю всю важность этого вопроса».

Книга эта — прекрасный плод дружества художника и ученого, воспевающий многообразие в форме образа и слова, посвящается Музею сравнительной зоологии им. Агассиза в Харварде. Экспонаты, представленные на снимках, были отобраны также в музеях Вашингтона, Дублина, Лейдена и Копенгагена, — в этих знаменитых пыльных сокровищницах образцов, начавших свою «жизнь» после смерти. Среди иллюстраций читатель с удивлением замечает одну сцену из далекого прошлого: на фотографии изображена пляшущая в экстазе шаманка, потрясающая погремушкой из медвежьих когтей. Жизнь и смерть присущи всем живым существам, но лишь человека во все времена притягивала их извечная тайна!



Коренные зубы носорога

Издательство МИР предлагает:

ХИМИЯ ГОРЕНИЯ

Под редакцией

У. Гардинера-младшего

Перевод с английского

Книга написана известными американскими специалистами в области химической кинетики и представляет собой коллективную монографию, посвященную вопросам механизма горения углеводородных топлив. Обсуждаются методы численного моделирования процессов горения, а также методы вычисления констант скоростей реакций на основе теории переходных состояний.

Для специалистов в области горения, а также студентов и аспирантов вузов соответствующих специальностей.

1988, 35 л. Цена 5 р. 30 к.



SCIENTIFIC
AMERICAN

ФЕВРАЛЬ 1937 г. Протяженность авиалиний во всем мире в настоящее время составляет приблизительно 300 000 миль. Эта огромная сеть появилась менее чем за 20 лет. В 1919 г., в первый год коммерческих воздушных перевозок, длина авиалиний достигала лишь 3000 миль. В прошедшем году мы стали свидетелями рождения многих новых воздушных маршрутов — на Дальнем Востоке, в СССР, в Китае — и, что удивительнее всего, на огромных просторах Тихого океана. Только этот последний район прибавил 9000 миль к уже существующим линиям воздушных перевозок. Длина воздушных путей в США составляет 28 000 миль.

В Массачусетском технологическом институте экономится труд целых коллективов математиков, производящих вычисления. Это стало возможным благодаря новой очень сложной машине весом около 1 т, которая за одну операцию решает систему девяти уравнений с девятью неизвестными.

Растет интерес к изучению годовых колец деревьев. Это позволит получить много ценных сведений, которые найдут применение в метеорологии, истории и антропологии. Из анализа годовых колец можно узнать, в какие годы за прошедшие тысячи лет стояла влажная, а в какие — сухая погода, когда были наводнения и лесные пожары. Одно из интереснейших применений этого метода — определение возраста деревянных конструкций, которые находят в развалинах древних построек.

Сорок лет назад взорвалось некое устройство. Взрыв привел в восторг изобретателя, так как доказал осуществимость идеи, которую изобретатель долго разрабатывал. То был Рудольф Дизель. В наше время двигатели Дизеля приводят в движение самые разные аппараты на суше, на море и в воздухе и применяются практически в каждой области, где требуется получать энергию. Дизели имеют такое блестящее будущее, что трудно предугадать пределы их распространения.

Сильнейшее наводнение, происшедшее весной 1936 г., привлекло внимание общественности к проблеме контроля за стоком вод и предупреждения сезонных явлений такого рода. Конгресс одобрил широкую программу по исследованиям в области контроля наводнений. Этот шаг, вероятно, привлечет внимание общественности к тому факту, что разрушительные наводнения часто являются результатом неправильного использования водных ресурсов.

В воздухе находится множество мельчайших насекомых и других существ, которых воздушные потоки поднимают с поверхности земли. В Луизиане во время многочисленных полетов самолетов, оборудованных ловушками для насекомых, было обнаружено, что столб воздуха с площадью поперечного сечения 1 кв. миль, простирающийся от 50 до 14 000 футов над землей, содержит в среднем в течение года около 25 млн. насекомых, причем их число изменяется от 12 млн. в январе до 36 млн. в мае.

С возрастом уши человека увеличиваются, нос становится больше и в длину и в ширину, а рот растягивается. Эти любопытные возрастные изменения, которые приводят к существенным изменениям внешности, были обнаружены доктором А. Хрдлика, куратором отделения физической антропологии Смитсоновского института, который провел обмеры тысяч мужчин и женщин.



ФЕВРАЛЬ 1887 г. При беглом взгляде на карту северо-восточной части страны обнаруживается, насколько необходим мост через Гудзон в месте, находящемся на полпути между Нью-Йорком и Олбани. Железнодорожное сообщение между штатами Новой Англии, с одной стороны, и западом и югом — с другой, затруднено задержками, связанными с переправой через Гудзон. Эта проблема будет решена с постройкой моста Покипси и участка дороги длиной 12 миль между Покипси и Гардинером. Очевидны преимущества, которых в результате можно будет добиться при перевозке угля, а также при пассажирских и гру-

зовых перевозках между Новой Англией и западом и югом.

В настоящее время для очистки парижских улиц от снега применяется соль. Уборка организуется при первом появлении снега, поскольку очень важно проделать эту операцию до того, как уличный транспорт спрессует его в лед и очистить улицы окажется намного труднее. Снегопады в Париже редко бывают при температурах, намного меньших точки замерзания воды. Поэтому снег можно посыпать солью, которая образует рассол, замерзающий при температуре на 5 °C ниже, чем замерзает вода. Такая холодная смесь не представляет опасности для мощеных улиц, асфальта или деревянных настилов. Небольшие экономические затраты, а также отсутствие неудобств для уличного движения позволяют повсеместно применять этот способ.

Спустя несколько месяцев после того, как паромы, совершающие рейсы между Сан-Франциско и Оклендом, в опытных целях были переделаны так, чтобы использовать в топках нефть, последовала обратная их переделка: для использования под уголь. Экономически более выгодно применять нефть. Трудность, однако, состоит в том, что интенсивное тепловыделение при горении нефти приводит к быстрому прогоранию металлических стенок печей и котлов.

Имеются достоверные сообщения о появлении случаев пристрастия к кокаину. Если такие случаи будут повторяться, то встанет вопрос о полезности для человека этого анестезирующего средства. Возникает сомнение, что те блага, которые принесло использование кокаина для местной анестезии, могут компенсировать уже нанесенный им вред.

Доктор Жиль де ля Туретт опубликовал недавно монографию, в которой исследуются движения человека и изменения походки, вызванные заболеваниями нервной системы. Он обнаружил, что длина шага составляет 25 дюймов у мужчины и 20 дюймов у женщины. Шаг правой ноги несколько больше, чем левой. Расстояние между подошвами составляет примерно 4,5 дюйма у мужчин и около 5 дюймов у женщин.

НАСА: каковы перспективы

В СЕРЕДИНЕ декабря прошлого года Дж. Флетчер, директор НАСА, на вопрос журнала «Scientific American», какая роль отводится военным исследованиям в программе «Космическая станция», без замедления ответил: «Никаких военных исследований по этой программе не предусмотрено». Предугадать замыслы Пентагона, очевидно, невозможно. На той же неделе министерство обороны США попросило НАСА отложить обсуждения с другими странами, заинтересованными в участии в программе «Космическая станция» до тех пор, пока представители министерства не определят, в какой степени они сами могут использовать эту программу в собственных целях.

Из этого следует, что несмотря на всесторонний пересмотр программы «Спейс шаттл», за прошедший год мало что изменилось в НАСА. По-прежнему важная роль отводится пилотируемым космическим полетам, о чем свидетельствуют работы, на-

правленные на скорейшее возобновление полетов шаттла, а также конкретизация планов запуска космической станции. По всей вероятности, НАСА не располагает хорошо разработанной программой, которая определяла бы деятельность этого агентства в будущем. Некоторые наблюдатели считают, что такое состояние дел, а также увязывание планов НАСА с планами министерства обороны могут привести к дальнейшему сокращению программы научных космических исследований, которая уже была отложена на неопределенное время в связи с бюджетными ограничениями.

Признавая, что они удивлены требованием министерства обороны отложить обсуждения об участии других стран в программе «Космическая станция», представители НАСА заявляют, что они все же примут это требование. «Мы ведь тоже американцы, — говорит Г. Клементс — один из руководителей НАСА — Программа президента нацелена на мирное исследование космоса. Это не исключает выполнения исследований по заданию министерства обороны».

Даже Флетчер, заявляя о том, что министерство обороны не будет принимать участия в программе «Космическая станция», подчеркнул, что НАСА будет продолжать выполнять заказы военных. Он отметил, что министерство обороны «останется одним из главных заказчиков» при осуществлении программы «Спейс шаттл». Кроме запуска военных спутников, сказал Флетчер, эта программа обеспечит также возможность для проведения исследований по СОИ. Последние отчеты свидетельствуют о том, что внезапный интерес, проявленный министерством обороны к программе «Спейс шаттл», объясняется именно этим.

Все это вызвало острые дискуссии среди ученых, занимающихся исследованием космического пространства, многие из которых уже сейчас скептически относятся к тому, что запуск космической станции будет иметь большое научное значение. По словам Т. Донахью — председателя совета по космическим исследованиям Национальной академии наук США, «если в программе «Космическая станция» будут участвовать как невоенные, так и военные организации, то это приведет к конфликту. В случае же конфликта военные всегда выигрывают».

П. Бэнкс из Станфордского университета, который возглавляет комитет, информирующий НАСА о нуждах космических исследовательских центров, и выступает в защиту программы «Космическая станция», назвал проявление интереса военных к этой программе «весьма тревожным сигналом». Если они примут участие в программе «Космическая станция», заявил Бэнкс, то Япония сразу же выйдет из нее, а вслед за ней, возможно, и другие страны. «Успех этой программы определяется международным сотрудничеством, — добавляет он, — а не участием в ней военных».

Милитаризация программы «Космическая станция» может «опустошить» программу космических исследований, которая, по словам Флетчера, находится в критическом состоянии. В результате катастрофы с «Челленджером» отложен на пять или более лет запуск таких научных аппаратов, как «космический телескоп Хаббла», зонд «Галилей» (к Юпитеру), солнечный зонд «Улисс», а некоторые программы были попросту преданы забвению.

Донахью указывает на серьезную опасность того, что продолжающиеся «неполадки» в космической программе США могут привести к ослаблению интереса у выпускников уни-



КАТАСТРОФА С «ЧЕЛЛЕНДЖЕРОМ», происшедшая в январе прошлого года, нарушила выполнение программы космических исследований в США. На фотографии из отчета президентской комиссии по расследованию причин катастрофы виден левый стартовый двигатель, уносящийся от облака дыма вокруг разрушающегося корабля.

верситетов к астрономии и уменьшению числа ученых, занимающихся исследованием космоса. Многие ученые, в частности Дж. ван Аллен из Университета Айовы, считают, что НАСА следует направить свои усилия на создание ракет-носителей для запуска относительно дешевых автоматических научных аппаратов, а не на программы «Спейс шаттл» и «Космическая станция» (см. статью: Дж. А. ван Аллен. Космические исследования, космическая техника и космическая станция, «В мире науки», 1986, № 3).

Флетчер придерживается иного мнения: полеты автоматических аппаратов не вызывают достаточного интереса у людей и не обеспечивают необходимой поддержки планам НАСА. «К сожалению, средний американец предпочитает слышать об астронавтах, об участии людей в космических полетах.» Флетчер выразил желание помочь ученым, исследующим космос. По его словам, на их планах больше всего отразилась катастрофа с «Челленджером».

Для того чтобы вновь запускать аппараты для научных исследований, НАСА, как заявил Флетчер, намерено создать флот автоматических ракет, называемых ракетами одноразового применения, что явится альтернативой программе «Спейс шаттл». Решение, принятое НАСА в конце 70-х годов исключить из своих планов создание этих ракет с тем, чтобы сосредоточить все свои ресурсы на осуществление программы «Спейс шаттл», по мнению Флетчера, «было, вероятно, ошибочным».

Согласно Л. Маклукасу, бывшему министру ВВС США и советнику НАСА, который в настоящее время возглавляет консультативную фирму по вопросам аэрокосмических исследований, НАСА может не найти средств, необходимых для создания своего флота ракет одноразового применения. Он считает, что НАСА будет вынуждено использовать ракеты, построенные по заказу ВВС.

Дж. Браун — представитель комитета по науке и технике США — сомневается в том, что в настоящее время НАСА обладает большой «пробивной силой», чтобы начать строительство ракет одноразового применения. В этой связи Браун указывает на отсутствие должной поддержки со стороны правительства. Значительную часть вины за те трудности, с которыми НАСА недавно столкнулось в решении своих проблем, Браун возлагает на административные органы. Он считает, что управление по науке и технике, а также отдел управления и бюджета при Белом доме допустили

промедление и не оказали эффективной поддержки НАСА в представлении требований на строительство второго шаттла, ракет одноразового применения и космической станции, тогда как министерство обороны действовало «хитрее» и добилось поддержки своим программам.

Кроме проблем, связанных с участием военных в планах НАСА, ученые, занимающиеся исследованием космоса, вынуждены также выступать против участия НАСА в коммерческих программах. Несмотря на указание Рейгана, чтобы НАСА прекратило запуск коммерческих спутников, а также то, что на исследования и разработки по коммерческим программам будет выделено всего 27 млн. долл. (из бюджета НАСА), оно по-прежнему намерено осуществлять эти программы. Обработка материалов, отметил Флетчер, является «важной частью не только программы «Спейс шаттл», но и «Космическая станция». Это направление связано с научными исследованиями, однако его основная роль — в коммерческой области».

С этой точкой зрения согласны не все. Р. Фрош, бывший руководитель НАСА, а в настоящее время — вице-президент по научным исследованиям компании General Motors, считает, что «нереально ожидать коммерческих выгод от того, что еще не продемонстрировало свои возможности. Даже если окажется, что обработка материалов в космосе будет иметь определенное значение, я не уверен, что этого достаточно [для оправдания запуска космической станции]».

Т. Пейн — бывший руководитель НАСА, возглавлявший комитет, который весной прошлого года представил на рассмотрение «будущие направления» космической программы США, считает, что программу «Космическая станция» следует рассматривать как шаг на пути освоения человеком Солнечной системы. Эта точка зрения не встретила поддержки со стороны правительства. По мнению Пейна, без такой программы и ее достаточной финансовой поддержки НАСА неизбежно будет продолжать «снижаться по спирали». Ван Аллен и другие исследователи полагают, что НАСА следует принять менее грандиозную программу — такую, которая отвечала бы и нуждам космической науки. При замене «Челленджера» были бы также обеспечены необходимые начальные инвестиции.

В защиту животных?

ПОСЛЕ нескольких лет активных дебатов об охране животных их благополучие стало одним из вопро-

сов, к которому приковано внимание общественности. В сентябре прошлого года муниципальные власти Кембриджа (шт. Массачусетс) издали проект постановления о правилах проведения экспериментов с животными, после чего органы городского управления получили более 1000 писем. Проект предусматривает создание при муниципалитете специального комитета по контролю за всеми экспериментами с животными, проводимыми в пределах города, в том числе в лабораториях Гарвардского университета, Массачусетского технологического института (МТИ) и местных биотехнологических фирмах, в которых насчитывается более 50 тыс. животных. Решение о создании такого комитета будет принято после окончательного обсуждения проекта постановления членами городского совета. Многие люди сомневаются, что это постановление вступит в силу, но его проект вызвал волну возмущения среди исследователей как научных, так и корпоративных лабораторий.

Проект упомянутого постановления был составлен Кембриджским комитетом по контролю за особо важными исследованиями, недавно созданным по инициативе Г. Агхи из МТИ, специалиста в области искусственного интеллекта. Если постановление будет принято, то городские власти будут обязаны знакомиться со всеми протоколами экспериментов и планами проведения экспериментов с животными. Они также будут наделены полномочиями отменить любой эксперимент, в котором «животному причиняется боль при недостаточной анестезии».

Сторонники постановления, включая Массачусетское общество охраны животных, считают, что этот документ заполнит пробел в деле осуществления контроля за обращением с животными, предписываемого законодательствами федерального правительства и штата. Крысы и мыши, например, которые составляют 90% всех лабораторных животных в городе, не отвечают определению понятия «животные», которое дано министерством сельского хозяйства США. Даже противники постановления считают, что большинство инспектированных прежде всего связано с проверкой условий содержания животных, а не процедур, которым они подвергаются.

Те же, кто настроен критически, считают, что положения, содержащиеся в проекте постановления, допускают неоднозначность толкования и практически не всегда осуществимы. Как замечает один из административ-

ных работников Гарвардского университета, вновь предлагаемое определение понятия «животные» довольно расплывчато — его можно распространить и на дрозофил, и на морских слизней. Задержки в ознакомлении с протоколами могут сказаться на финансировании работ, проводимых в университетах, а такие задержки неизбежны: только у исследователей Гарвардского университета число протоколов составит около 2000. Не исключено также, что, диктуя свои правила проведения экспериментов, общественные организации будут нарушать процедуры, являющиеся «собственностью» лабораторий той или иной компании.

Существует также мнение, что в постановлении, в том виде как его предлагает Кембриджский комитет, вообще нет никакой необходимости. В 1985 г. Закон об охране животных был ужесточен и министерство здравоохранения и социального обеспечения потребовало, чтобы все научные организации, существующие на общественные средства, создали у себя комитеты по наблюдению за исследованиями, предполагающими проведение опытов над животными. В прошлом году Управление по научно-технической оценке составило доклад, в котором особо подчеркивается необходимость изыскания таких альтернативных методов исследования, которые исключали бы использование подопытных животных.

Все эти возражения свидетельствуют о том, что движение в защиту животных наталкивается на сопротивление. Многие ученые полагают, что основные проявления жестокого обращения с животными уже определены и уточнены. Проекту Кембриджского комитета, по их мнению, недостает убедительности, потому что он был составлен не из желания устранить какие-либо проявления плохого обращения с животными, а стремлением переложить надзор за экспериментами, связанными с проведением опытов над животными, на общественность. Эта тема получила столь широкую общественную огласку, что поставленная цель, можно сказать, уже достигнута.

Вулканическая зима

ОБРАЗЦЫ ЛЬДА, выбуренные с километровой глубины в Гренландии, годовые кольца деревьев из восточной Калифорнии и исторические документы Китая, Кореи и Древнего Рима — вот те свидетельства, благодаря которым группе исследователей удалось «воссоздать» климатические

эффекты выбросов в атмосферу огромных облаков пыли и пепла, происшедших более 2000 лет назад при извержениях вулкана Этна в Сицилии. Научные сотрудники Лаборатории реактивного движения астроном К. Панг и вулканолог Д. Пайери и профессор восточноазиатских языков и культур Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе Хунцзян Чу доложили о результатах своей работы на одном из последних заседаний Американского геофизического союза.

Колонки гренландского льда имеют слоистый вид: каждый год новый слой снега накладывается на предыдущий. Число слоев в образце керна можно подсчитать, поскольку химический состав атмосферного воздуха (а следовательно, и поверхности снежного покрова) изменяется периодически от сезона к сезону. Извержения Этны отразились в виде пиков содержания кислоты в этих слоях, так как выброшенный диоксид серы, соединившись с атмосферной влагой, образовал серную кислоту. Образцы керна льда показывают, что примерно с 50 по 40 г. до н.э. вулкан извергался три раза. Годовые кольца 5000-летних остистых сосен из Калифорнии свидетельствуют о том, что примерно в 42 г. до н.э. деревья сильно пострадали от мороза (вероятно, из-за холодов, которые наступили, когда облако вулканического пепла закрыло солнце).

Китайские, римские и корейские исторические источники позволяют более точно датировать эти события. Некоторые римские историки рассматривали извержения и их последствия как указания на то, что убийство Юлия Цезаря было неугодно богам. По словам Плутарха, после смерти Цезаря происходили землетрясения и наблюдалось «ослабление солнечного света. Ибо весь тот год солнечный свет был бледным, солнце восходило тусклым и давало мало тепла». Следовательно, облако пепла должно было образоваться после убийства Цезаря, произошедшего 15 марта 44 г. до н.э. В других римских документах упоминается красная комета, которая появилась позднее в том же году в северо-западной части неба и была настолько яркой, что ее можно было видеть даже днем. Согласно записи, сделанной Дио Кассием в III в. н.э., «большинство... связывают это с Цезарем, объясняя, что он стал богом». В сочинениях китайских и корейских историков видимая днем красная комета, появившаяся на северо-западе, упоминается в мае и июне 44 г. до н.э. Цвет кометы мог быть связан с присутствием в атмосфере вулканической пы-

ли. Таким образом, первое извержение должно было произойти между серединой марта и серединой мая 44 г. до н.э.

Климатические последствия извержений вулкана были столь серьезны, что даже в такой далекой стране, как Китай, сильно пострадали подряд шесть урожаев зерновых (урожай трех лет). Как показывают бухгалтерские записи на бамбуковых палочках, недавно найденных при раскопках, в отдельных районах между 44 и 42 гг. до н.э. цены на зерно подскочили на 1400%. В хрониках династии Хань упоминается, что в апреле 43 г. до н.э. «шел снег. Тутовые деревья погибли от мороза». В мае «солнце было бледно-голубым и не создавало теней».

Исторические записи подтверждают, что отмеченные эффекты были обусловлены несколькими отдельными извержениями. В хрониках династии Хань говорится, что к октябрю 43 г. до н.э. солнце, по-видимому, приобрело прежний вид, но весной 42 г. солнце, луна и звезды выглядели «неотчетливо и были как бы скрыты дымкой». Пытаясь согласовать подобные исторические данные с повышениями и понижениями кислотности в ледяном керне, исследователи упоминают явление, которое они называют «пропавшим летом»: между максимумами содержания кислоты, соответствующими двум извержениям, которые, согласно историческим свидетельствам, были разделены примерно годом (в мае 43 г. и марте 42 г. до н.э.), в образцах льда не наблюдается никаких «следов» лета (т.е. никаких характерных для летнего времени изменений в химическом составе атмосферы).

Загадки земного ядра

О ЯДРЕ Земли известно лишь то, что оно содержит твердую сердцевину и жидкую внешнюю оболочку, причем и та, и другая состоят в основном из железа. Все то немногое, что мы знаем, собрано по крохам косвенным путем — в результате изучения сейсмических волн, которые отражаются от поверхности земного ядра или проходят сквозь него. Опираясь на разработанный в медицинской диагностике метод компьютерной томографии, геологи нашли более плодотворный путь расшифровки таких данных. Этот путь позволяет выявить более тонкие особенности строения ядра. Новые сведения, очевидно, будут представлять интерес и для других областей геофизики.

На начальном этапе томографических исследований были получены

первые топографические карты поверхности, разделяющей земное ядро и окружающую его мантию. Эти карты, построенные исследователями из Калифорнийского технологического института, Гарвардского университета и Массачусетского технологического института, наводят на мысль, что ядро не является гладким эллипсоидом и что на его поверхности имеются занимающие большую площадь возвышения с высотой около 5—10 км и столь же обширные депрессии.

Метод компьютерной томографии позволяет получить эти и другие результаты путем анализа времен пробега сейсмических волн от очагов землетрясений, находящихся на одной стороне планеты, до сейсмографов, установленных на другой ее стороне. Например, время пробега продольной волны, отразившейся от ядра (волны *PcP*), будет меньше ожидаемого, если волне случится попасть на возвышение на поверхности ядра. С другой стороны, у волны, проникающей во внешнее ядро (волны *PKP*), время пробега будет больше, если она упадет на такое возвышение, так как в этом случае ей придется пройти более длинный путь по ядру, где сейсмические волны распространяются медленнее, чем в твердой мантии. Чтобы выявить те элементы структуры, которые ускоряют или замедляют сейсмические волны, нужно проанализи-

ровать тысячи перекрещивающихся волновых траекторий.

Интерпретировать получаемые результаты далеко не просто. Волна *PKP* может замедлиться, попав, например, на выпуклость поверхности ядра; большее время ей может потребоваться и на прохождение некоторой более разогретой (а значит, более мягкой), чем обычно, области мантии либо области мантии или ядра, слегка отличной по химическому составу от окружающего вещества. Различить эти эффекты весьма трудно. Следует сказать и о том, что разные исследователи имеют дело со своими наборами данных. Отсюда ясно, почему различные топографические карты неизменно указывают на существование неровностей поверхности ядра, хотя точное расположение этих неровностей определяется по-разному.

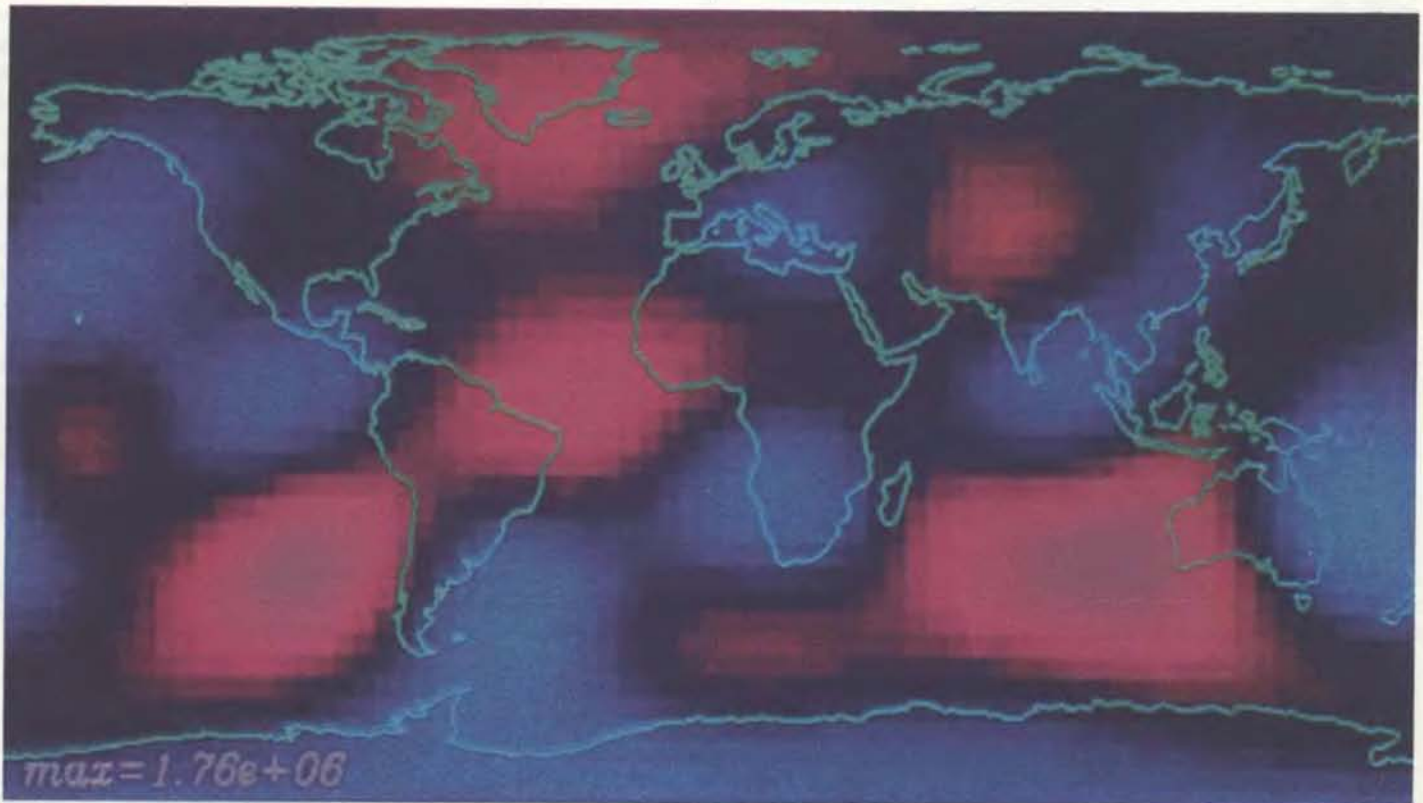
По мнению А. Дзевонского из Гарвардского университета, наличие на границе раздела мантии и ядра каких-либо неоднородностей рельефа непосредственно связано с рядом фундаментальных вопросов геофизики. По видимому, шероховатая граница должна создавать возмущения потока жидкого железа, текущего во внешнем ядре, точно так же, как горы влияют на ветры, дующие над ними. Считается, что течения во внешнем ядре генерируют магнитное поле Земли. Следовательно, чтобы понять меха-

низм геомагнитного динамо и его многочисленные флуктуации (например, перемещение северного магнитного полюса), нужно, вероятно, иметь детальную карту рельефа поверхности земного ядра.

Наличие такого рельефа должно оказывать определенное влияние и на поток энергии внутри Земли. Факт шероховатости границы между ядром и мантией наводит на мысль, что при работе земного динамо расходуется большое количество энергии, а также что большое количество энергии уходит из ядра в виде тепла. Это в свою очередь может означать, что движущей силой для медленной конвективной циркуляции мантийного вещества, которая, как считается, вызывает движение литосферных плит на земной поверхности, служит главным образом тепло, выделяющееся из ядра.

Зондирование вечной мерзлоты

С ОГЛАСНО гипотезе парникового эффекта увеличение содержания в земной атмосфере диоксида углерода и других побочных продуктов промышленного производства приводит к нагреву атмосферы. Однако подтвердить эту гипотезу мешает недостаточная надежность исторических



ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ КАРТА поверхности земного ядра была получена методом сейсмической томографии Р. Клейтоном и его коллегами из Калифорнийского технологиче-

ского института. Красным цветом показаны возвышения на поверхности ядра, синим — понижения. Отклонения от среднего уровня достигают 10 км.



ЗАБРОШЕННАЯ НЕФТЯНАЯ СКВАЖИНА на северном склоне Аляскинского хребта, в которой можно проводить измерения температуры в многолетнемерзлом грунте. Геофизики заполняют скважины дизельным топливом и опускают в них датчики.

сведений о температуре воздуха. В последнее время двое исследователей, работая в Геологической службе США, получили данные, которые могут свидетельствовать о глобальном потеплении в слое вечной мерзлоты на северной Аляске.

Многолетнемерзлый грунт является прекрасной средой для регистрации колебаний температуры на земной поверхности. Углубляясь в него, мы как бы идем и в глубь «термической истории». Вода не просачивается сквозь замерзший грунт и это облегчает вычисление скорости проникновения в него тепла.

Опуская термометры в несколько десятков заброшенных нефтеразведочных скважин на северном склоне Аляскинского хребта, А. Лахенбрух и Б. Маршалл обнаружили, что за последние 100 лет многолетнемерзлые породы нагрелись на целых 4 °С. В заметке в журнале «Science» авторы высказывают предположение, что, хотя этот разогрев мог быть лишь локальным явлением, не исключено, что его можно считать предвестником парникового эффекта.

Данные о распределении температуры земной поверхности в прошлом веке, хотя и недостаточно полные, указывают на потепление примерно на 0,5 °С. Согласно Лахенбруху, это глобальное потепление должно быть

особенно ярко выражено на полюсах благодаря различным проявлениям «положительной обратной связи». Например, когда снег тает под действием солнечных лучей, обнажающийся темный грунт поглощает больше тепла, что вызывает дополнительное таяние снега и прогревание почвы. Кроме того, вследствие медленной конвекции арктического воздуха относительно теплый воздух удерживается вблизи поверхности земли.

Воздавая должное изучению вечной мерзлоты, другие специалисты по геологии Арктики в то же время предупреждают, что полученные данные не могут служить убедительным доказательством потепления Арктики, не говоря уже о Земле в целом. Т. Остеркамп из Геофизического института Аляскинского университета замечает, что в записях температуры в Арктике «довольно много "белых пятен"», но что такие записи могли бы подтвердить выводы Лахенбруха и Маршалла, а также помочь установить более точную связь между изменениями температуры на земной поверхности и внутри слоя вечной мерзлоты.

Остеркамп считает доводы в пользу длительного потепления вечной мерзлоты «серьезными», но обращает внимание, что результаты его собственных исследований указывают на

недавнее похолодание. Работая с шурфами, пробуренными специально для регистрации температуры в многолетнемерзлом грунте, он обнаружил, в частности, вблизи побережья Аляски следы похолодания почти на 1 °С за последние три года. Остеркамп высказывает предположение, что недавнее похолодание могло быть вызвано уменьшением толщины снежного покрова, изолирующего поверхность земли. Однако, подчеркивает Остеркамп, его данные демонстрируют, что «все происходит по-разному».

Г. Веллер, также из Геофизического института, предполагает, что парниковый эффект может даже нейтрализовываться приближающимся похолоданием климата. Замечая, что последний ледниковый период закончился приблизительно 12 000 лет назад, Веллер говорит: «Мы стоим на пороге изменений в сторону более холодного климата».

Часы займы

ВО ВЗРОСЛОМ организме нейроны центральной нервной системы не восстанавливаются. Поэтому нарушение неврологических функций, что часто бывает после ушибов, травм спинного и головного мозга, а также некоторых болезней, приводящих к разрушению нервных клеток, обычно необратимо. Сейчас появилась надежда, что такие случаи станут возможным излечивать. Получены данные, свидетельствующие, что по крайней мере одна существенная функция — регуляция циркадианных (околосуточных) ритмов организма — может быть восстановлена с помощью нейротрансплантации, т. е. пересадки нервной ткани.

На ежегодном съезде нейробиологического общества было представлено сообщение исследователей из Барнард-колледжа, Медицинского колледжа университета в Цинциннати, Медицинской школы Маунт-Синай и Массачусетского университета в Амхерсте, которые изучали у хомяков две группы клеток мозга, играющих роль биологических часов. Эти клетки расположены в гипоталамусе; они составляют так называемое супрахиазматическое ядро. Их деятельность побуждает просыпаться, есть и осуществлять другие жизненные функции в соответствующее время 24-часового периода даже в отсутствие нормального чередования света и темноты. Животные, у которых повреждена эта область мозга, теряют способность поддерживать свой циркадианный ритм; у людей в такой ситуации развивается хроническая бес-

сонница и другие нарушения. Когда у взрослых хомяков хирургически разрушали супрахиазматические ядра и помещали этих животных в темноту, они проявляли двигательную активность (бегали в специальном колесе, установленном в клетке) в случайные отрезки времени. Когда же им пересадили супрахиазматические ядра, выделенные из эмбрионов хомяков, то у 10 из 14 животных восстановился суточный ритм двигательной активности.

Самое интересное, что после имплантации в реципиентном мозгу наблюдался рост новой нервной ткани, и это явно имело значение для восстановления циркадианного ритма. Со временем аксоны (длинные отростки) нервных клеток трансплантата распространялись за его пределы. У некоторых хомяков отмечался также рост аксонов от сетчатки к трансплантату.

В дальнейшем исследователи намерены установить механизм действия биологических часов и понять, каким образом информация, поступающая от супрахиазматических ядер, приводится в соответствие с сигналами, получаемыми организмом из окружающей среды. Дискомфорт при пересечении часовых поясов — следствие временного «конфликта» между ритмом биологических часов и измененным циклом чередования света и темноты; супрахиазматические ядра, которые имеют вход от оптического нерва, могут только постепенно приспособить внутренний режим организма к новому циклу.

Фундаментальное значение таких экспериментов состоит в том, что они должны приблизить понимание взаимодействия поврежденного мозга с пересаженной в него нервной тканью. Эти знания очень важны, в частности, для лечения болезней Альцгеймера и Паркинсона. В настоящее время их пытаются лечить с помощью нейротрансплантации. «Если мы узнаем, как восстанавливается одна система, — заметил Р. Силвер из Барнарда-колледжа, — это поможет нам понять и другие системы».

Протезы для слепых

ИССЛЕДОВАТЕЛИ из Национального института неврологических заболеваний, избегая огласки, начали эксперименты на добровольцах с целью изучить возникновение зрительных ощущений при электрической стимуляции мозга. Ф. Хамбрехт, руководящий программой по протезированию нервной системы, сообщил, что уже проведено два экспери-

мента (в июле и декабре 1986 г.), в которых участвовали пациенты клиники Университета Западного Онтарио. Испытуемые были зрячими; они подвергались хирургической операции на мозге под местной анестезией. В ходе операции в отдел мозга, называемый зрительной корой, вводились микроэлектроды, с помощью которых стимулировались различные области коры, и испытуемый сообщал, в каком месте размеченного экрана, расположенного перед ним, он видит световые пятна. Эти эксперименты представляют собой по существу возобновление спорных исследований, начатых около 20 лет назад Дж. Бриндли из Кембриджского университета. Он вскрыл череп слепого добровольца и поместил на его мозг «шапочку» с 80 электродами. Пучок проводов от электродов выходил через отверстие в черепе и соединялся с другой «шапочкой», усеянной 80 миниатюрными радиоприемниками; поверх подшивался скальп. Когда на электроды подавались электрические импульсы, пациенту казалось, что он видит белые пятна света. За этой первой попыткой вызвать зрительное ощущение с помощью электричества последовали подобные эксперименты в целом ряде научных учреждений. Такие исследования велись около 10 лет. Затем, как говорит Хамбрехт, исследовательские группы, озабоченные несоответствием между скромными экспериментальными результатами и пристальным вниманием общественности, воспринимавшей их как сенсацию, «утратили энтузиазм». «Воцарился скепсис», — вспоминает он.

По мнению Хамбрехта, основное различие между нынешними экспериментами и опытом Бриндли заключается в том, что используемые теперь электроды примерно в 100 раз меньше. У пациента Бриндли относительно большие плоские электроды были размещены на поверхности мозга и, чтобы вызвать зрительные ощущения, требовалась мощная стимуляция. Новые электроды тоньше человеческого волоса и их можно вводить непосредственно в кору, вплотную к определенным нервным клеткам, поэтому нужны гораздо менее мощные стимулы. Более тонкие электроды, кроме того, можно располагать ближе друг к другу, не опасаясь слияния отвечающих им отдельных световых пятен. Прежние электроды, как замечает Хамбрехт, вызывали значительно перекрывающиеся ощущения.

Если результаты последней серии экспериментов окажутся благоприятными, исследователи начнут долгосрочную проверку имплантированных электродов у слепых пациентов.

Хамбрехт подчеркивает, что их работа носит «сугубо предварительный характер» и что еще слишком рано говорить, реально ли такое протезирование зрительной системы.

Алкоголь и аварии

НЕДАВНО в порядке эксперимента десять летчиков морской авиации в течение двух часов потребляли столовые безалкогольные напитки с подмешанным к ним чистым алкоголем. Эксперимент прекратили, когда представители патрульной дорожной службы нескольких штатов сочли их опьяневшими по принятому критерию, т. е. в 1 дл крови испытуемых содержалось 0,1 г алкоголя. Спустя 14 ч алкоголь (в количестве, эквивалентном его содержанию в 5—7 стаканах вина) был выведен из крови испытуемых. Чувствуя себя вполне готовыми к полету, летчики сели перед пультом летного имитатора с элементами управления, такими же как в кабине противолодочного самолета «Р—3С Orion» с четырьмя двигателями, на которых обычно летали эти летчики. Как же они справились с задачей?

Нельзя сказать, что успешно. Почти по всем показателям, которыми оценивалась правильность действия летчиков, они оперировали органами управления взлета и посадки самолета в аварийной ситуации менее эффективно, чем спустя 48 ч после принятия алкоголя. Мощность двух двигателей на одной стороне самолета снизилась, что затрудняло устранение его углового перемещения вокруг вертикальной оси (рыскания). Действия летчиков оценивались по степени отклонения самолета от прямого курса.

Описываемый эксперимент провели сотрудники медицинской школы при Станфордском университете Дж. Йесавадж и фон Отто Лейрер. Они пришли к выводу, что «эффект похмелья» может существенно влиять на «способность летчика выполнять ответственные летные маневры» даже спустя 14 ч после приема алкоголя. Эта точка зрения противоречит мнению самих пилотов, которые, как показало исследование, полагают, что и через 4 ч после принятия алкоголя можно совершать полет, ни за что не опасаясь. Результаты исследования доказывают, что субъективные чувства обманчивы и специалист не должен полагаться на них при оценке своей способности после принятия алкоголя выполнить сложную профессиональную задачу, какой является управление самолетом в воздухе, наземной технической установкой или

даже легковым автомобилем при сильном ветре.

Что же касается того, как принятие алкоголя может ухудшить исполнение профессиональных функций даже после его исчезновения из крови, то на этот вопрос ясного ответа пока нет. Тем не менее Йесавадж и Лейрер указывают, что алкоголь может временно ухудшить «рабочую» память и как следствие способность удерживать внимание на нескольких одновременно выполняемых задачах. Он также снижает способность выполнять непривычные операции. Обе эти способности играют исключительно важную роль в поведении летчика в экстремальных ситуациях.

Ученые подчеркивают, что их выводы следует рассматривать как предварительные; в настоящее время они проводят рассчитанное на 4 года исследование по выявлению степени и характера влияния таких факторов, как возраст, усталость и общее состояние здоровья летчика на последствия употребления различных доз алкоголя. Пока, как говорят ученые, рано настаивать на том, чтобы существующие правила относительно принятия алкогольных напитков летчиками, введенные Федеральным управлением гражданской авиации (ФУГА), были изменены. В соответствии с этими правилами летчики должны воздерживаться от употребления алкогольных напитков по меньшей мере за 8 ч до полета. (Коммерческие авиалинии и военные службы стремятся ввести более строгие правила.) Кроме того, они запрещают допуск летчика к работе, если содержание алкоголя в его крови равно или больше 0,04 г/дл.

Тем временем ФУГА уже рассматривает вопрос об ужесточении существующих правил и собирается ввести выборочную проверку летчиков на содержание алкоголя. На просьбу прокомментировать предполагаемые к введению меры представители администрации управления сообщили, что из 5853 летчиков, погибших в результате несчастных случаев в период с 1968 по 1985 г., у 7,5% уровень алкоголя в крови превышал 0,04 г/дл. Однако и ФУГА, и Ассоциация пилотов гражданских авиалиний указывают, что ни одна из воздушных аварий со случаями смертельного исхода, имевших место во время рейсовых полетов на главной коммерческой авиалинии США, не считалась как следствие того, что пилот злоупотреблял алкоголем.

Результаты другого исследования, выполненного М. Мур-Эдом из Медицинской школы Гарвардского университета, показали, что летчики, работающие на коммерческих авиали-

ниях, часто страдают повышенной сонливостью и иногда до такой степени, что вываливаются из открытой кабины. Известны даже такие случаи, когда в самолете, управляемом автопилотом, засыпали все члены экипажа.

Ловкая подделка

К ЧИСЛУ ФАКТОРОВ, способствующих развитию ишемической болезни сердца, относится высокий уровень холестерина в крови. Уже 30 лет известно, что тироидные гормоны (гормоны щитовидной железы), стимулируя функции печени, уменьшают количество циркулирующего в крови холестерина. Однако попытки лечить ишемическую болезнь при помощи агентов, имитирующих действие тироидных гормонов, зашли в тупик из-за того, что такие вещества увеличивают частоту сердечных сокращений.

Сотрудники компании Smith Kline and French Research, Ltd. (Великобритания) А. Андервуд и его коллеги нашли решение этой проблемы. Они разработали препарат, воспроизводящий эффект гормонов щитовидной железы по отношению к уровню холестерина, но не вызывающий учащения сердечных сокращений. О своих результатах исследователи сообщили в журнале «Nature». За основу они взяли тироидный гормон, обозначаемый T_3 , о котором известно, что он влияет на сердце и печень. Химическую структуру этого вещества подвергли ряду последовательных небольших изменений. На каждом этапе в опытах на животных проверялось, как данное изменение сказывается на действии гормонов. Одно из полученных соединений, обозначенное SK&F L-94901, так же эффективно, как T_3 , стимулировало деятельность печени и понижало уровень холестерина в крови, однако на сердце оно влияло в 1000 раз слабее, чем исходный гормон.

Печень — основное место поглощения липопротеинов низкой плотности (ЛНП), в форме которых холестерол переносится с кровью. Тироидные гормоны и имитирующие их вещества вызывают увеличение количества рецепторов для ЛНП на поверхности клеток печени и таким образом ускоряют переход частиц ЛНП через клеточную мембрану. Попав внутрь клетки, ЛНП разрушаются. Число рецепторов ЛНП на поверхности клетки зависит от интенсивности связывания молекул тироидного гормона с его рецептором в ядре клетки. К несчастью, у сердечных клеток рецепторы для тироидных гормонов очень

похожи на аналогичные рецепторы печеночных клеток. Поэтому при введении тироидного гормона не только усиливается разрушение ЛНП, но и увеличивается сердечный выброс, что далеко не желательно для страдающих ишемической болезнью сердца.

По мнению Андервуда, сейчас интерес вызывает не столько возможность применения SK&F L-94901 в лечебных целях, сколько тот факт, что влияние этого аналога тироидного гормона на печень и на сердце различно. В экспериментах с культивируемыми клетками сердца и печени препарат не проявлял тканеспецифичности, но в опытах на животных различия в связывании SK&F L-94901 между печенью и сердцем была весьма значительной. Такая избирательность указывает, что сродство рецепторов к тироидным гормонам не лимитирует эффективности действия имитирующего их агента и что более существенны факторы, регулирующие поступление агента внутрь клеток. Андервуд полагает, что полученные данные свидетельствуют в пользу ранее высказывавшейся гипотезы о наличии в печени особого «ядерного насоса» — концентрирующего механизма, обеспечивающего проникновение тироидных гормонов в печеночные клетки. Этим можно было бы объяснить избирательность SK&F L-94901 in vivo.

Топливные элементы с твердым электролитом

ПО МНЕНИЮ специалистов Аргоннской национальной лаборатории, разрабатываемый ими топливный элемент можно будет использовать в качестве источников тока для двигателей электромобилей и самолетов, а также в качестве высокоэффективных стационарных источников электроэнергии.

Топливные элементы представляют собой источники тока, работающие на водородсодержащих топливах. Считают, что из-за высокой стоимости и большого веса их применение ограничено. Разрабатываемые в Аргоннской лаборатории топливные элементы изготавливаются из недорогих материалов и обеспечивают плотность тока 2,2 А/см². Представители лаборатории считают, что по этому показателю они почти в 2 раза превосходят лучшие из известных топливных элементов. Опытный образец такого топливного элемента имеет размеры спичечной коробочки и дает электрическую мощность несколько ватт. Д. Фи, руководитель работ, утверждает, что на основе таких элементов можно создать источник тока мощ-

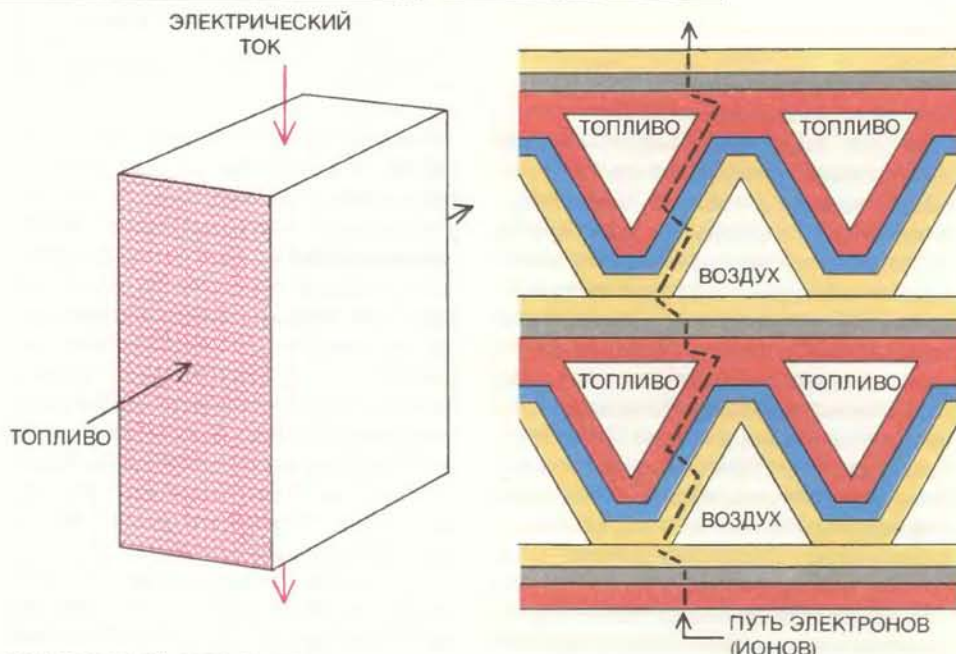
ностью несколько мегаватт, который будет иметь такой же коэффициент полезного действия.

Этот компактный топливный элемент состоит из слоев твердого электролита (неметаллического материала с ионной проводимостью), покрытых с обеих сторон электропроводной керамикой (одна сторона является анодом, а другая — катодом). Слои соединены вместе так, что получается конструкция, напоминающая гофрированный картон. Воздух и топливо поступают в «каналы», соприкасающиеся соответственно с анодом и катодом. На катоде происходит ионизация кислорода воздуха, при этом ионы кислорода проходят через перегородку из электролита и смешиваются с топливом, испарившимся в нагретом до высокой температуры (760—980 °С) элементе. Водород топлива реагирует с ионами кислорода, образуемая вода удаляется в выхлопную систему, а свободные электроны создают ток через анод.

В качестве электролита используется диоксид циркония (ZrO_2), стабилизированный оксидом иттрия (Yt_2O_3). Этот материал применяется в автомобильной промышленности при изготовлении датчиков кислорода, которыми оснащаются приборы для контроля загрязнения окружающей среды. Стоимость исходных материалов, из которых изготавливается топливный элемент, составляет 2,5 долл. в расчете на 1 кВт мощности; для топливных элементов других типов стоимость исходных материалов составляет 70—80 долл. на 1 кВт мощности.

«Нам хотелось бы создать агрегат, который мог бы составить серьезную конкуренцию двигателям внутреннего сгорания и таким образом добиться снижения импорта нефти», — сказал Д. Фи. По его мнению, эти топливные элементы прежде всего будут применяться в сетях коммунального энергоснабжения. По оценкам кпд электрохимического генератора мощностью 50 кВт с такими топливными элементами будет в 2 раза больше, чем у обычного генератора с двигателем внутреннего сгорания. Для создания такого электрохимического генератора потребуется от трех до пяти лет.

М. Уоршей, руководитель программ НАСА по созданию топливных элементов, считает, что разрабатываемые Аргоннской лабораторией топливные элементы можно будет использовать для крупных наземных объектов, например для автобусов и электростанций. Но он не верит в то, что эти элементы могут заменить двигатели внутреннего сгорания на



ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ, созданный в Аргоннской национальной лаборатории, состоит из «гофрированных» слоев электролита (показаны голубым цветом), покрытых с обеих сторон электропроводными слоями. Один слой электропроводного материала (желтый) служит катодом, а другой (красный) — анодом. Между слоями электролита расположены электропроводные слои (показаны серым цветом). Кислород в заряженных катодных каналах ионизуется, ионы кислорода проходят через электролит и реагируют с водородом в топливных каналах. Высвобождающиеся в результате этой реакции электроны проходят через электропроводный слой к следующему катодному слою и т. д.

автомобилях. Э. Гиллис из Исследовательского института электроэнергетики, занимающегося проблемами развития сетей коммунального энергоснабжения, высказывается еще более пессимистично. Он отмечает, что во многих сетях коммунального энергоснабжения уже используются электрохимические генераторы с топливными элементами другого типа. По его словам, секретность работ, проводимых в Аргоннской лаборатории, не позволяет представителям частных фирм изучить возможности этих топливных элементов.

Д. Фи сказал, что программа работ по созданию топливных элементов не является секретной, однако давать сведения о них можно только те, которые разрешают представители организации-заказчика. Работы, выполняемые в Аргоннской лаборатории, финансируются министерством энергетики, однако заказчиком программы по топливным элементам является министерство обороны. Эти топливные элементы предназначены для систем электропитания крылатых ракет, высотных беспилотных самолетов, разрабатываемого «национального космического самолета» военного назначения и для перспективного космического транспортного корабля.

Министерству энергетики принадлежат все патенты на разрабатываемые топливные элементы. Однако в

настоящее время министерство передает права на эти патенты коммерческому отделу Чикагского университета, осуществляющего руководство работами, проводимыми в Аргоннской лаборатории для министерства энергетики. Д. Фи сообщил, что через год Чикагский университет сможет продавать лицензии компаниям, которые заинтересуются перспективами использования таких топливных элементов.

AIDS: надежды и опасения

ИССЛЕДОВАТЕЛИ, занимающиеся синдромом приобретенного иммунного дефицита (AIDS), делают открытия чуть ли не ежедневно. Новые данные вызывают противоречивые чувства. С одной стороны, опубликован ряд сообщений, из которых следует, что в скором времени появятся, наконец, лечебные препараты и вакцина против AIDS. С другой стороны, есть основания опасаться, что болезнь раскрыла еще не все свои карты.

Группа исследователей из Национального института рака, руководимая Р. Галло, совместно с сотрудниками фирмы Repligen Corporation (Кембридж, шт. Массачусетс) выделили фрагмент белка вируса, вызывающего AIDS, и показали, что он спо-

собен стимулировать образование антител. Этот белковый фрагмент может служить вакциной; его действие проверялось на шимпанзе.

Другая исследовательская группа, из Калифорнийского университета в Сан-Франциско, сделала открытие, ведущее к разработке лечебного средства для людей, уже зараженных вирусом. У трех человек, у которых кровь при проверке на присутствие антител дала положительную реакцию, но симптомы заболевания еще не проявились, были обнаружены Т8-лимфоциты (один из видов белых клеток крови), которые, видимо, подавляли размножение вируса AIDS. Авторы этой работы считают, что культивируемые Т8-клетки могут служить для лечения носителей вируса.

В Национальном институте психического здоровья делаются попытки воспользоваться свойствами поверхностных молекул вируса, которыми он связывается с соответствующими рецепторами на заражаемых клетках. Обнаружено, что цепочка аминокислот, названная пептидом Т, которая похожа на связывающуюся с клеткой молекулу вируса AIDS, может предотвращать проникновение вирусных частиц внутрь клеток, так как блокирует клеточные рецепторы. Правда, эти данные пока не получили независимого подтверждения. Испытания препарата, основанного на пептиде Т, должны начаться в этом году.

Пожалуй, наиболее сильное впечатление производит сообщение о возможном средстве лечения, поступившее из Заира, где сотрудники Киншаского и Парижского университетов вводили еще не заболевшим носителям вируса препарат, который, судя по результатам, предотвращает развитие заболевания. Природа действующего начала препарата в точности не установлена. Сообщается, что это, по-видимому, белковый фрагмент и что он стимулирует образование лимфоцитов, убивающих вирус AIDS. Если предварительные испытания окажутся успешными, программа этих исследований будет расширена.

Специалисты предупреждают, что не следует успокаивать себя достигнутым. Общепринятые теории AIDS несовершенны. Например, считалось, что вирус проникает в организм только через кровь (в том числе при половом контакте). Но исследования *in vitro*, проведенные в Национальном институте аллергии и инфекционных заболеваний, свидетельствуют, что при половом сношении через задний проход вирус, скорее всего, заражает клетки непосредственно, а не попадает сначала в кровь, пользуясь повреждениями эпителия прямой кишки.

Клетки этого эпителия, по-видимому, имеют рецепторы, подобные рецепторам Т4-клеток, атакуемых вирусом AIDS.

Только ли один вирус вызывает AIDS? В исследовательской группе, руководимой Л. Монтанье из Пастеровского института в Париже, выделили ретровирус, который, видимо, вызывает симптомы AIDS у жителей Западной Африки. Этот вирус отличается от первоначально идентифицированного инфекционного агента AIDS настолько, что не выявляется стандартными методами. В свете существования нового вируса более весомыми выглядят опасения, что будет очень трудно получить универсальную вакцину.

Тревожная нота прозвучала в сообщении М. Уайтсайда — одного из директоров Института тропической медицины в Майами. На основании наблюдений, которые велись на протяжении пяти лет в Белл-Глейд (шт. Флорида), где зарегистрирована самая высокая в США смертность от AIDS, он пришел к выводу, что факторы внешней среды, в том числе наличие насекомых-переносчиков, играют в передаче инфекции более значительную роль, чем полагали ранее. Сейчас начинают изучать возможное участие насекомых в распространении AIDS.

Новый метод

ГЕННАЯ инженерия в практическом применении совершила скачок от клиники к пивоварению. Список продукции, получаемой методами рекомбинантных ДНК, в который входят инсулин, гормон роста и вакцина против гепатита, возможно, вскоре пополнится менее изысканным продуктом — низкокалорийным пивом. В настоящее время идут испытания клеток дрожжей, позволяющих производить «легкое» пиво без дорогостоящих добавок или трудоемких изменений в обработке ячменя.

Исходным сырьем в пивоварении служит ячмень, а его главный компонент — это крахмал, который высококалориен. В процессе получения солода до 75% крахмала превращается в сахар, затем дрожжи сбрасывают сахар в спирт. В обычном пиве около трети калорий приходится на остаточный крахмал, не расщепленный до сахаров. Чтобы получить легкое пиво, избыток крахмала нужно удалить. Для этого либо увеличивают время получения солода, либо добавляют ферменты, расщепляющие крахмал. В результате в спирт превращается еще 15% крахмала; затем напиток

разбавляют до крепости обычного пива.

Исследователи из BioTechnica International, Inc., выделили из обычного промышленного штамма бактерий ген, который кодирует фермент, расщепляющий крахмал, и встроили его в ДНК пивных дрожжей. Такие дрожжи способны перерабатывать избыточный крахмал «своими силами», поэтому отпадает необходимость в добавлении ферментов или длительном солодовании. Этот результат можно сравнить с выведением породы коров, дающих снятое молоко. Однако получаемое таким способом пиво по-прежнему необходимо разбавлять. Как утверждают сотрудники BioTechnica, новый штамм дрожжей позволяет достичь той же эффективности переработки, что и добавление ферментов.

Тем не менее штаммы, сконструированные методами генной инженерии, достигнут производства не раньше чем через пять лет. В США внедрение пищевых продуктов, получаемых с помощью методов генной инженерии, сталкивается с неустойчивой конъюнктурой; большая часть прецедентов — разработки медицинских исследований. Поэтому новая биотехнологическая компания, в намерения которой не входит выпуск собственного сорта пива, может столкнуться с трудностями при попытке найти для «химерных» микроорганизмов потребителя в богатой традициями пивоваренной промышленности.

В судьбе нового штамма дрожжей ключевым может оказаться и субъективный фактор. В январе текущего года в Научно-исследовательском фонде пивоварения (графство Суррей, Великобритания) эксперты намеревались дегустировать пиво компании BioTechnica. Успех нового штамма, вероятно, зависит от того, насколько получаемое при его участии пиво соответствует вкусам любителей этого напитка.

Осторожно: лекарства!

РАЗНООБРАЗИЕ существующих ныне фармацевтических препаратов — мощное оружие. Врачи получили в свои руки средства для борьбы с самыми различными болезнями. Но в то же время растет число сообщений о побочных психотропных эффектах многих лекарств — от эйфории до глубоких психозов. Журнал «The Medical Letter on Drugs and Therapeutics», издаваемый в Нью-Рошелле (шт. Нью-Йорк), опубликовал недавно список препаратов, обладающих такими эффектами; он включает 103 наименования. Правда, действие не-

которых из них проявляется довольно редко. Неудивительно, что в число этих лекарств входят такие мощные психотропные вещества, как амфетамины и барбитураты. Однако в него попали и многие противовоспалительные и противозачаточные препараты, антибиотики, лекарства, понижающие давление, и даже средства от насморка.

Аналогичный список, опубликованный этим журналом в 1984 г., содержал всего 81 название. Отражает ли увеличение списка усугубление проблемы? «Вовсе нет», — считает Г. Ней из Колледжа терапии и хирургии Колумбийского университета. С его точки зрения дело объясняется тем, что врачи только недавно осознали серьезность опасности, стали правильнее оценивать реакции пациентов на прием препаратов и сообщать о них в научной печати.

Тем не менее, по мнению С. Химана из Массачусетской больницы, и сейчас психические симптомы, вызываемые приемом лекарств, диагностируются неадекватно «гораздо чаще, чем хотелось бы, особенно у пожилых пациентов». Как полагает этот исследователь, люди преклонных лет подвергаются большему риску из-за того, что у них по непонятным пока причинам печень и почки хуже справляются с переработкой лекарственных препаратов и, кроме того, во многих случаях мозг более восприимчив к побочному психотропному действию.

Немаловажно и то, что как сами пожилые пациенты, так и лечащие их врачи склонны приписывать относительно мягкие симптомы — сонливость, ослабление сообразительности и памяти — возрасту, а не эффекту принимаемых лекарств. «Если пациент рассказывает о маленьких зеленых человечках, прячущихся в его радиоприемнике, врач, естественно, заподозрит влияние лекарственных препаратов, — говорит Р. Бесдин, заведующий кафедрой геронтологии Медицинской школы Коннектикутского университета. — Но такая мысль вряд ли придет ему в голову, если пациент забудет свои ключи или не сможет вспомнить, как зовут его внука». Почти все лекарства, а не только те 103, что перечислены в «Medical Letter», могут вызывать побочные психические эффекты у пожилых людей, считает Бесдин.

Свидетельства связи между приемом лекарств и психическими симптомами нередко анекдотичны. Так, сообщения об острых реакциях на некоторые из 103-х препаратов основаны на наблюдении за 1—2 пациентами. Но есть и более надежные данные. Ре-

зультаты обследования, опубликованные в январе 1986 г. в «Journal of the American Medical Association», статистически подтверждают, что препараты, блокирующие β -рецепторы (они используются для лечения гипертонии), вызывают депрессию: анализ медицинских карт 143 253 жителей Среднего запада США показал, что пациенты, принимающие блокаторы β -рецепторов, нуждаются в антидепрессантах в полтора раза чаще, чем другие пациенты.

«Для предотвращения неизвестных побочных эффектов одних фармацевтических препаратов не следует прописывать другие лекарства: это может принести еще больший вред», — отмечает Дж. Эйворн из Медицинской школы Гарвардского университета, руководивший исследованиями блокаторов β -рецепторов. Чтобы такого не случилось, прежде всего сам пациент должен справляться у своего врача, не могло ли принимаемое лекарство негативно повлиять на его самочувствие. Конечно, возможна ситуация, признает Эйворн, когда то или иное лекарство настолько необходимо больному, что приходится мириться с побочным эффектом. Впрочем, огромное разнообразие лекарственных средств нередко позволяет подобрать средство, действующее аналогично, но не имеющее нежелательного побочного эффекта. Эйворн считает также, что очень часто дозу лекарства можно значительно уменьшить или даже вообще прекратить его прием и призывает врачей не упускать этого из виду.

Вам лучше?

УЧЕННЫЕ-НЕЙРОХИМИКИ выиграли серьезный бой с болезнью Альцгеймера, хотя, конечно, война еще не окончена. Предварительные испытания показали, что препарат, ингибирующий расщепление ацетилхолина, может значительно смягчать некоторые симптомы этого тяжелого заболевания, проявляющегося в дегенеративных изменениях центральной нервной системы.

В «New England Journal of Medicine» В. Саммерс и его коллеги из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе сообщили о лечении пациентов, страдающих болезнью Альцгеймера в средней и тяжелой форме, тетрагидроаминокридином (ТГА). ТГА уменьшает активность холинэстеразы — фермента, расщепляющего нейромедиатор ацетилхолин, содержание которого при болезни Альцгеймера понижено. Как считает Саммерс, ТГА, кроме того, «подсте-

гивает» холинергическую систему: в нервных клетках, медиатором в которых служит ацетилхолин, он блокирует калиевые каналы, в результате чего нейроны становятся чувствительнее к нервным импульсам.

Применив четыре различных метода проверки умственных способностей и общей ориентации, исследователи показали, что у 14 пациентов, принимавших поочередно то ТГА, то его неактивный аналог, отмечалось заметное улучшение в периоды приема лекарства. Из них 12 человек принимают ТГА к настоящему моменту уже в течение года и все чувствуют себя хорошо. Такие результаты, по словам Саммерса и его коллег, «трудно было ожидать для заболевания, которое считается прогрессирующим и лишь в редких случаях протекает с периодами относительной стабилизации состояния».

В комментарии от редакции, сопровождающем публикацию Саммерса, К. Дэвис и Р. Мос из Медицинского центра Маунт-Синай подчеркивают значение методической части проведенного им исследования, в частности применение метода ядерного магнитного резонанса (ЯМР) для диагностики. На сегодняшний день единственным методом, позволяющим со всей определенностью поставить диагноз «болезнь Альцгеймера», является посмертный анализ тканей. Метод ЯМР позволил выявить тех пациентов, которые на самом деле страдали не от этого заболевания и на состояние которых, следовательно, ТГА не должен был влиять.

Насколько эффективно блокирование холинэстеразы как путь лечения болезни Альцгеймера? По мнению Дэвиса и Моса, увеличение уровня ацетилхолина не может компенсировать ни неизбежную потерю нейронов, синтезирующих ацетилхолин, ни недостаток других нейромедиаторов и нейропептидов, которые, по-видимому, тоже имеют значение для проявления симптомов заболевания.

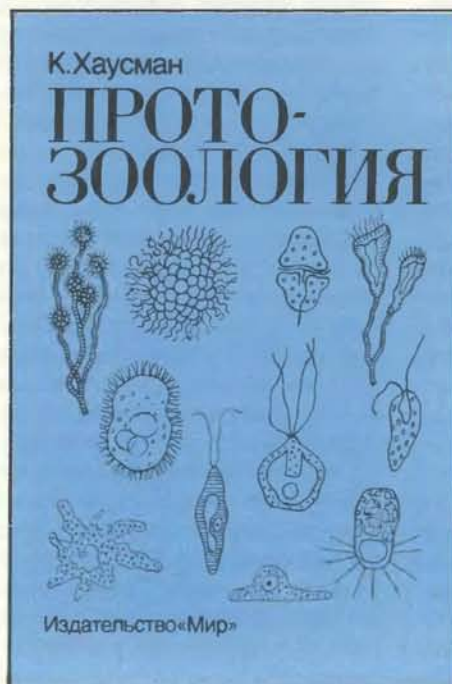
Саммерс же думает, что эти рассуждения — сейчас не главное. Хорошо уже то, что найден способ ослаблять основные симптомы болезни. Но, разумеется, нет оснований утверждать, что ТГА влияет на скорость развития заболевания. Необходимо исследовать действие препарата на сотнях пациентов.

Издательство МИР предлагает:

К. Хаусман

ПРОТОЗООЛОГИЯ

Перевод с немецкого



Книга представляет собой компактный, хорошо иллюстрированный учебник по зоологии простейших.

Следует отметить очень четкое изложение материала и современный уровень книги, в которой нашли отражение многие вопросы, ставшие предметом изучения в самые последние годы. В отечественной литературе аналогов этого учебника нет.

Содержание: Организация клеток простейших. Систематика. Эволюция. Органеллы простейших. Подвижность. Питание. Морфогенези размножение. Поведение. Экология. Методы сбора и культивирования. Ключ к определению пресноводных простейших. Словарь терминов.

Для студентов-зоологов старших курсов, специалистов-биологов, врачей и ветеринаров.

1988, 22 л. Цена 1 р. 80 к.

Предварительные заказы на книги выпуска 1988 г. принимаются магазинами — опорными пунктами издательства «Мир» с января — февраля, а остальными магазинами научно-технической литературы с апреля — мая 1987 г. Издательство заказов не принимает.



(начало см. на с. 3)

Р. ПИРС «Компьютер в роли музыкального инструмента») начинали совместную работу в 60-х годах в фирме Bell Telephone Laboratories. В то время Мэттьюз, руководивший Центром по исследованию восприятия звука, впервые написал программу, позволяющую компьютеру синтезировать сложные музыкальные звуки. Мэттьюз поступил в фирму Bell Laboratories в 1955 г. после того, как в 1952 г. получил степень магистра, а в 1954 г. — доктора в Массачусетском технологическом институте. В 1985 г. он ушел с поста директора указанного Центра, однако продолжает исследования по компьютерным системам, работающим в реальном масштабе времени, и по восприятию музыкальных звуков. Пирс, получивший в 1933 г. степень бакалавра, в 1934 г. — магистра, а в 1936 г. — доктора в Калифорнийском технологическом институте, поступил в фирму Bell Laboratories в 1936 г. и работал там до 1971 г., после чего вернулся в Калифорнийский технологический институт в звании профессора. В период с 1979 по 1982 г. Пирс был главным технологом фирмы Jet Propulsion Laboratory. В настоящее время он на пенсии, но продолжает научную деятельность как профессор-консультант в Станфордском университете.

ГОЛОД В США

HUNGER IN AMERICA: THE GROWING EPIDEMIC. Physician Task Force on Hunger in America. Wesleyan University Press, 1985.

INCREASING HUNGER AND DECLINING HELP: BARRIERS TO PARTICIPATION IN THE FOOD STAMP PROGRAM. Physician Task Force on Hunger in America. Harvard University, 1986.

PRIMARY PREVENTION OF FAILURE-TO-THRIVE: SOCIAL POLICY IMPLICATIONS. D. Frank, D. Allen and L. Brown in *New Directions in Failure-to-Thrive: Implications for Future Research and Practice*, edited by Dennis Drotar. Plenum Press, 1986.

МИКРОТРУБОЧКА —
ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЙ МОТОР

STUDIES ON THE MOTILITY OF THE FORAMINIFERA, II: THE DYNAMIC MICROTUBULAR CYTOSKELETON OF THE RETICULOPODIAL NETWORK OF *ALLOGROMIA LATICOLLARIS*. Jeffrey L. Travis, James F. X. Kenealy and Robert D. Allen in *The Journal of Cell Biology*. Vol. 97, No. 6, pages 1668-1676; December, 1983.

NEW OBSERVATIONS ON CELL ARCHITECTURE AND DYNAMICS BY VIDEO-ENHANCED CONTRAST OPTICAL MICROSCOPY. Robert Day Allen in *Annual Review of Biophysics and Biophysical Chemistry*, Vol. 14, pages 265-290; 1985.

GLIDING MOVEMENT OF AND BIDIRECTIONAL TRANSPORT ALONG SINGLE NATIVE MICROTUBULES FROM SQUID AXOPLASM: EVIDENCE FOR AN ACTIVE ROLE OF MICROTUBULES IN CYTOPLASMIC TRANSPORT. Robert Day Allen, Dieter G. Weiss, John H. Hayden, Douglas T. Brown, Hideshi Fujiwaka and Marcia Simpson in *The Journal of Cell Biology*, Vol. 100, No. 5, pages 1736-1752; May, 1985.

NEW DEVELOPMENT IN UNDERSTANDING OF RAPID AXONAL TRANSPORT. B. J. Schnapp, T. F. Reese in *Trends in Neurosciences*, Vol. 9, No. 4, pages 155-162; 1986.

САМЫЕ СТАРЫЕ
ПУЛЬСАРЫ

A MILLISECOND PULSAR. D. C. Backer, Shrinivas R. Kulkarni, Carl Heiles, M. M. Davis and W. M. Goss in *Nature*, Vol. 300, No. 5893, pages 615-618; December 16, 1982.

A NEW CLASS OF RADIO PULSARS.

M. A. Alpar, A. F. Cheng, M. A. Ruderman and J. Shaham in *Nature*, Vol. 300, No. 5894, pages 728-730; December 16, 1982.

BLACK HOLES, WHITE DWARFS, AND NEUTRON STARS: THE PHYSICS OF COMPACT OBJECTS. Stuart L. Shapiro and Saul A. Teukolsky. John Wiley & Sons, Inc., 1983.

INTENSITY-DEPENDENT QUASI-PERIODIC OSCILLATIONS IN THE X-RAY FLUX OF GX5-1. M. van der Klis, F. Jansen, J. van Paradijs, W. H. G. Lewin, E. P. J. van den Heuvel, J. E. Trümper and M. Sztajno in *Nature*, Vol. 316, No. 6025, pages 225-230; July 18, 1985.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ
РЕКОМБИНАЦИЯ

GENETIC RECOMBINATION: THINKING ABOUT IT IN PHAGE AND FUNGI. Franklin W. Stahl. W. H. Freeman and Company, 1979.

ROLES OF RECBC ENZYME AND CHI SITES IN HOMOLOGOUS RECOMBINATION. G. R. Smith, S. K. Amundsen, A. M. Chaudhury, K. C. Cheng, A. S. Ponticelli, C. M. Roberts, D. W. Schultz and A. F. Taylor in *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*, Vol. 49, pages 485-495; 1984.

ROLES OF DOUBLE-STRAND BREAKS IN GENERALIZED GENETIC RECOMBINATION. F. W. Stahl in *Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology*, Vol. 33, pages 169-193; 1986.

БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ
ЭЛЕКТРОНЫ
В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

BALLISTIC TRANSPORT IN SEMICONDUCTOR AT LOW TEMPERATURES FOR LOW-POWER HIGH-SPEED LOGIC. Michael S. Shur and Lester F. Eastman in *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. ED-26, No. 11, pages 1677-1683; November, 1979.

DIRECT OBSERVATION OF BALLISTIC TRANSPORT IN GaAs. M. Heiblum, M. I. Nathan, D. C. Thomas and C. M. Knoedler in *Physical Review Letters*, Vol. 55, No. 20, pages 2200-2203; November 11, 1985.

THE QUEST FOR BALLISTIC ACTION. Trudy E. Bell in *IEEE Spectrum*, Vol. 23, No. 2, pages 36-38; February, 1986.

Иден Р. С. СРАВНЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ПРИБОРОВ НА GaAs ДЛЯ СВЕРХСКОРОСТНЫХ СБИС. — ТИИЭР, 1982, т. 70, № 1.

Издательство
МИР
предлагает:

К. Хеллан

ВВЕДЕНИЕ В МЕХАНИКУ
РАЗРУШЕНИЯ

Перевод с английского
Монография норвежского ученого, в которой изложены основные положения, методы и критерии линейной и нелинейной механики разрушения с уклоном в область практического применения. Книгу отличает сочетание простоты и доступности изложения с достаточной строгостью. Приведено большое количество задач с подробным решением и комментариями.

1988, 21 л. Цена 3 р. 10 к.



Издательство МИР предлагает:

А. Гунта, Д. Лилли,
Н. Сайред

ЗАКРУЧЕННЫЕ ПОТОКИ

Перевод с английского
Монография зарубежных специалистов А. Гунты, Д. Лилли (США) и Н. Сайреда (Великобритания), посвященная экспериментальным и численным методам исследования внутренних закрученных течений. Рассмотрены вопросы, связанные со структурой течений при слабой и сильной закрутке, характеристики турбулентности, особенности колебательных явлений на выходе из закручивающих устройств, условия распада вихря и т. д. Особое внимание уделено вопросам горения в закрученных потоках. Рассмотрены вопросы практического использования закрученных потоков в различных отраслях техники: авиационной теплоэнергетике, химической технологии и т. д. Приведено описание и дан практический анализ различного рода технических устройств, в том числе вихревых горелок, циклонных камер, сепараторов, камер сгорания газотурбинных двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрены вопросы математического моделирования процессов течения и горения с использованием современных моделей турбулентности и численных методов. Сделан анализ применимости этих методов. Подробно рассмотрены современные методы экспериментальных исследований с применением лазерной диагностики.

Для специалистов в области прикладной газовой динамики, теплообмена и теплоэнергетики.

1988, 36 л. Цена 5 р. 80 к.



Нэйчел Т. ПЕРЕНОС ГОРЯЧИХ ЭЛЕКТРОНОВ СКВОЗЬ ОХЛАЖДЕННЫЙ АРСЕНИД ГАЛЛИЯ. — Электроника, 1985, № 24, с. 24.

ТРАНЗИСТОРЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОНОВ. — Экспресс-информация «Электроника», 1986, № 45, с. 1.

КИТЫ И МОРЖИ — ПАХАРИ МОРСКОГО ДНА

ECOLOGY AND BIOLOGY OF THE PACIFIC WALRUS, *ODOBENUS ROSMARENSIS DIVERGENS ILLIGER*. Francis H. Fay. U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, North American Fauna No. 74, US Government Printing Office, 1982.

THE GRAY WHALE, *ESCHRICHTIUS ROBUSTUS*. Edited by Mary Lou Jones, Steven L. Swartz and Stephen Leatherwood. Academic Press, 1984.

SIDE-SCAN SONAR ASSESSMENT OF GRAY WHALE FEEDING IN THE BERING SEA. Kirk R. Johnson and C. Hans Nelson in *Science*, Vol. 225, No. 4667, pages 1150-1152; September 14, 1984.

ЖЕНЩИНЫ В НАУКЕ

FAIR SCIENCE: WOMEN IN THE SCIENTIFIC COMMUNITY. Jonathan R. Cole. The Free Press, 1979.

CAREER OUTCOMES IN A MATCHED SAMPLE OF MEN AND WOMEN PH.D.S: AN ANALYTICAL REPORT. Nancy C. Ahern and Elizabeth L. Scott. National Academy Press, 1981.

THE PRODUCTIVITY PUZZLE: PERSPECTIVE AND CHANGE IN PATTERNS OF PUBLICATION OF MEN AND WOMEN SCIENTISTS. Jonathan R. Cole and Harriet Zuckerman in *Advances in Motivation and Achievement*, Vol. 2, pages 217-258; 1984.

КОМПЬЮТЕР В РОЛИ МУЗЫКАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

THE TECHNOLOGY OF COMPUTER MUSIC. Max V. Mathews. The MIT Press, 1969.

THE SCIENCE OF MUSICAL SOUND. John R. Pierce. W. H. Freeman and Company, 1983.

COMPUTER MUSIC. Charles Dodge and Thomas A. Jerse. Schirmer Books, 1985.

НАУКА ВОКРУГ НАС

AQUEOUS DIELECTRICS. J. B. Hasted. Chapman and Hall, 1973.

INITIATING BOILING WITH ICE. Robert

E. Apfel and Richard L. Day in *Nature*, Vol. 321, No. 6071, page 657; June 12, 1986.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

THE ORIGIN OF SPACEWAR. J. M. Graetz in *Creative Computing*, Vol. 7, No. 8, pages 56-67; August, 1981.

WINNING WAYS FOR YOUR MATHEMATICAL PLAYS, VOL. 2; GAMES IN PARTICULAR. Elwyn R. Berlekamp, John H. Conway and Richard K. Guy. Academic Press, 1982.

MICROCOMPUTER DISPLAYS, GRAPHICS, AND ANIMATION. Bruce A. Artwick. Prentice-Hall, Inc., 1984.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 20.03.87.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/8.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 7,00 бум. л.

Усл.-печ. л. 14,00.

Уч.-изд. л. 17,39.

Усл. кр.-отт. 55,36.

Изд. № 25/5513. Заказ 138.

Тираж 24100 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Государственного комитета СССР

по делам издательств,

полиграфии и книжной торговли.

127576, Москва, Илимская, 7



Издательство МИР предлагает:

К. Васидзу
ВАРИАЦИОННЫЕ
МЕТОДЫ
В ТЕОРИИ
УПРУГОСТИ
И ПЛАСТИЧНОСТИ

Перевод с английского

К. Васидзу

*Вариационные
методы
в теории упругости
и пластичности*

Монография известного японского специалиста, излагающая с единых позиций построение вариационных принципов в теории упругости и пластичности. В ней собран большой фактический материал, незаменимый при решении конкретных задач механики деформируемого тела. Показана связь с вариационны-

ми принципами известного метода конечных элементов. Изложение отличается ясностью и строгостью.

Для научных работников, аспирантов и студентов, специализирующихся в области прикладной и вычислительной математики, механике, физике, а также для инженеров и конструкторов.

1987, 27 л. Цена 2 р. 60 к.



В следующем номере:



ДИСЛЕКСИЯ

СТРУКТУРА ВИРУСА ПОЛИОМИЕЛИТА

ОХЛАЖДЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ АТОМОВ
С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

МОНОКУЛЬТУРНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ
НА АМЕРИКАНСКИХ ФЕРМАХ

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ ОПТИЧЕСКИМИ
НЕЙРОННО-СЕТЕВЫМИ КОМПЬЮТЕРАМИ

КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ РИФТОГЕНЕЗ

ТЕРМОРЕГУЛЯЦИЯ У ЗИМНИХ БАБОЧЕК

МЕЗОЛИТИЧЕСКИЙ ЛАГЕРЬ
НА ТЕРРИТОРИИ ДАНИИ

МАШИНКИ БРАЙТЕНБЕРГА: ОПЫТЫ ИЗ ОБЛАСТИ
СИНТЕТИЧЕСКОЙ ПСИХОЛОГИИ

КАК НАЙТИ РАССТОЯНИЕ
ОТ ЗЕМЛИ ДО СОЛНЦА