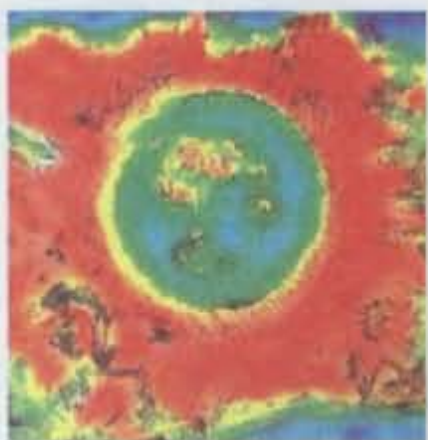


*В следующем номере:*



ПОВЕРХНОСТЬ ВЕНЕРЫ

СЛУЧАЙНАЯ ЯДЕРНАЯ ВОЙНА

КАК ОХОТИТСЯ КАМЧАТСКАЯ ЛАРГА

ОБРАЗОВАНИЕ МОЛЕКУЛ

НАСЛЕДСТВО ГЕШТАЛТПСИХОЛОГИИ

КАК ЖИВОТНЫЕ ПЕРЕНОСЯТ ЗАМОРАЖИВАНИЕ

ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА

ПРОБЛЕМЫ ЭВОЛЮЦИИ ЖИЗНИ

# В МИРЕ НАУКИ

ISSN 0208-0621

SCIENTIFIC  
AMERICAN

Издание на русском языке

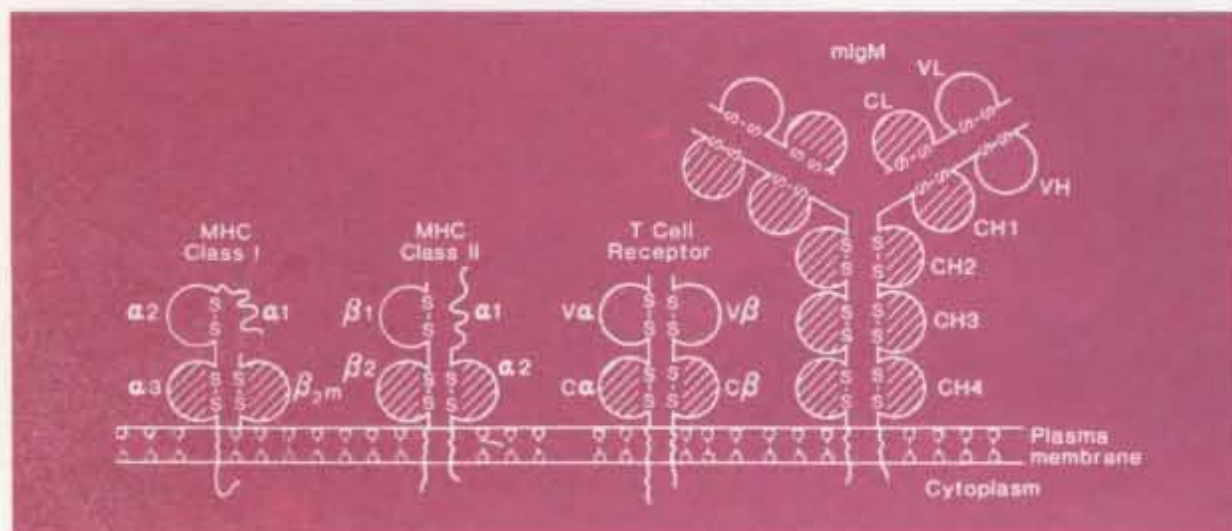


Январь **1** 1991

ВНИЗ ПО ШКАЛЕ РАЗМЕРНОСТЕЙ

ИММУНОГЕНЕТИКА ЧЕЛОВЕКА.  
ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И КЛИНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ.

В 2-х томах.  
Под ред. С. Литвина.  
Перевод с английского



**В** книге американских авторов изложены основы и последние достижения новой биологической дисциплины — иммуногенетики. Книга удачно сочетает черты учебника и монографии, что делает ее полезной как для начинающих исследователей, так и для специалистов. На русском языке выходит в 2-х томах. В т. 1 обсуждаются общие подходы и принципы, иммуногенетика иммунитета и гистосовместимости. Т. 2 посвящен иммуногенетике опухолей и вирусных антигенов, а также компонентов крови (маркеры поверхности эритроцитов) и сыворотки (система комплемента).

Для научных работников и аспирантов — иммунологов, генетиков.

Из рецензии: «Книга производит сильное впечатление точностью и ясностью изложения, богатством иллюстраций, обилием имен выдающихся ученых, участвовавших в ее создании» (к. б. н. А. С. Ант).

1992 г. 58 л. Цена 9 р. 30 к.

Заказы на книгу будут приниматься в магазинах научно-технической и медицинской книги в апреле-мае 1991 г. после поступления тематического плана издательства на 1992 г. (поз. № 87)



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

МОСКВА «МИР»

№ 1 - ЯНВАРЬ 1991

В номере:

СТАТЬИ

(Scientific American, November 1990, Vol. 263, No. 5)

6 Наука, техника и западное чудо

Натан Розенберг, Л. Е. Бирдзелл-младший

Тесная связь между накоплением научных знаний и техническим прогрессом позволила западным странам с рыночной экономикой достичь невиданного процветания



16 Черные дыры в центре галактик

Мартин Дж. Рис

Некоторые черные дыры обеспечивают энергией интенсивно излучающие квазары; большинство черных дыр, по-видимому, «дремлет» в относительно спокойных галактиках типа нашей. Проникновение в сущность этих массивных объектов поможет воссоздать раннюю историю Вселенной



26 Генотерапия

Айндер М. Верма

Становится реальностью лечение заболеваний путем введения в организм соответствующих генов. Но этот терапевтический метод не раскроет всех своих возможностей, пока не удастся обеспечить должное функционирование введенных генов в течение жизни организма



36 Смысл сновидений

Джонатан Уинсон

Сновидения у млекопитающих отражают глубинные механизмы памяти. Жизненно важная информация, полученная в состоянии бодрствования, во время сна может подвергаться повторной обработке





#### 44 Теория узлов и статистическая механика

Воган Ф. Р. Джонс

Математические теории, разработанные для нужд квантовой механики, постепенно раскрывают взаимосвязь между этими двумя столь далекими друг от друга дисциплинами



#### 52 Древнеримский мельничный комплекс

А. Тревор Ходж

Большинство историков считают, что у древних римлян отсутствовала технология механизированного производства. По их мнению, главным препятствием на пути к ее созданию была доступность дешевого рабского труда. Результаты исследований в Барбегале (Франция), где сохранились остатки древнеримского мельничного комплекса, свидетельствуют об ином



#### 60 Механика крыльев насекомых

Робин Дж. Вуттон

Тончайшие детали устройства крыла насекомых говорят об их поразительной приспособленности к высшему пилотажу, с которым достижения нашей техники не идут ни в какое сравнение



#### 68 ТЕНДЕНЦИИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Вниз по шкале размерностей

Элизабет Коркоран

Кусочки материалов, в которых движение электронов ограничивается в области с числом измерений меньше трех, могут стать основой для следующего поколения электронных и оптических устройств

#### РУБРИКИ

4 Об авторах

5 50 и 100 лет назад

24, 34, 50, 58,

78, 87 Наука и общество

80 Занимательная математика

84 Книги

98 Эссе

99 Библиография

## SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel  
EDITOR

John J. Moeling, Jr.  
PUBLISHER

#### BOARD OF EDITORS

Alan Hall, Michelle Press

Phillip M. Yam

Timothy M. Beardsley

Elizabeth Corcoran

Deborah Erickson

Marguerite Holloway

John Horgan

Phillip Morrison (BOOK EDITOR)

Corey S. Powell

John Rennie, Phillip E. Ross

Ricki L. Rusting, Russell Ruthen

Gary Stix, Paul Wallich

Samuel L. Howard

ART DIRECTOR

Richard Sasso

VICE-PRESIDENT

PRODUCTION AND DISTRIBUTION

#### SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow  
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Georg-Dieter von Holtzbrinck  
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel

CHAIRMAN EMERITUS

© 1990 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, А. В. Белых

литературный редактор  
О. В. Мошкова

художественный редактор  
С. К. Аносов

заведующая редакцией  
Л. И. Желуховцева

руководитель группы фотонабора  
В. С. Галкин

технический редактор  
А. В. Лыткина

корректор  
Р. Л. Вибке

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», 1990

#### На обложке



На обложке представлена электронная микрофотография полупроводниковой структуры фосфида индия. Она создана Х. Темкином и его коллегами из AT & T Bell Laboratories и имеет в основании размер, составляющий 0,001 толщины человеческого волоса. Когда на эту структуру подается напряжение, электроны захватываются через «шейку» (из арсенида галлия—индия) в глубоководную область фиолетового цвета. При этом они могут находиться в необычных энергетических состояниях. На основе этого явления электроника в своем развитии может сделать следующий скачок вперед (см. статью Элизабет Коркоран «Вниз по шкале размерностей» на с. 69).

#### Иллюстрации

ОБЛОЖКА: микрофотография — Henryk Temkin, AT&T Bell Laboratories  
СТР. АВТОРИСТОЧНИК СТР. АВТОРИСТОЧНИК СТР. АВТОРИСТОЧНИК

7	Granger Collection	32	Dana Burns-Pizer	Communications Research
8	Photo Researchers, Inc.	37	Marc Chagall, Scala/Art Resource	70 John R. Deecken
9	© Mary Evans Picture Library, Photo Researchers, Inc.	38	Carol Donner	71 Spectra Diode Laboratories, (две фотографии), John R. Deecken (вклейка)
10	Bettman Hulton	39	Patricia J. Wynne	72 Kim Y. Lee, IBM Corporation (слева), David M. Hwang, Bell Communications Research (справа), John R. Deecken (вклейка)
12	Granger Collection	40	Carol Donner (вверху), Gabor Kiss (внизу)	73 John McGrail
13	General Electric Company	41	Gabor Kiss	74 Henryk Temkin, AT&T Bell Laboratories (слева), Kim Y. Lee, IBM Corporation (справа), John R. Deecken (вклейка)
17	George Retseck	42	Carol Donner (вверху), Gabor Kiss (внизу)	75 John N. Randall, Texas Instruments (слева), Galen D. Stucky, University of California (справа), John R. Deecken (вклейка)
18	Rick Perley (вверху), George Retseck (внизу)	45-49	Michael Goodman	76 Edward Bell
19	Palomar Observatory (вверху), Steve Kent (второй сверху), George Retseck (внизу)	53	A. Trevor Hodge	77 Russell F. Smith, Sandia National Laboratories
20-22	George Retseck	54-57	Tom Prentiss	80-82 Edward Bell
23	Fred Lo	61	Stephen Dalton, Natural History Photographic Agency, Sussex	
27	Gamma-Liaison Network	62	David Askew, University of Exeter (вверху), Patricia J. Wynne (внизу)	
28-30	Dana Burns-Pizer	63	Patricia J. Wynne, David J. S. Newman, University of Exeter (вклейка)	
31	James M. Wilson, University of Michigan at Ann Arbor, and J. Roy-Chowdhury, Albert Einstein College of Medicine	64-66	Patricia J. Wynne	
		68, 69	Edward M. Clausen, Jr., and James P. Harbison, Bell	

Nathan Rosenberg, L. E. Birdzell, Jr. "Science, Technology and the Western Miracle" (НАТАН РОЗЕНБЕРГ, Л. Е. БИРДЗЕЛЛ-младший «Наука, техника и западное чудо») — авторы книги "How the West Grew Rich" («Как Запад стал богатым»), в которой также рассматривали природу проблемы, которой посвящена их статья в этом номере журнала. Розенберг работает на кафедре экономики в Стэнфордском университете, автор нескольких книг о научно-техническом прогрессе и экономическом росте. Бирдзелл — адвокат, специализирующийся в области права.

Martin J. Rees "Black Holes in Galactic Centers" (МАРТИН ДЖ. РИС «Черные дыры в центрах галактик») — директор Института астрономии Кембриджского университета (Великобритания). Здесь он получил степень доктора философии в области астрономии. Рис является также приглашенным профессором Калифорнийского технологического института, Гарвардского университета и Института высших исследований в Принстоне (шт. Нью-Джерси). Он занимается исследованиями в области космологии, строения и эволюции галактик. Эта статья — его четвертая публикация в журнале "Scientific American".

Inder M. Verma "Gene Therapy" (АЙН-ДЕР М. ВЕРМА «Генотерапия») — профессор молекулярной биологии и вирусологии в Солковском институте в Ла-Хойя (шт. Калифорния), а также доцент в Калифорнийском университете в Сан-Диего. Докторскую степень в области биохимии получил в Вейцманновском институте в Израиле. После этого работал в Массачусетском технологическом институте. С 1974 г. сотрудник Солковского института.

Jonathan Winson "The Meaning of Dreams" (ДЖОНАТАН УИНСОН «Смысл сновидений») окончил Калифорнийский технологический институт в 1946 г., получив диплом инженера авиационной техники. Затем в Колумбийском университете ему была присвоена степень доктора философии в области математики. После этого 15 лет занимался предпринимательством. Интерес к нейрологии заставил его в конце концов взяться за исследовательскую работу в Рокфел-

леровском университете в Нью-Йорке; в 1979 г. занял здесь должность доцента. Работы Уинсона, которые касаются механизмов памяти и сновидений, финансируются Национальным институтом психического здоровья, Национальным научным фондом и фондом Гугтенгейма.

Vaughan F. R. Jones "Knot Theory and Statistical Mechanics" (ВОГАН Ф. Р. ДЖОНС «Теория узлов и статистическая механика») — математик из Калифорнийского университета в Беркли. Получив магистерскую степень по математике в Оклендском университете в 1973 г., он переехал в Женеву, где с 1974 по 1979 г. изучал физику и математику. Получил степень доктора наук в области математики. Со времени работы в Беркли с 1985 г. Джонс дважды ездил на стажировку во Францию в Институт высших научных исследований. В августе 1990 г. ему была присуждена медаль Филлса — награда, для математиков равноценная Нобелевской премии.

A. Trevor Hodge "A Roman Factory" (А. ТРЕВОР ХОДЖ «Древнеримский мельничный комплекс») — профессор кафедры истории и археологии древнего мира Университета Карлтона (Оттава). Окончил Кембриджский университет, где получил степени бакалавра и магистра, а затем доктора в области истории и археологии древнего мира. Область его научных интересов первоначально включала древнегреческую архитектуру, в частности методы строительства храмов, а затем историю Марафонского сражения и историю основания Марселя древними греками. В настоящее время занимается изучением древнеримских систем водоснабжения. В 1991 г. Ходж собирает опубликовать две книги о результатах этой работы. Ходж публикуется второй раз в "Scientific American", первая его статья называлась «Сифоны в древнеримских акведуках» (см. «В мире науки», 1985, № 8. — *Ред.*).

Robin J. Wootton "The Mechanical Design of Insect Wings" (РОБИН ДЖ. ВУТТОН «Механика крыльев насекомых») начал свою карьеру как палеоэнтомолог, получив степень доктора философии в этой области в Лондонском университете. Полет насекомых начал изучать в 70-х годах, поставив перед собой цель понять и объяснить направления эволюции крыла насеко-

мых. В настоящее время преподает биологию в Эксетерском университете и возглавляет небольшую исследовательскую группу, изучающую связь между морфологией крыла и его структурой, с одной стороны, и механикой полета и поведением — с другой.

Christopher P. McKay, Robert H. Naipes "Essay" (КРИСТОФЕР П. МАККЕЙ, РОБЕРТ Х. ХЕЙНЕС «Эссе»): первый — исследователь отделения наук о космосе при Эймсовском исследовательском центре НАСА в Калифорнии. Второй — заслуженный профессор биологии в Йоркском университете в Торонто.

## Внимание читателей!

К. Дежур, А. Лангани,  
Б. Пеллегрини и др.  
ПОЛ, СЕКС,  
ЧЕЛОВЕК

Перевод с французского

Книга французских авторов — по материалам журнала «Ля рещерш» — содержит прекрасно иллюстрированное описание генетики, физиологии и цитологии пола и размножения, биологических основ сексуальности; рассматриваются также физиологические и социальные аспекты гомосексуализма и близкородственных половых связей. Изложение характеризуется доступностью и добротным научным уровнем, многочисленные рисунки способствуют наглядности и занимательности книги.

Для студентов — биологов и медиков, школьников старших классов, читателей, интересующихся биологией.

1992 г. 20 л. Цена 1 р. 90 к.

Заказы на книгу будут приниматься в магазинах научно-технической и медицинской книги после поступления тематического плана издательства на 1992 г. в апреле-мае 1991 г. (Поз. № 80).



вдоль реки Тапажос — главного притока Амазонки».

«Согласно предположению д-ра Клода Зобелла из Скриппсовского океанографического института в Ла-Хойя (шт. Калифорния), бактерии и прочие микроорганизмы поглощают растворенный в океанской воде кислород с большей скоростью, чем рыбы и другие видимые невооруженным глазом животные — от крошечных креветок до гигантских осьминогов. Один литр океанской воды содержит от 100 тыс до 10 000 тыс бактерий, поглощающих кислород со скоростью 0,001—1 см<sup>3</sup> на литр в год».



«НОВАЯ 1890 г. В своем письме в научный журнал «Pacific Record» д-р Макферсон утверждает, что, как теперь определено доказано, дистиллированная вода имеет голубой цвет. Настоячивый шотландец провел серию экспериментов, подтверждающих это факт. Он предлагает следующую убедительную демонстрацию: к белому предмету, опущенному на глубину 20 футов, приставляется металлическая труба, открытая сверху и за-

крытая прозрачной стеклянной пластинкой снизу. Наблюдаемый в такую трубу предмет будет иметь великолепный голубой цвет. В том случае, если бы в воде содержались мельчайшие взвешенные частицы, отражаемый ими свет придавал бы предмету желтоватую окраску».

«Впервые при пересадке кожи д-р П. А. Морроу осуществил трансплантацию полкожной ткани. Поводом для операции послужили несколько необычные обстоятельства: шрам на голове пациента, сделавшийся заметным вследствие облысения, вызвал у него ипохондрию. Взяв лоскуты кожи с другой стороны черепа оперируемого, хирург пересадил их в подходящие по размеру лунки, сделанные в ткани шрама. К его удовлетворению трансплантированные участки полностью прижились через неделю».

«Устройство водного велосипеда, сконструированного Джоозефом Корнером, литейщиком из г. Оломоуц, представлено на рисунке. Велосипедист может также воспользоваться двумя веслами (укреплены на стойках) для того, чтобы, не слезая с велосипеда, снять его с песчаной отмели. При испытаниях расстояние в 400 метров было покрыто велосипедистом за 4 минуты при движении против течения и за 2,5 минуты — по течению».



Усовершенствованная модель водного велосипеда

«Соя в необычайно короткий срок сделалась ценнейшим промышленным продуктом. Существует даже вероятность того, что кукурузе придется уступить ей пальму первенства. Соевое масло используется при изготовлении мыла, красок и лаков. Белок, содержащийся в соевых бобах, идет на производство отделочных деталей автомобилей, прекрасно заменяя пластмассу. Производство соевых бобов в США за последние шесть лет увеличилось в 17 раз и продолжает расширяться».

«Америке угрожает опасность лишиться источников резины, в особенности если ее каучуковые колонии будут захвачены одним из тоталитарных государств. Существуют два возможных решения этой проблемы, дополняющие друг друга. Первое — это получение синтетической резины. Второе — создание новых естественных источников каучука в западном полушарии. Компания Ford Motor собирается осуществить проект стоимостью в 20 млн долл. и разбить две плантации каучуконосов в Бразилии

# Наука, техника и западное чудо

*Тесная связь между накоплением научных знаний и техническим прогрессом позволила западным странам с рыночной экономикой достичь невиданного процветания*

НАТАН РОЗЕНБЕРГ, Л.Е. БИРДЗЕЛЛ-МЛАДШИЙ

**Н**ЕОДИНАКОВЫЙ уровень экономического развития в различных странах — это явление, в основном характерное для последних двух с половиной веков. В середине XVIII в. жители Западной Европы в среднем имели примерно тот же уровень материального благосостояния, что и население Китая, и он в сущности не отличался от уровня жизни в Древней Греции или Риме. Лишь меньшинство населения имело доход, существенно выше жизненного минимума, а у элитарных сословий разных государств почти или вовсе не было причин завидовать друг другу.

Однако примерно в 1800 г. стало очевидно, что состоятельные меньшинства в странах Европы, доходы которого были выше прожиточного минимума, начало численно возрастать, и по крайней мере частично это объяснялось тем, что наука и техника в европейских странах развивались быстрее, чем где бы то ни было. Рост численности промышленных предприятий и расширение масштабов использования станков и машин с механическим приводом вылились в так называемую промышленную революцию. Этот процесс индустриального развития в XIX в. принял ускоренный характер и продолжился в течение XX в. Историки иногда называют этот уникальный период длительного экономического роста, который сделал западные страны намного богаче и сильнее по сравнению с остальным миром, «западным чудом».

Говорить об этом явлении просто как о длительном экономическом росте — значит отказаться от возможности представить его истинные масштабы. За период с середины XVIII в. по настоящее время доход на душу населения увеличился в 10 раз. Численность населения в Европе выросла в пять раз, а в США — в 80 раз. Резко снизилась детская смертность, а средняя продолжительность жизни удвоилась. Исчезли такие явления, как голод и эпидемии. Если раньше в отдельных странах в сфере производ-

ства продуктов питания было занято 90% работающего населения, то теперь этот показатель не превышает 5%. Урбанизация в XIX в. сопровождалась техническим прогрессом в водоснабжении, канализации, строительстве, связи, распределении энергии и других видах коммунального обслуживания. Урбанизация и рост доходов обусловили повышение уровня жизни людей, улучшение их здоровья и условий труда, изменили систему ценностей и привнесли много нового в личную, семейную и общественную жизнь.

Казалось бы, что у историков было достаточно времени для того, чтобы изучить причины западного чуда, но до сих пор явление это не исследовано настолько глубоко, насколько оно того заслуживает. Поэтому когда 40 лет назад вставшие на путь экономического развития страны «третьего мира» обратились к европейским странам, чтобы они помогли им повысить уровень дохода на душу населения, то многие из полученных ими советов свидетельствовали о неправильном понимании того, как Западу удалось достичь изобилия. А совсем недавно явная готовность Советского Союза и стран Восточной Европы достичь того же уровня подушного дохода, что и в Западной Европе (при большом разрыве в настоящее время), вновь вынудила задаться вопросом: что же это за источники, которые обеспечивают Западу неуклонный экономический рост, а менее развитые и социалистические страны не могут ими воспользоваться?

**П**РЕДЛОЖЕНО немало различных и довольно популярных теорий, объясняющих западное чудо. Некоторые связывали его с политикой империализма, несмотря на то что многие из стран, достигших самых высоких экономических показателей, прощели и до эпохи империализма, а такие богатые страны, как Норвегия и Швейцария, вообще никогда не проводили империалистическую полити-

ку. И даже наоборот, некоторые из наиболее ярких империалистических держав, такие как Испания и Португалия, быстро погрузились в трясину экономического застоя.

Другие теории связывают экономическое благополучие с наличием богатых запасов природных ресурсов. Следует отметить, однако, что ресурсы не приобретают экономической ценности до тех пор, пока не будут созданы средства, необходимые для их использования. Коренные жители Северной Америки и до Колумба располагали примерно теми же ресурсами, которые в настоящее время имеют американцы. Япония, которая значительно беднее природными ресурсами, чем Индонезия, Мексика или Советский Союз, сумела уйти далеко вперед в экономическом развитии по сравнению с этими странами. Современная история таких городов-государств, как Гон-Конг и Сингапур, не говоря уж о Венеции, которую природа кроме воды никакими ресурсами не наделила, опровергает объяснение, основанное на наличии запасов природных ресурсов.

Эти гипотезы оказали нежелательное влияние на политику, проводимую правительствами развивающихся стран. Уделяя основное внимание факторам, которые имеют сомнительное отношение к рассматриваемой проблеме, они исключили из поля зрения необходимость институциональных изменений, которые могли бы проложить путь к экономическому росту, и особенно тех, которые обеспечили бы доступ к передовым технологиям.

Западная технология развивалась главным образом в экономической сфере и часто рассматривалась как порождение экономических потребностей и сложившихся институтов. Наука, напротив, имела более сложную природу, и вряд ли можно считать, что она зародилась как непроизвольная реакция на определенные экономические потребности. На протяже-

нии многих лет наука мало способствовала экономическому росту и развитию промышленной технологии. Когда в середине XIX в. К. Маркс употреблял в своих работах понятие «колоссальные производительные силы», он считал, что работа главным образом выполняется людьми, занятыми в сфере промышленного производства, а вклад в нее тех, кого мы сегодня называем учеными, по его мнению, был незначительным. Умение изготавливать различные механизмы, позволившие производить точные машины и инструменты на предприятиях и в лабораториях в XVIII и XIX вв., было приобретено скорее из практики сборки часов и шлифовки оптических линз, а не благодаря науке.

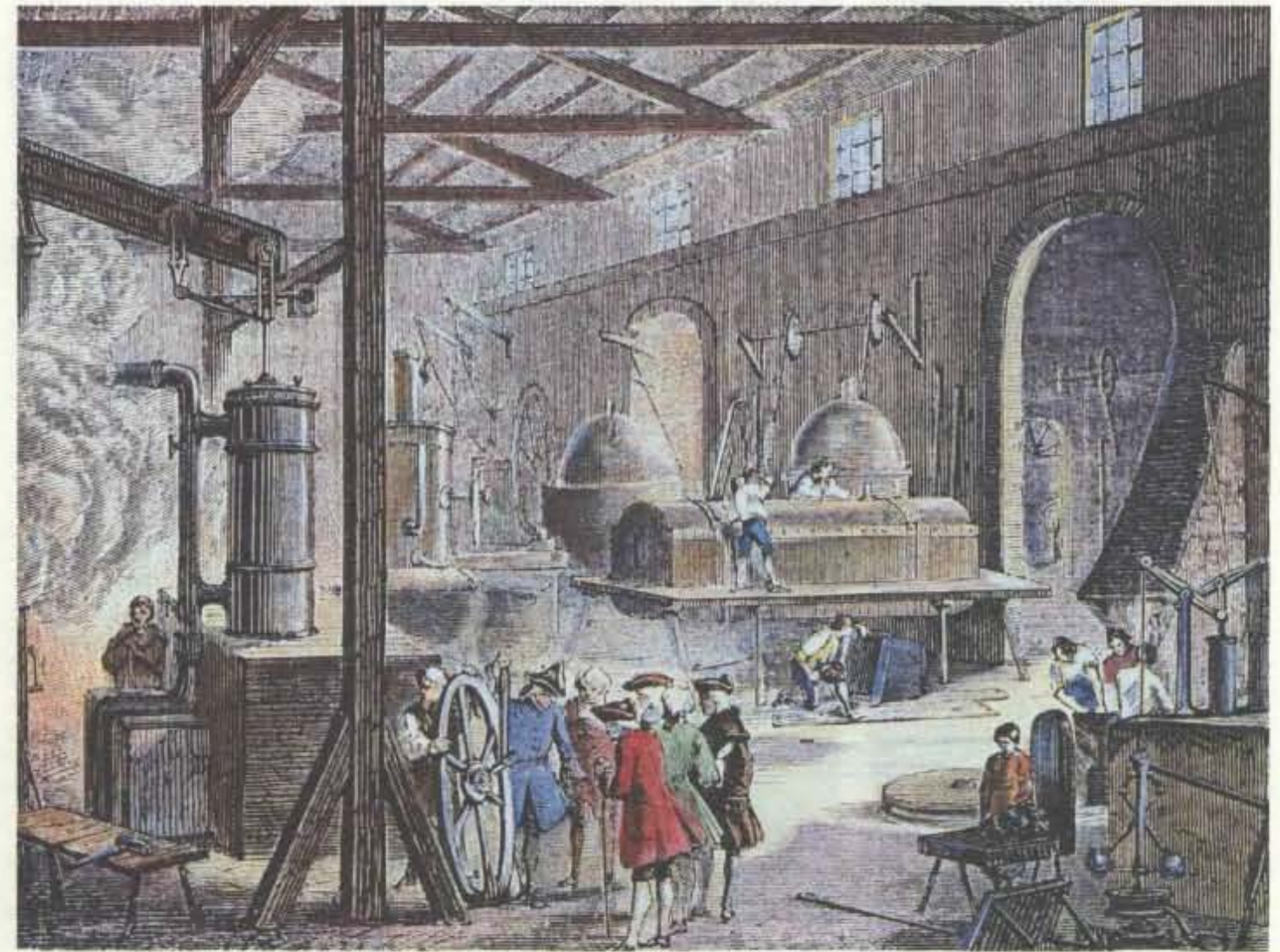
Однако начиная примерно с 1880 г. развитие промышленной технологии все в большей степени основывалось на результатах научной деятельности, осуществляемой за пределами промышленной сферы. Как только

был достигнут успех в стремлении поставить природные явления на службу человеку в соответствии с теоретическими достижениями науки, что было немислимо без специальной системы профессиональной подготовки, инженерные кадры промышленности, прошедшие такую подготовку, стали «переносчиками» и потребителями научных знаний и научных методов. Более того, на протяжении всего прошлого века в промышленности создавались научные лаборатории, которые расширяли теоретические достижения науки. Несмотря на то что наука на Западе зародилась вне сферы экономики, в XX в. ее прогрессивное развитие стало неотделимым от развития промышленной технологии и экономики западных стран в целом.

**Д**ЛЯ ТОГО чтобы попытаться объяснить природу западного экономического чуда и его связь с наукой, необходимо прежде всего проанализировать некоторые причины, обусловившие грандиозный успех самой науки на Западе, т. е. того достижения, которое, собственно, и позволяет говорить о «чуде». Одна из этих причин заключается в том, что западная наука сумела более организованно предпринять наступление на тайны природы и в этом штурме использовала более солидные ресурсы, чем наука в других странах.

В течение долгого времени после изобретения и внедрения печатного станка в XV в. научные исследования преимущественно оставались децентрализованными, а точнее сказать, индивидуализированными, когда никак не связанные между собой ученые случайно узнавали об открытиях своих коллег из печатных трудов или из писем. Западная наука на своей ранней стадии уже была не локализованной; поле ее деятельности простиралось от Польши (Коперник) до Дании (Тихо Браге), северной Италии (Гали-

лео)



МАНУФАКТУРА В СОХО близ Бирмингема (Англия) в XVIII в. производила детали для паровых двигателей. Компаньоны в этом предприятии Дж. Уатт (создатель эффективных паровых двигателей) и М. Баултон были членами Лунного

общества в Бирмингеме, объединявшего бизнесменов, изобретателей и ученых. Такие ассоциации, существовавшие во всех западных странах, способствовали научному, техническому и экономическому прогрессу.

лей), Богемии (Кеплер), Франции (Декарт и Лавуазье) и Англии (Бойль и Ньютон).

Самые ранние достижения науки на Западе в основном были сделаны в области астрономии. То, что мы теперь называем научной общественностью, объединяющей ученых из различных областей, а не только занимающихся астрономией, начало складываться в Европе в XVII в. В 1660 г. в Лондоне было создано Королевское общество содействия развитию естествознания (почти всегда называемое просто Королевским обществом), которое ставило своей целью коллективное обсуждение докладов многих ученых, которые в то время индивидуально проводили научные исследования. Многие другие такие же общества возникли в XVII и XVIII вв., образовав таким образом «сеть» ученых Европы, которые обменивались информацией не только между собой, но и с

учеными далекой Америки, в частности с Бенджаминном Франклином, ученым, экспериментально доказавшим, что молния имеет электрическую природу.

Эти общества, а также выпускаемые ими журналы не только распространяли результаты новых научных исследований, но и устанавливали их правильность и соответствие научным законам. Проводимые ими обсуждения выдвигали на повестку дня наиболее важные проблемы того времени и служили указателем того, какие новые исследования следует проводить с расчетом на признание и одобрение со стороны других ученых. Но чего эти общества не предлагали ученым, так это способа, как заработать на жизнь. Например, в 1695 г. Исаак Ньютон столкнулся с невозможностью продвигаться по службе в Кембриджском университете, поскольку он не принял никакого религиозного

сана. Для вознаграждения Ньютона за вклад в науку и выделения ему средств к существованию английскому правительству пришлось предложить ему должность, весьма далекую от науки, назначив его смотрителем монетного двора.

**НЕСМОТЯ** на то что идея объединения ученых для проведения целенаправленных исследований в институте, оснащенный необходимым лабораторным оборудованием и имеющем хорошую библиотеку, была практически реализована в первой половине XV в. принцем Генрихом Мореплавателем в Португалии, широкое распространение она получила только в начале XIX в. В 1799 г. сэр Джоузеф Бэнкс, граф Румфорд и ряд других членов Королевского общества основали в Лондоне Королевский институт, который, по замыслу его создателей, должен был стать лабораторией, где ученые могли бы работать вместе и заниматься преподавательской деятельностью. Майкл Фарадей, живший веком позже Ньютона, свою научную работу проводил в Королевском институте, где он и открыл явление электромагнитной индукции.

Вслед за этим подобные институты стали открываться и в других местах. В 1795 г. во Франции начала работать Политехническая школа. В США в 1847 г. Йельский университет основал Шеффилдскую школу, а в 1865 г. открылся Массачусетский технологический институт. Таким образом наука постепенно обрела свои собственные исследовательские и учебные институты, а талантливые ученые могли иметь место работы и продвигаться по ступеням своей научной карьеры.

К началу XIX в. западная наука уже размежевалась на специализированные области: математику, астрономию, физику, химию, геологию, ботанику, зоологию и медицину, занимающуюся исследованием анатомии и физиологии человека. Некоторые из этих научных областей, такие как физика, имели несколько более узких самостоятельных направлений.

Наука в странах Запада стала самостоятельной сферой деятельности со своей основной целью, которая формулировалась в довольно общем виде (изучать и объяснять природные явления), с разделением труда в соответствии со специализированными направлениями, каждое из которых имело свои цели, с информационной системой, призванной информировать ученых о научных достижениях, с тщательно продуманным порядком оценки результатов новых работ и улаживания конфликтов, с официальными центрами обучения и проведе-



ВЕНЕЦИАНСКИЕ СЕНАТОРЫ в присутствии Галилея наблюдают в телескоп спутники Юпитера. Астрономия была одной из первых наук, к которой на Западе был проявлен интерес, но еще до конца XVII в. в Европе начали возникать

научные сообщества, проявляющие интерес к физике, химии, медицине и другим областям знаний. Так, наука постепенно становилась менее индивидуализированным творческим занятием.

ния исследований, а также с определенной системой званий ученых, присваиваемых в соответствии с их профессиональным уровнем.

Главный фактор, обеспечивающий жизнеспособность и стабильность этого установления, заключался в принятии единого критерия оценки истинности научного результата, основанного на прямом наблюдении, здравом смысле, экспериментальной проверке и воспроизводимости. Введение единого критерия позволило ученым сделать взаимно доступными результаты деятельности научных лабораторий, даже тех, которые работают в разных областях. Кроме того, единый критерий позволил ремесленникам, торговцам, производителям и всем другим работающим практически использовать открытия в повседневной трудовой деятельности.

Организованность и широкий охват проблем — это, конечно, не единственные причины, обуславившие расцвет западной науки. Она также унаследовала огромный запас знаний, накопленных прошлыми цивилизациями: фонетический алфавит, арабскую (а возможно, индийскую) систему

счисления, в которой ноль считается числом, математику с ее разделами — геометрией и алгеброй, а также религию с ее представлениями о душе. Но Запад не паразитировал на этом наследии, ибо к началу XVIII в. сам преумножил интеллектуальное богатство человечества.

Дифференциальное исчисление, например, бесспорно следует назвать исключительным по своей значимости вкладом в науку. Другим и, пожалуй, наиболее фундаментальным вкладом Запада было создание научного метода, который со времен Галилея включал в себя систематический эксперимент в его чистом виде. Эллинистические, исламские и китайские ученые и изобретатели поняли, насколько важны эксперименты для проверки и подтверждения той или иной идеи, но, как представляется, они ничего этим не достигли в отличие от Галилея с его экспериментами с наклонной плоскостью, в которых условия постоянно менялись в зависимости от характера исследуемого природного явления. Они также не смогли предвосхитить мысленных экспериментов Ньютона, в которых

идеализированные явления (например, движение тела в вакууме) использовались для научного объяснения явлений реальных.

Без систематического проведения экспериментов прогресс в науке и технике может замедлиться и носить импульсивный характер. Усовершенствования конструкции плуга, например, были изобретениями чрезвычайно важными в странах, в экономике которых превалировало сельскохозяйственное производство, но они имели место несколько сот лет назад. До возникновения науки как таковой, пожалуй, никто не пытался улучшить конструкцию плуга путем сравнения эффективности работы режущих кромок различной формы в различных типах почв. Бетон был известен еще в древнем Риме, но он почти не находил применения в качестве строительного материала вплоть до конца XIX в., когда химики экспериментально исследовали его пригодность для использования в строительстве путем систематического изменения состава и концентрации входящих в него ингредиентов. В течение нескольких десятилетий бетон, в том числе и арми-



**ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНЫЕ** Европы сделали немалый вклад в накопление фундаментальных знаний, которые содействовали научно-техническому и экономическому прогрессу. Среди них (по часовой стрелке, начиная с верхнего левого рисунка) Николай Коперник (в Польше), Иоганн Кеплер (в Богемии), Галилео Галилей (в Италии) и сэр Исаак Ньютон (в Великобритании).

рованный, стал наиболее широко используемым (если брать по весу) строительным материалом в странах Запада.

Пожалуй, самой важной особенностью развития науки и техники в западных странах следует считать тот факт, что они всегда были неразрывно связаны. В других цивилизациях экономически полезные технические решения самым незначительным образом зависели, если вообще уместно говорить о какой-либо зависимости, от мудрости астрономов (или астрологов), философов, математиков и других мыслителей. Эти ученые мужи мало что могли предложить крестьянам, мореплавателям, кузнецам и другим ремесленникам, которые сами находили нужные им технические решения, руководствуясь имеющимся опытом и традициями. Мыслители же часто изолировали себя от всего окружающего и погружались в мир абстрактных идей, не желая со-

прикасаться с миром реальным, бренным и несовершенным. Ученые же Запада не сторонились того мира, в котором сами жили. Используемые ими эмпирические методы заставляли их находиться в контакте с реальной действительностью. Именно благодаря этой тесной связи с жизнью им удалось достичь столь многого.

**СТРАНЫ** третьего мира и Восточной Европы экономически отстают от стран Запада, несмотря на то что они имеют доступ к научным знаниям, накопленным во всем мире. Немалый вклад в развитие мировой науки сделал Советский Союз. Однако всем этим странам не хватает свойственной Западу способности превращать научные знания в практические дела — способности, которая зависит от внутреннего склада самих людей, проживающих в данной стране, и от ее общественного устройства. Во многих случаях технология, которая

является результатом практической реализации научных знаний, возникает из местных потребностей и традиций, и поэтому успешная с точки зрения экономики ее передача из одной страны в другую определяется многими факторами, а не ограничивается простым обучением.

Одним из неперенных требований обеспечения экономического роста является умение приспособить имеющуюся технологию к местным конкретным условиям. Независимо от того, где была разработана данная технология, люди и организации, которые ее используют, должны понимать ее основной смысл, проводить с ней эксперименты и уметь определять экономический эффект ее внедрения.

Япония, которую обычно считают первой незападной страной, достигшей такого же высокого уровня экономического развития, что и Запад, является примером правильной организации применения передовых тех-

нологий. На первом этапе предпринятой в Японии модернизации экономики, начавшейся еще в конце 60-х годов прошлого века, главный упор был сделан на перестройку сельского хозяйства. Технологии, заимствованные вначале у Северной Америки, потребовали больших капитальных затрат и были рассчитаны на повышение производительности труда рабочего. Однако вскоре в Японии поняли, что методы, применяемые в США, где имеется изобилие пахотных земель, не подходят для данной страны, которая располагает многочисленной рабочей силой, но испытывает недостаток в плодородных землях. Поэтому впоследствии японцы перешли к использованию других методов, преимущественно практиковавшихся в Западной Европе и требовавших привлечения большой численности рабочих. Именно эти методы и обеспечивали Японии максимальную производительность при имеющихся у нее скудных земельных ресурсах.

В промышленном производстве Япония также адаптировала западную технологию к местным экономическим условиям, характеризующимся наличием избыточной трудовой силы и недостатком капитала. Японские организации часто покупали подержанное, а не новое техническое оборудование. Там, где было возможно, они заменяли капитальные затраты рабочей силой и использовали западные технологии с применением трудоемких методов. Например, на текстильных фабриках было увеличено количество рабочих смен и задействовано большее число рабочих для проведения ремонтных и профилактических работ, с тем чтобы продлить срок службы технологического оборудования. Когда в Японии создавалась система железных дорог, там на прокладку каждой мили было задействовано в два с половиной раза больше рабочих, чем на выполнение такой же работы в США.

**ПАРАЛЛЕЛИ** между развитием промышленности в Японии и в Соединенных Штатах, где этот процесс начался на несколько десятилетий раньше, часто не замечаются. Как и Япония, США в начале своей индустриализации тоже заимствовали зарубежные технологии, преимущественно из Англии. Индустриализация в США началась в Новой Англии, Нью-Йорке, Пенсильвании и Делавере — в районах, где так же, как и в Японии, грамотность и официальное образование были уже в почете. США, как и Япония, были вынуждены приспособлять зарубежные технологии к местным условиям.

Однако, поскольку США располагают дополнительно богатыми природными ресурсами, производимая ими адаптация была связана с повышением расхода ресурсов и снижением доли задействованной рабочей силы. Европейцы, посетившие Соединенные Штаты в середине XIX в., часто осуждали американцев за расточительство природных ресурсов. Практиковавшиеся в США методы возделывания земли часто вели к быстрому снижению ее плодородия, но при этом всегда была возможность переместиться на новые земли, так что потери компенсировались. Американцы изобрели деревообрабатывающие машины, которые для англичан казались неизмеримо расточительными. Однако для страны, располагавшей богатыми лесными массивами в то время, экономически это было вполне оправдано.

В конце XIX в. частные фирмы в Германии и США начали основывать научно-исследовательские лаборатории в промышленности с целью разработки новой продукции и методов производства. В 1856 г. английский химик У. Перкин открыл анилиновый пурпурный краситель, первое пригодное для промышленных целей красящее вещество, являющееся производным каменноугольной смолы, а в следующем году он основал фабрику по производству красителя. Это событие положило начало как одному из основных направлений химической науки, так и ведущей отрасли химической промышленности. Перкин продолжал свою изобретательскую деятельность и сделал немало других открытий, но уже никто другой в одиночку не смог извлечь ничего полезного из производных каменноугольной смолы. Такое изобретение могло быть сделано только коллективно, в рамках института. Лишь после того, как в Германии фирмы, производящие химические вещества, создали несколько научных лабораторий, предназначенных для планомерного и организованного проведения исследований, стало возможным возникновение в период с 1890 по 1914 г. одной из основных отраслей промышленности, производящей красители из каменноугольной смолы.

Появление научных лабораторий в Германии послужило толчком к созданию в США исследовательских лабораторий фирмы General Electric. Когда в 1892 г. возникла эта фирма, она вначале полагалась на Ч. Штейнмеца, талантливого политического эмигранта из Германии, как на своего собственного изобретателя. Однако в 1900 г., после того как в Германии вновь созданные лаборатории нала-

дили производство превосходных материалов для нитей накалывания, используемых в электrolампочках, General Electric приняла на работу У. Уитни, профессора химии Массачусетского технологического института, с тем чтобы он организовал официальную лабораторию. В течение первой половины XX в. число научных лабораторий при частных фирмах увеличилось, и на этой основе возникло немало новых организаций, которые сыграли большую роль в накоплении фундаментальных научных знаний и в развитии техники.

**САМАЯ** хорошая дорога, ведущая к техническому прогрессу, часто плохо размечена. Огромным достоинством частного предпринимательства в условиях рыночной экономики является возможность быть независимым в принятии решений относительно границ сферы распространения той или иной технологии. Никто персонально и никакая организация не имеют права запретить самостоятельно предпринятое исследование. Насколько важно, чтобы решение принималось не в узком кругу кабинетного начальства, можно продемонстрировать на примере успеха персональных компьютеров, которые вначале были отвергнуты ведущими фирмами США, производящими вычислительную технику, как неперспективная продукция. Точно так же экспорт японских автомобилей в США первоначально был предпринят одной японской компанией, которая не посчиталась с рекомендациями японского правительства, которое призывало воздержаться от продажи автомобилей на американском рынке. По правде говоря, правительство было право, поскольку первые экспортируемые автомобили были сконструированы для японских потребителей, и у американцев, которые первыми приобрели эти машины, они работали плохо. Экспортеры тем не менее поняли, какие требования предъявляет американский рынок, и внесли необходимые изменения в конструкцию автомобилей. Вскоре после этого экспорт японских легковых машин в США для других компаний оказался делом весьма прибыльным.

Учитывая непредсказуемость процесса инноваций в научном, техническом и коммерческом отношении, эффективная экономика вынуждена стремиться сохранять баланс между принятием на вооружение только самых надежных проектов и настойчивым освоением каждой новой идеи, которая в действительности очень часто продолжает оставаться жизнеспособной еще в течение долгого вре-



ЛОНДОНСКОЕ КОРОЛЕВСКОЕ ОБЩЕСТВО содействия развитию естествознания (чаще называемое просто Королевским обществом), основанное в 1660 г., было одним из самых ранних объединений, способствующих обмену ин-

формацией между учеными. Впоследствии аналогичные объединения, известные как научные общества, возникли и в других странах Европы. Такие общества рассматривали открытия и либо признавали, либо отвергали их.

мени после того, как реальные надежды на успешное ее претворение, казалось бы, давно исчезли. При всех возможных выгодах и неудачах, которые несет в себе рыночная экономика, до сих пор она была самым надежным средством соблюдения требуемого баланса и превращения научных и технических знаний в общественно полезные товары и услуги.

Тем не менее свободное распределение полномочий в экономике в отношении принятия инновационных проектов не было бы возможным, если бы надежды на высокое вознаграждение тех, кто принимает решение, не сдерживались бы угрожающим риском больших потерь. Общественное внимание обычно направлено на сенсационные выгоды, которые нередко сулят те или иные нововведения, но осторожный инвестор никогда не упустит из виду ту роль, которая на Западе отводится судам по делам о банкротстве в связи с введением новшества: «топить» неудачников.

В западном мире, хотя технические новшества часто исходят от давно существующих фирм с большим опы-

том работы, немало весьма важных по своей значимости изобретений было пушено в коммерческий оборот силами только что возникших фирм, созданных специально для этой цели, или старыми фирмами, претерпевшими коренную перестройку. Роль новых фирм в инновационном процессе крайне важна не только с точки зрения их непосредственного вклада в развитие технического прогресса, но и по причине скрытой угрозы более старым фирмам, которые в противном случае, возможно, предпочли бы не связываться с внедрением новой технологии, чтобы не рисковать своим положением. Однако в социалистических странах свобода в отношении создания новых фирм строго ограничена и крайне затруднена в ряде менее развитых стран, где требуется получить разрешение у большого числа государственных организаций, прежде чем открыть какое-либо частное предприятие.

Помимо введения системы научных институтов для проведения исследований и разработок в промышленных корпорациях западные страны в тече-

ние XX в. создали и другие источники накопления экономически полезных знаний, особенно в тех областях, где рынок не стимулировал поиск новых технических решений. Чрезвычайно важной в этом отношении стала система государственного финансирования исследований, требующих особенно крупных капиталовложений как, скажем, работ в области физики элементарных частиц. Государственные органы также берут на себя финансирование исследований в таких областях, как общественное здравоохранение, профилактическая медицина, лечение редких заболеваний и обеспечение безопасности, т. е. в тех областях, достижение прогресса в которых крайне желательно для всего человечества, но не может обещать больших выгод для частных фирм. Исследования, спонсором которых выступает само правительство, проводятся как в государственных, так и в частных лабораториях. После второй мировой войны расширились и укрепились функции университетов как научных и технических центров, облагаемых льготным налогом.



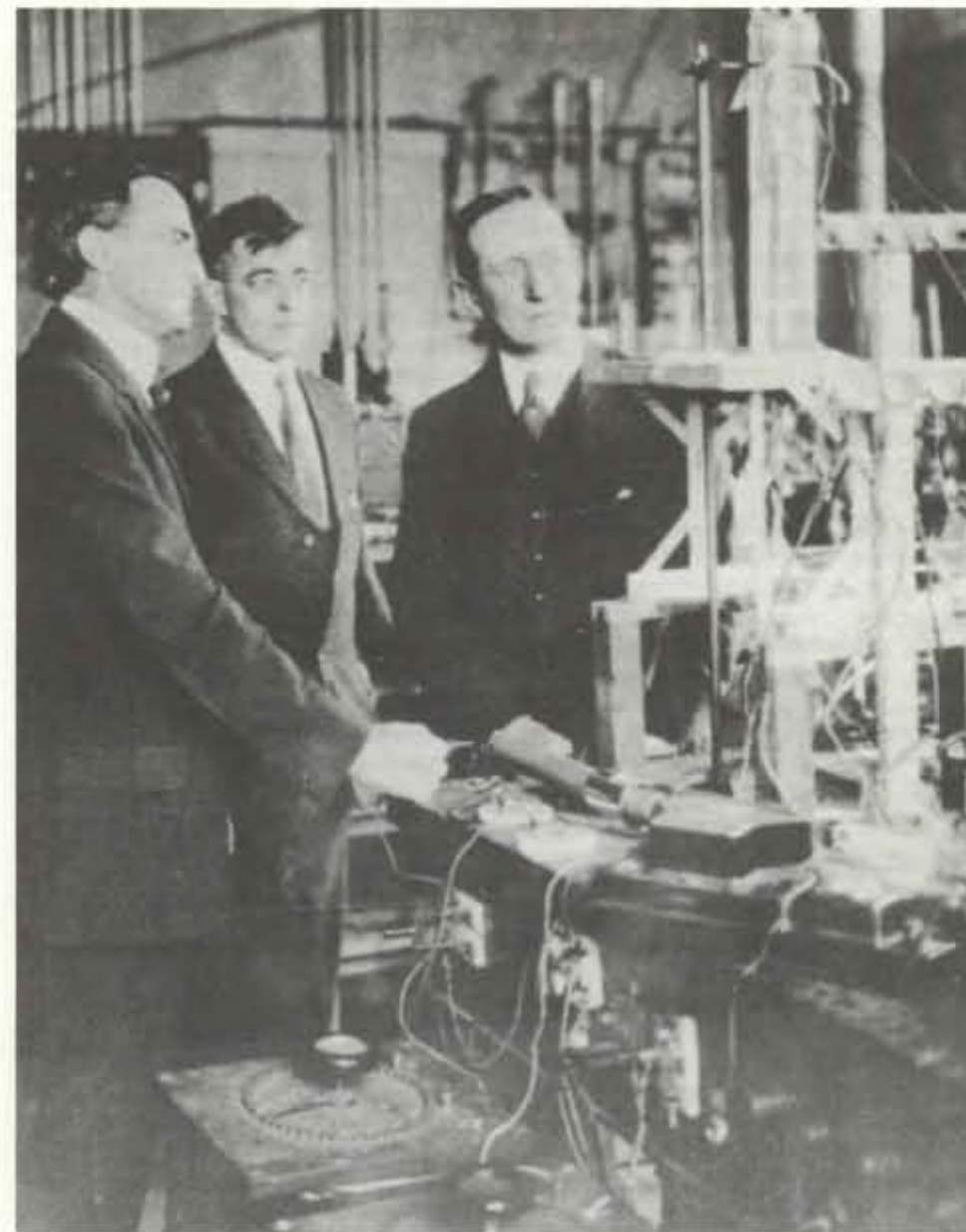
СТРОИТЕЛЬСТВО трансконтинентальной железной дороги было завершено в Промонтори-Пойнте (шт. Юта) в 1869 г. Создание разветвленной транспортной системы ускорило

развитие экономики за счет открытия новых и расширения действующих рынков, что в свою очередь послужило росту специализации в сфере производства.

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ рост на Западе сопровождался расширением торговли и ростом масштабов рынка. Развитие торговли частично было связано с техническим усовершенствованием морских судов и введением железных дорог — новшествами, которые позволили снизить транспортные расходы и риск. Как только стала возможной торговля товарами, производимыми только в том или ином регионе, изготовители смогли выйти на более широкий рынок и вложение средств в технологию, применимые для массового производства, для них стало оправданным. С появлением рефрижераторных морских судов, например, неуклонно растущее население европейских стран смогло продавать свою промышленную продукцию в обмен на мясо из Аргентины, Австралии и Соединенных Штатов. Затем с ростом масштабов мирового рынка экономически оправданным стало производство все более широкого ассортимента изделий, в большей степени отвечающих потребностям той или иной страны или конкретной группы потребителей. Такая тенденция была характерна для торговли многими видами товаров, например автомобилями, одеждой, продуктами питания, электронной аппаратурой.

Значимость международной торговли в последние годы возросла еще больше вследствие различий в уровне технического исполнения в странах, которые активно конкурируют на международных рынках, и в странах, придерживающихся политики замещения импорта внутренним производством (политики протекционизма), а также строгого регулирования торговли, как в социалистических странах. Единого мнения относительно того, почему активное участие в международной торговле, как представляется, тесно связано с экономическим ростом, не существует. Возможно, это объясняется совместным действием таких факторов, как экономия, обусловленная ростом масштабов производства, стимулирующее воздействие конкуренции, выигрыш за счет специализации производства, и отказ от чрезмерного и приводящего к обратному результату вмешательства государства в хозяйственную жизнь тех стран, которые успешно экспортируют свою продукцию.

Наиболее интересным примером специализации, характерной для промышленности западных стран, является возросшее число фирм, производящих только отдельные узлы и детали, особенно для автомобильной, электротехнической и электронной отраслей. Многие хорошо известные



УИЛЬЯМ УИТНИ, первый директор исследовательской лаборатории фирмы General Electric (слева), и Ирвинг Лангмюр, специалист в области промышленной химии, лауреат Нобелевской премии (в центре), демонстрируют вакуумный прибор изобретателю радио Г. Маркони (справа). Лаборатории, принадлежащие промышленным корпорациям, разрабатывали новую технику на основе передовых научных открытий.

производительные фирмы часто специализируются на конструировании, маркетинге, а иногда и на сборке конечной продукции, узлы и детали которой изготавливаются подрядчиками. Технические новшества, придуманные американскими, немецкими или японскими специалистами, могут, таким образом, повысить занятость не только в собственной стране, но и в Мексике, Южной Корее, на Тайване, в Сингапуре и во многих других государствах, если создать в них подрядные производственные предприятия. Современная сеть подрядных фирм является одновременно и сетью фирм, участвующих в международной торговле и осуществляющих операции, которые в значительной степе-

ни зависят от деятельности служб, оказывающих услуги в области транспорта, связи и обработки данных. В начале прошлого века о существовании таких разветвленных сетей, охватывающих различные по своим функциям службы в разных странах, нельзя было и думать.

Поскольку торговые сети в рыночной экономике не имеют центрального руководящего органа, их способность осуществлять хорошо организованную деятельность оставалась незамеченной еще на протяжении долгого периода после того, как началась западная чудо. При отсутствии центральной власти исключительно удачная организация западной экономики шла рука об руку с организацией



западной науки, которая также не имела верховного управляющего органа и, несмотря на это, стала эффективно действующей отраслью экономики, способной координировать работу тысяч ученых в различных областях знаний и множества научно-исследовательских организаций. Насколько децентрализация на Западе обуславливает экономический рост, в такой же степени относительно независимое от политического контроля положение искусства, литературы, музыки, религии и других важных сфер социальной жизни является залогом их процветания.

**Г**ЛАВНАЯ проблема управления в любой экономической системе заключается в том, чтобы создавать и укреплять постоянно меняющийся поток взаимозависимых решений относительно производства и потребления, которые должны оптимизировать благосостояние людей. Не позднее чем с XII в. нерегулируемая рыночная торговля начала постепенно проникать в экономику западноевропейских стран, традиционно контролируемые властями, купеческими гильдиями и церковью. Этот многовековой процесс одновременно сопровождался и зарождением новых направлений в торговле (включая международную), выходящих за пределы юрисдикции властей, и прямым неповиновением тем, кто контролировал торговлю. По сложившейся традиции власти на Западе открыто регулировали цены и заработки и стремились сохранять их довольно сносными, неизбежно руководствуясь при этом субъективными критериями.

Медленное развитие нерегулируемой рыночной торговли постепенно все больше и больше преобразовывало экономический уклад стран Западной Европы путем превращения цен и заработков в этически нейтральный инструмент, позволяющий поддерживать соответствие между спросом и предложением, и в результате сложилась и стала развиваться западная экономика, механизм которой многим был непонятен вплоть до конца XVIII в., когда ее изучением занялся Адам Смит. Наиболее заметными государственными структурами в то время были правительство, армия и католическая церковь, причем каждая из этих структур имела свою иерархию. Для многих обозревателей сама по себе идея организации предполагала иерархию власти, а ее отсутствие связывалось с хаосом. Люди не могли видеть, что благодаря механизму децентрализации, западные страны в своем экономическом развитии достигали нового уровня специализа-

ции, а также новых масштабов и эффективности организации, не имевших прецедентов в истории человечества.

К тому времени, когда в начале XX в. крупнейший немецкий социолог Макс Вебер писал свою знаменитую работу о роли организации, регулирующая сила рынка была широко признана среди обществоведов. Однако некоторые отдавали предпочтение бюрократическому устройству, видя в нем исключительную жизнеспособную альтернативу, которая, как представлялось, давала возможность возвратиться к давно утраченным «справедливым» ценам и «справедливой» оплате труда, что для социалистов и представителей многих других течений казалось привлекательным. Сравнение развития в течение последних 70 лет экономических систем на Западе и в социалистических странах Восточной Европы, где в последнее время наблюдаются коренные экономические преобразования, дает основание предполагать, что эти две системы имеют существенные различия, не позволяющие считать их равноценными.

Рыночная торговля, если рассматривать ее саму по себе, может быть управляемой правительственными органами, торговыми объединениями, потребителями, инвесторами или другими группами людей. Однако в истории развития западной экономики рыночная система сложилась благодаря предприимчивости представителей купечества, которые действовали в рамках института сугубо западного образца, а именно торговых и производственных фирм. Представляется, что типично западным в этих институтах является их частая конкуренция в стремлении выпускать новую продукцию, в освоении новых методов производства и во внедрении новых форм распределения. Успех экономики западных стран в практическом использовании собственной технологии нельзя считать следствием только господства нерегулируемых рыночных отношений, он также обусловлен и тем, что в рыночных условиях всегда есть такие промышленные фирмы, которые могут получать большие выгоды за счет более быстрой коммерциализации новых идей по сравнению с их соперниками.

Как уже было сказано, внедрение различных новшеств — это рискованная тактика в конкурентной борьбе, и фирмы, которые сохраняют свое существование или разоряются в результате непредсказуемости выгод и потерь, — это организации совсем иного типа, отличающиеся от административных правительственных уч-

реждений. Этот аспект рассматриваемой проблемы имеет сегодня особую важность для Советского Союза и стран Восточной Европы: отвергнув те виды учреждений, с помощью которых Запад проводил коммерциализацию нововведений, они теперь сталкиваются с острой потребностью в быстром обновлении продукции, способов производства и организации в своем стремлении сократить разрыв в уровнях экономического развития между Востоком и Западом. Несмотря на то что осознание необходимости доверия к рыночной экономике растет, пока, тем не менее, нет полного понимания того, чтобы советские и восточноевропейские предприятия сами заботились об обновлении своей продукции, выбирали предпочтительные для них способы производства и имели полную самостоятельность в организации своей деятельности, получая в результате либо выгоды, либо потери.

**П**ЫТАЯСЬ объяснить природу западного чуда, мы исходили из того, что длительное наращивание темпов экономического развития и научно-технический прогресс неразрывны в своей динамике и ни один из этих процессов не может происходить достаточно долго без другого. Но хотя прогресс в экономике и прогресс в науке и технике тесно переплетены и неотделимы один от другого, никаким простым законом природы нельзя обусловить зависимость технологии от экономического роста или наоборот. Расширение границ рынка может привести к более эффективному разделению труда и к более рациональной специализации без внедрения каких-либо принципиальных технических новшеств. Ключевым фактором является взаимодействие людей, экономических институтов, развивающихся рынков и технологий.

В конце второй мировой войны многие ученые и политики полагали, что будущее всех народов связано с социализмом или по крайней мере с какой-либо другой формой плановой экономики. Давно существующие западные рыночные институты рассматривались как загнивающие, и это увязывалось с колониализмом. Поэтому лишь небольшое число развивающихся стран в то время выбрали путь, которым следовали западные страны, и даже правительства этих развивающихся государств принимали более активное участие в решении экономических вопросов, чем мог бы предложить им Адам Смит. К числу этих немногих стран относились Тайвань, Южная Корея, Гон-Конг и Сингапур, которые можно считать при-

мерами необычайного экономического процветания в истории XX в.

Никто не может гарантировать, что другие страны достигнут столь же высоких результатов, если они тоже будут проводить политику копирования пути, пройденного Западом. Но пронаблюдав 40-летний период развития стран с социалистическим и популистским режимами в Восточной Европе, Азии, Африке и Южной Америке, мы пришли к заключению, что, для того чтобы получить реальный шанс на успех, не копируя западный путь, убежденность должна одержать верх над имеющимся опытом.

Наука, которая перестала быть достоянием только Запада, все быстрее и быстрее раздвигает границы познания. Поскольку знания являются ресурсом для экономики и их накопле-

#### ОТ ИНСТИТУТА МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ И МЕЖДУНАРОДНЫХ ОТНОШЕНИЙ АН СССР

Вопрос о роли фактора, который можно условно назвать «экономическая культура», в опережающем развитии стран Запада по отношению к Востоку — а именно такова сюжетная основа этой статьи — пока не стал в нашей литературе предметом развернутого анализа. Он плохо вписывается в рамки привычной для нас парадигмы, объясняющей экономическое развитие стран и регионов последовательной сменой общественных формаций. Между тем вряд ли можно отрицать, что «цивилизационный» аспект этого развития, питающий специфику их исторического пути, находится в сложной связи с «диалектическим единством базиса и надстройки». Современное обществоведение уже не может игнорировать необходимость методологического осмысления этой связи, не рискуя оторваться от очень существенных аспектов действительности. Поэтому экспликативные модели, предлагаемые сторонниками немарксистских научных направлений, представляют для нас особый интерес.

Статья американских авторов ставит вопрос: чем объяснить беспрецедентный в истории человечества экономический прогресс стран Запада, которые на протяжении двух последних столетий далеко опередили Восток по уровню развития и благосостояния? Ответ таков: в силу особенностей западного менталитета в этих странах рано возникла независимая наука, развивавшаяся по законам свободного рынка, тоже порожденным условиями Запада, и с определенного момента (конец прошлого века) ее органичная связь с промышленной технологией породила тот комплекс предпосылок, который и обусловил непрерывный стремительный рост

ние происходит ускоренными (по экспоненте) темпами, можно ожидать, что благосостояние людей и впредь будет возрастать не менее быстро, чем за последние 200 лет. Наука может играть более заметную роль в решении таких глубоко укоренившихся проблем, как загрязнение окружающей среды, рост численности населения, но только в контексте повышения эффективности государственного управления и регулирования, а также заинтересованности каждого человека. Ставшие в последнее время доступными данные об истинном положении в Восточной Европе свидетельствуют о том, что загрязнение окружающей среды промышленными отходами в странах этого региона куда сильнее, чем в западных странах с рыночной экономикой.

Страны Востока, где экономико-культурные предпосылки были существенно иными, отстают и рискуют отстать еще больше, если не возьмут на вооружение западный опыт, и прежде всего его основной элемент — свободное рыночное предпринимательство.

При всей очевидности этих констатаций, стремление представить их в виде модели, дающей универсальное объяснение сформировавшегося экономического разрыва между Западом и Востоком, не может не вызвать ряда вопросов и возражений. Коснемся только двух из них, наиболее существенных.

Первое связано с принципиальной оценкой того, какое историческое воздействие оказало и может оказывать впрямь различие типов общественных структур Запада и Востока на ход совершившегося в них технического прогресса. Подход, предлагаемый авторами статьи, хотя в скрытой форме и включает признание значительной роли факторов структурно-институционального порядка, по сути дела оставляет их за рамками анализа. Статья блестяще иллюстрирует типологическое различие экономико-культурного «поведения» западного и восточного общества, складывавшееся веками; но вопрос о том, в какой мере сложившийся разрыв является порождением структурных, а в какой — «цивилизационных» исторических причин, остается открытым и по существу даже не поставлен.

Второй вопрос связан с тем, насколько возможен и чем обусловлен сейчас выбор странами Востока более эффективного пути в рамках мирового хозяйства. Капиталистический рынок, как о том свидетельствует огромная литература (назовем хотя бы имена И. Валлерстайна и С. Амина), по своей природе дихотомичен и обладает кумулятивным эффектом: сложившийся между его центром и периферией разрыв под действием чисто рыночных

Ввиду большой вероятности дальнейшего роста международной торговли и расширения рынка поступательное развитие экономики на Западе в будущем может способствовать увеличению разрыва в уровнях благосостояния между странами, которые следуют западному примеру, и теми, которые отвергают этот путь. Экономическое отставание одних стран от других уже создает большие политические и социальные осложнения в развивающихся странах, особенно после того, как некоторые из них наглядно доказали, что этот разрыв может быть ликвидирован. До тех пор пока эти страны не предпримут эффективных практических шагов, их достижения могут быть еще менее удовлетворительными, чем те, которые наблюдались в течение последних 40 лет.

факторов может лишь увеличиваться. Кроме того, экономико-культурная традиция является плодом длительного исторического развития, сложного комплекса причин; полагать, что она может оказаться результатом некоей одноразовой абберации политического зрения (см. трактовку авторами «социалистического выбора» в восточной части Европы) или круто сменить традицию, которую руководители той или иной страны решили просто заимствовать у Запада, значит по меньшей мере грешить субъективизмом. Вопрос, очевидно, более сложен, и быстродействующих рецептов его решения нет.

Однако еще большей ошибкой, на наш взгляд, была бы сегодня позиция узко понятого исторического детерминизма. Растущая интернационализация хозяйственной жизни создает предпосылки для усвоения передового зарубежного опыта. Современному этапу НТР присущ активный поиск новых путей во всех сферах производства, общественной жизни и науки. Уже есть и примеры успешного преодоления странами периферии своей вчерашней отсталости. И в этом смысле статья американских авторов бьет в цель: никогда еще проблема эффективного использования «исторического времени», мобилизации всех наличных материальных и духовных ресурсов на решение задачи опережающего хозяйственного развития своей страны по отношению к мировому сообществу не стояла так остро для стран Востока — независимо от исторических причин, которые в прошлом обусловили их отторжение на периферийные (или «альтернативные») позиции в мировом хозяйстве. Найти и осуществить эту новую хозяйственную модель, последовательно работая над изменением сложившихся за многие десятилетия стереотипов и привычек национальной экономической культуры, является и нашей неотложной, жизненно важной общественной задачей.

# Черные дыры в центрах галактик

*Некоторые черные дыры обеспечивают энергией интенсивно излучающие квазары; большинство черных дыр, по-видимому, «дремлет» в относительно спокойных галактиках типа нашей. Проникновение в сущность этих массивных объектов поможет воссоздать раннюю историю Вселенной*

МАРТИН ДЖ. РИС

**ГАЛАКТИКИ** — это основные строительные блоки Вселенной. Свечение большинства галактик обусловлено общим свечением десятков или сотен миллиардов составляющих их звезд. Но уже более 25 лет астрономам известно, что некоторые галактики обладают также ярким компактным центральным ядром, излучение которого нельзя полностью объяснить излучением обычных звезд. Наиболее выдающимся примером этих так называемых активных ядер галактик являются квазары — объекты, не превышающие по размерам Солнечную систему, — полное излучение которых превосходит излучение 100 млрд звезд. Квазары, по-видимому, представляют особенно активную стадию в эволюции некоторых галактик. Имеются многочисленные свидетельства в пользу того, что многие (возможно, большинство) молодые галактики находятся в фазе квазара или квазароподобной активности.

Большинство астрономов согласны, что энергия ядер активных галактик связана с гравитацией. Из их колоссального излучения и малых размеров можно заключить, что источник гравитации должен быть массивным, но чрезвычайно компактным. Наиболее вероятным кандидатом на роль центрального механизма, питающего энергией квазары, является черная дыра — коллапсирующий объект, сила гравитации которого столь велика, что ничто, включая свет, не может его покинуть.

Открытие черных дыр в центрах галактик, очень интересное само по себе, могло бы оказать влияние на современные представления об эволюции Вселенной. Квазары появились тогда, когда возраст Вселенной не превосходил 1 млрд лет, свидетельствуя о том, что у некоторых галактик к тому времени уже сформировались

плотные центральные области. Раннее появление квазаров опровергает многие космологические модели, в которых предсказывается, что на образование галактик потребовались миллиарды лет, и даже поднимает вопрос о справедливости самой модели холодного темного вещества. Недавно проведенные измерения микроволнового фонового излучения только усугубляют эту загадку. Большинство теоретиков считают, что галактики образовались из флуктуаций плотности в новорожденной Вселенной. Однако измерения фонового излучения указывают, что эти флуктуации были столь незначительными, что трудно понять, как они могли породить наблюдаемые в настоящее время структуры. Помимо значения для космологии обнаружение массивных черных дыр могло бы также пролить свет на предсказания общей теории относительности Эйнштейна.

Из теории следует, что черная дыра в центре галактики может «подать сигнал» о своем существовании. Газ, приближающийся к черной дыре по спиральной траектории, разгоняется почти до скорости света. В результате трения газ сильно разогревается и превращается в электропроводящую плазму. Гравитация черных дыр сжимает образующиеся в плазме магнитные поля, генерируя дополнительное тепло. Такое горячее плотное вещество интенсивно излучает. В результате черная дыра превращает вещество в энергию более чем в 10 раз эффективнее, чем это происходит при ядерных реакциях, обуславливающих свечение звезд.

Нет ничего удивительного в существовании черных дыр в центрах галактик. Как только галактики начинают образовываться из первичного вещества, звезды или газовые облака в самых плотных центральных областях галактик могут сливаться и кол-

лапсировать с образованием черных дыр. Дополнительное падающее вещество заставит черную дыру проявлять себя как квазар. Испускаемая квазаром энергия в свою очередь может способствовать дальнейшему формированию галактик.

Масса, накапливающаяся в центре эллиптической галактики, вероятно, пропорциональна полной ее массе. В спиральных галактиках, таких, как наш Млечный Путь, черная дыра может быть связана не с полной массой галактики, а с массой центрального плотного утолщения — балджа, которая намного меньше массы типичной эллиптической галактики. Самые мощные квазары, вероятно, связаны с наиболее массивными черными дырами в эллиптических галактиках. Спиральные галактики, черные дыры в которых обладают умеренной массой, никогда не бывают мощными квазарами.

Не все эллиптические галактики обязательно содержат черные дыры. Даже если черная дыра и была когда-то в галактике, теперь ее там может и не быть. Некоторые теоретики сейчас считают, что многие эллиптические галактики образовались в результате слияния двух или более галактик: траектории их звезд «перепутываются» и вся груда звезд приобретает эллиптическую форму. Если исходные галактики содержали массивные центральные черные дыры, то они будут двигаться по спиральным траекториям к центру объединенной галактики и в конце концов перейдут на взаимные орбиты. Две черные дыры еще сильнее приблизятся друг к другу, так как орбитальная энергия в соответствии с теорией относительности будет излучаться в виде гравитационных волн. Мощный всплеск гравитационного излучения в момент окончательного слияния может вызвать отдачу, которая может «вышвырнуть» образовав-

шуюся черную дыру в межгалактическое пространство. Датчики, помещенные в космосе, могли бы в принципе обнаружить эти мощные гравитационные волны, подтверждая справедливость теории Эйнштейна.

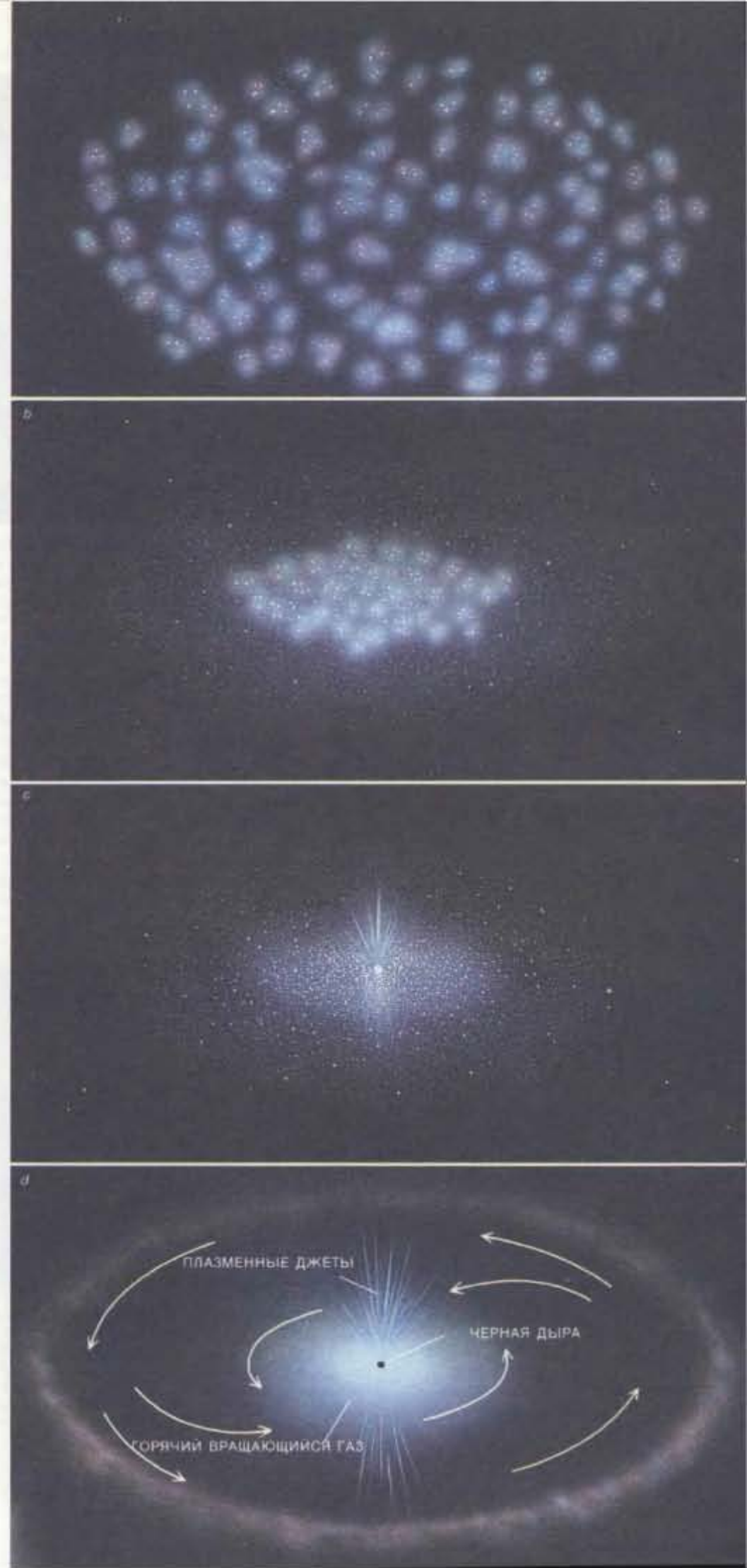
Все эти идеи остаются обескураживающе умозрительными. Исследователям хотелось бы знать в деталях, как функционируют квазары и другие активные ядра галактик, как часто они встречаются и что с ними происходит, когда они угасают. Более глубокое проникновение в природу этих мощных загадочных объектов поможет пролить свет на образование и эволюцию галактик.

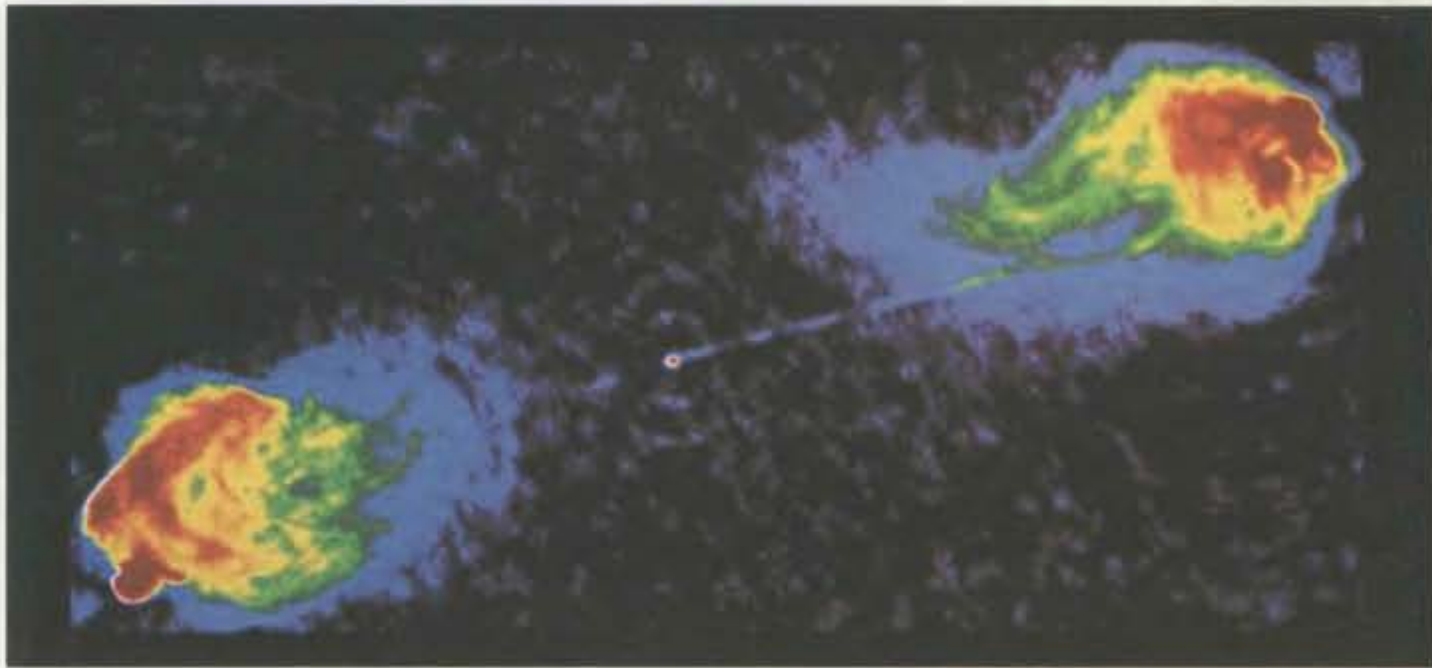
**К**ВАЗАРЫ весьма трудны для изучения, поскольку они очень удалены от Земли и в пространстве, и во времени. Они выглядят такими, какими были миллиарды лет назад, когда свет, достигший сейчас Земли, начал свое путешествие.

Астрономы измеряют эти огромные космические расстояния по красным смещениям — изменению длины волны света объекта, или его «покраснению». Из-за общего расширения Вселенной каждый объект удаляется от другого объекта (за исключением малой шкалы расстояний), причем скорость удаления пропорциональна расстоянию между ними. Сходным образом ведут себя точки, нарисованные на воздушном шаре; когда шар надувают, каждая точка на его поверхности удаляется от всех остальных точек. Чем больше расстояние между точками, тем быстрее раздувающийся шар уносит их друг от друга. Ни об одной точке нельзя сказать, что она лежит в центре поверхности шара, точно так же ни одна галактика не находится в центре расширяющейся Вселенной.

Красные смещения самых далеких квазаров столь велики, что между ис-

**РОЖДЕНИЕ ГАЛАКТИК**, возможно, тесно связано с образованием черной дыры. Согласно одной из теорий эволюции, большое газовое облако коллапсирует под действием собственной гравитации (а) и образует уплотненный диск с конденсированной центральной областью, в которой формируются звезды (b). Затем самые плотные внутренние области галактики продолжают коллапсировать с образованием черной дыры; окружающее вещество, падая на черную дыру, интенсивно излучает (c). Размеры черной дыры, вероятно, зависят от размеров центрального галактического утолщения (балджа). Самые большие черные дыры обеспечивают энергией интенсивно излучающие квазары (d).





В ГАЛАКТИКЕ ЛЕБЕДЬ А — наиболее интенсивном радиосточнике — излучают преимущественно две полости, заполненные плазмой (ионизованным газом), поперечником в сотни тысяч световых лет. Энергия этих областей, по-видимому, обеспечивается горячими выбросами, обуслов-

ленными падением вещества на большую черную дыру в центре галактики. Энергия полостей эквивалентна массе в несколько миллионов солнечных; размер и структура полостей позволяют предположить, что активность Лебеда А продолжается в течение десятков миллионов лет.

пусканьем и регистрацией длина волны их излучения изменилась более чем в пять раз. Достигающий Земли видимый свет этих квазаров в момент испускания приходился на коротковолновую ультрафиолетовую область спектра.

Космологическое красное смещение можно рассматривать как отношение между современными размерами Вселенной и ее размерами в то время, когда свет был испущен. Красное

смещение квазара показывает, каковы были размеры, и следовательно, каков был возраст Вселенной, когда квазар испустил свет. Наблюдая квазары, астрономы переносятся в прошлое, в ту эпоху, когда Вселенная не превышала 1/5 ее современного размера. Принимаемая большинством астрономов космологическая модель утверждает, что возраст современной Вселенной составляет 13 млрд лет и что свет от самых далеких кваза-

ров начал свое путешествие, когда возраст Вселенной был всего лишь 1 млрд лет.

Обзоры нескольких тысяч квазаров показали, что их численность радикально изменяется со временем. Когда возраст Вселенной был около 2 млрд лет, квазаров было гораздо больше, чем в настоящее время. Пик активности квазаров приходится на эпоху, когда Вселенная была в три раза меньше, чем теперь, т. е. примерно между 2 и 3 млрд лет после начала расширения из сингулярного состояния (Большого взрыва). Очевидно, значительно более старые квазары редки не только потому, что они находятся дальше и, следовательно, они слабее, но и потому, что численность квазаров становится меньше при красных смещениях, соответствующих эпохе раньше чем 2 млрд лет после начала расширения.

Большинство квазаров, которые когда-либо были активны, теперь, очевидно, угасли. Ближайший яркий квазар, имеющий обозначение 3C273, находится на расстоянии 2 млрд св. лет от Земли, и его видимый блеск составляет  $14^m$  (в 1000 раз слабее, чем можно наблюдать, невооруженным глазом). Напротив, в «эпоху квазаров» — примерно 11 млрд лет назад — ближайшие квазары находились на расстоянии всего 25 млн св. лет и их блеск составлял  $4^m$ , т. е. они были доступны невооруженному глазу. Конечно, можно предполагать, что в ту эпоху квазары были ближе друг к дру-

гу просто потому, что сама Вселенная была меньше и плотнее. Но квазары тогда были в 1000 раз более многочисленны по сравнению с галактиками, чем теперь.

Первые квазары появились удивительно быстро после начала расширения Вселенной. Астрономы обнаружили по меньшей мере несколько квазаров с красным смещением около 6, т. е. они уже существовали, когда Вселенная была моложе 1 млрд лет. Эти старые, удаленные квазары накладывают строгие ограничения на теории образования галактик.

Вероятно, стадия квазара не может начаться до тех пор, пока по крайней мере несколько галактик не сольются и не образуют сконденсированные центральные области. Только тогда гравитационный потенциал в центре будет достаточен, чтобы привести к катастрофическому гравитационному коллапсу, образованию черной дыры и рождению квазара. Открытие того, что квазары появились на столь ранней стадии эволюции Вселенной, ставит под сомнение некоторые теории образования галактик, в которых утверждается, что формирование галактик началось значительно позже.

Резкий подъем и спад численности квазаров, а также всех активных ядер галактик озадачивает. Стадия квазара — особенно очень молодых галактик, возможно, потому, что в ходе эволюции все больше газа связывается в звезды, оставляя все меньше «топлива» для квазаров.

Из одних лишь обзоров неба невозможно установить, является ли фаза квазара кратковременной стадией эволюции всех молодых галактик или сильной аномалией в нескольких необычных из них. Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо знать время жизни типичного квазара.

В современную эпоху на каждые 100 тыс. галактик приходится менее одного квазара. Даже в эпоху квазаров 11 млрд лет назад квазары были примерно в 100 раз менее многочисленны, чем нормальные галактики. Из этого можно сделать вывод, что только одна галактика из 100 проходит стадию квазара и поэтому лишь 1% всех галактик к настоящему времени уже угас. Но существует и альтернативная возможность: за время между подъемом и спадом общей численности квазаров могло появиться, проэволюционировать и исчезнуть много поколений короткоживущих квазаров. (Можно провести аналогию с городом, численность населения которого возрастает и сокращается на протяжении столетий, в то время как сменяется много поколений его жите-

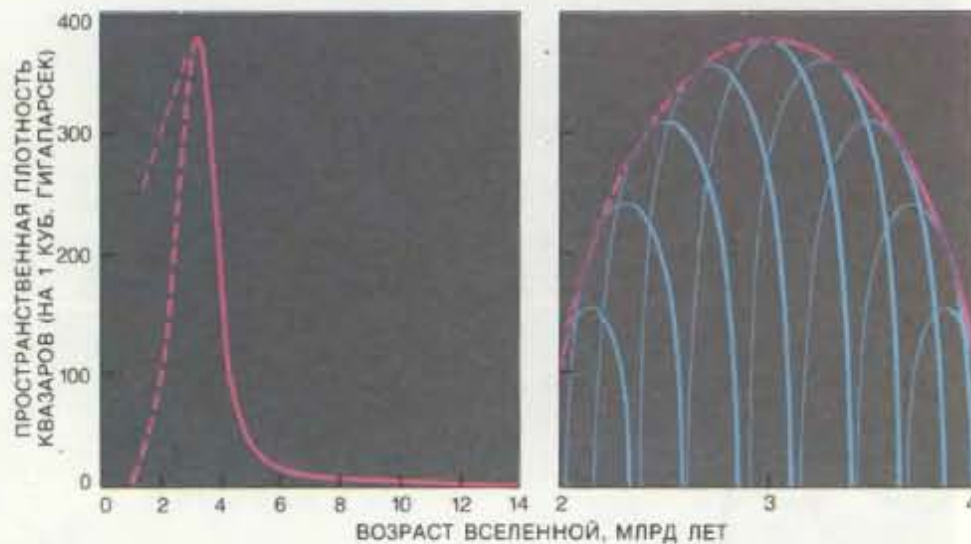
лей.) Каждый отдельный квазар может существовать кратковременно, возможно, много меньше миллиарда лет. В таком случае остатки квазаров будут более многочисленны, чем в случае, если бы существовало только одно поколение квазаров.

Один из способов оценки продолжительности активной стадии квазара состоит в оценке его массы. Самые мощные квазары излучают такое количество энергии, что они должны ежегодно поглощать несколько десятков солнечных масс. Если активность этих квазаров продолжается миллиард лет, то они должны прекращать свое существование при массе, равной нескольким десяткам миллиардов солнечных. Даже более распространенные квазары меньшей светимости должны иметь массу более 1 млрд солнечных масс. Если же, с другой стороны, появилось и исчезло много поколений короткоживущих квазаров, то ни один квазар не имел бы достаточно времени, чтобы аккумулировать такую огромную массу.

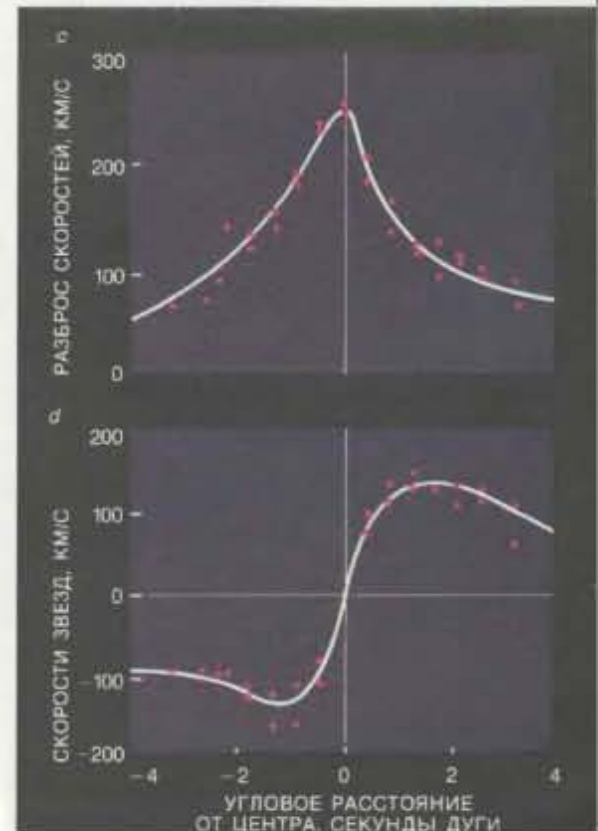
Имеются достаточные физические обоснования того, что масса квазара должна составлять по крайней мере 100 млн солнечных независимо от времени их жизни. Излучение создает слабое давление. Сильное давление излучения способно «выместить» все вещество из окрестностей квазара, если гравитация окажется недостаточной, чтобы его удержать. Если источником энергии квазаров служит аккреция окружающего газа, то их масса должна быть достаточной для того, чтобы гравитация превосходила давление излучения. Поэтому из светимости квазара можно определить его минимально возможную массу. Типичные квазары должны иметь массу, равную по крайней мере 100 млн солнечных, а самые мощные — 1 млрд солнечных.

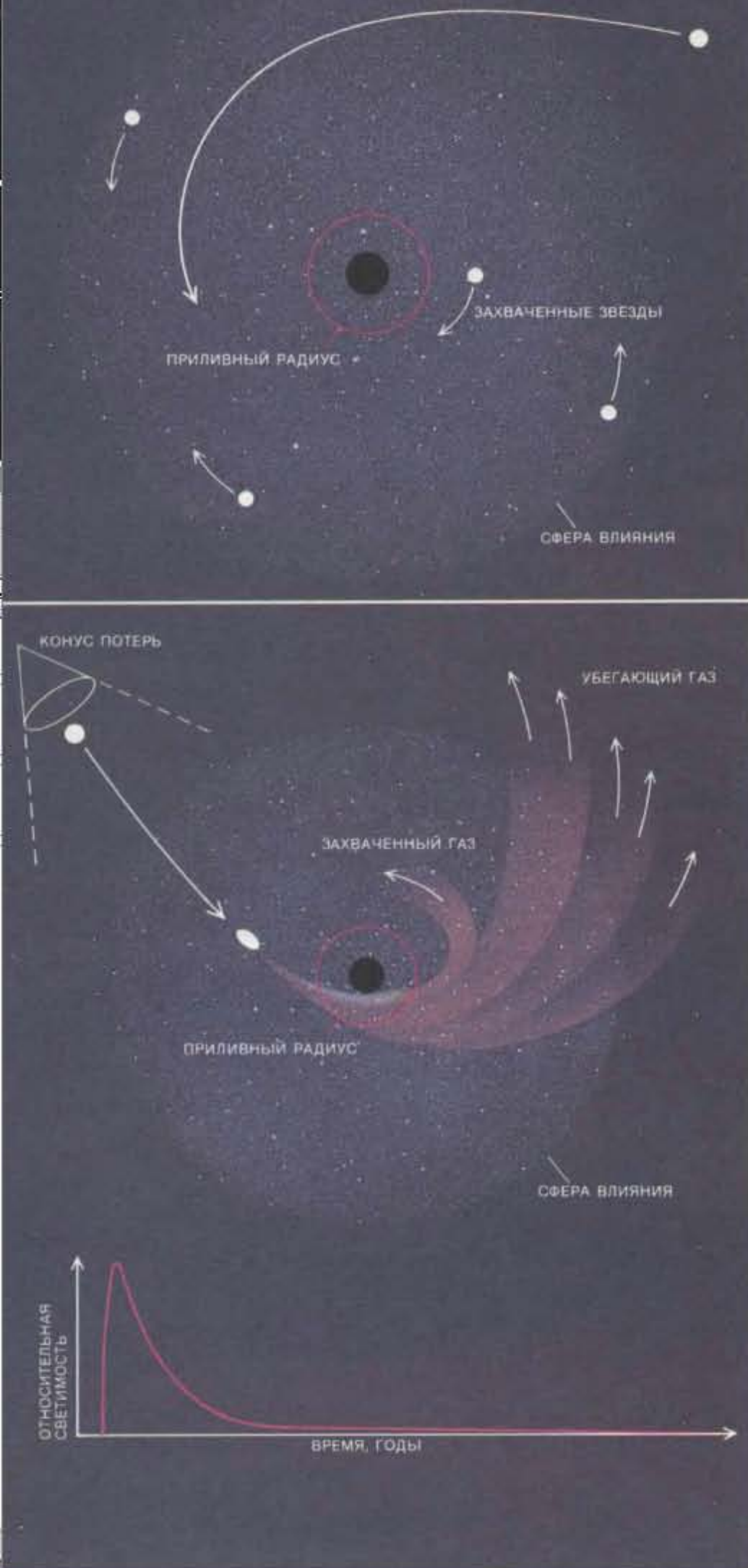
Для меньшинства квазаров, являющихся радиосточниками, можно использовать другой метод оценки массы. Радионизлучение обычно исходит из двух огромных полостей, которые заполнены плазмой, возбуждаемой квазаром. Энергия, запасенная в этих полостях, эквивалентна массе миллионов Солнц; при некотором разумном уровне эффективности, чтобы

В ЦЕНТРЕ ТУМАННОСТИ АНДРОМЕДЫ (а) находится компактная масса, возможно, черная дыра. На изображении плотной области ядра крупным планом (b) видна высокая концентрация звезд. Разброс скоростей (c) и орбитальные скорости (d) резко возрастают в центре, указывая на интенсивное гравитационное притяжение невидимого массивного объекта.



ЧИСЛЕННОСТЬ КВАЗАРОВ в ранней Вселенной в период примерно от 2 до 4 млрд лет после начала расширения (Большого взрыва) была гораздо выше, чем в настоящее время (слева). В еще более раннюю эпоху их численность сокращалась, но об этом получены только фрагментарные данные. В астрофизических теориях предполагается, что в медленно меняющейся численности квазаров «замаскировано» много поколений короткоживущих объектов (справа).





выделять такую энергию, квазар должен накопить массу по крайней мере 100 млн солнечных. Строение радиоизлучающих полостей свидетельствует о том, что эти квазары активны уже довольно продолжительное время на протяжении их жизни.

К сожалению, неизвестно, какой массой обладает квазар при рождении. С помощью спектроскопических исследований установлено, что квазары подвергаются сильному воздействию давления излучения; это свидетельствует о том, что их масса не увеличивается настолько, чтобы гравитация полностью превосходила силу излучения. Это предполагает, что квазары не могут существовать более 50 млн лет. Такое относительно короткое время жизни указывает, что многие, возможно все, галактики «в молодости» прошли через стадию квазара или квазароподобной активности.

Эти далеко не точные факты — единственные, с помощью которых астрономы могут судить о массах и временах жизни активных квазаров. Теоретические оценки массы могут быть уточнены путем отдельных расчетов для подклассов квазаров, имеющих, например, различные светимости и свойства в радиодиапазоне, но значительная неопределенность в найденных таким способом временах жизни все же остается.

**ДРУГОЙ** путь глубже проникнуть в природу квазаров и активных ядер галактик заключается в поиске их «останков» — никак не проявляющих себя черных дыр, находящихся, возможно, в центрах многих соседних галактик. Таким путем можно непосредственно измерить массы и численность этих объектов.

Массивная черная дыра проявляет себя как квазар лишь до тех пор, пока она подпитывается газом и пылью, захваченными из ее окрестностей. В вакууме она абсолютно неспособна испускать наблюдаемое излучение. Однако даже в этом случае она оказывает обнаружимое гравитационное воздействие на окружающие объек-

**ЧЕРНАЯ ДЫРА** захватывает гравитационным притяжением все звезды, оказавшиеся в пределах ее критического радиуса, образуя различимое скопление быстро движущихся звезд (вверху). Звезды, приближающиеся к черной дыре под малыми углами, попадают внутрь ее приливного радиуса и разрушаются (в середине). Часть звездного газа падает на черную дыру, вызывая кратковременную вспышку. Черная дыра в основном находится в состоянии покоя (внизу).



ЭФФЕКТ «ГРАВИТАЦИОННОЙ РОГАТКИ», когда двойная звезда близко подходит к черной дыре. Один компонент захватывается черной дырой, а другой улетает со скоростью

10 000 км/с. При обычных столкновениях звезд такие скорости недостижимы.

ты. Большая черная дыра в ядре галактики притягивала бы к себе звезды, что вызвало бы их сгущение вблизи ее центра. Звезды вблизи черной дыры обращались бы по своим орбитам аномально быстро.

Каждая звезда в галактике подвержена влиянию общего гравитационного поля остального галактического вещества. Звезды могут захватываться на орбиты меньшего радиуса, если приблизятся к черной дыре. Причем орбитальная скорость возрастает.

Радиус «сферы влияния» черной дыры на окружающие звезды прямо пропорционален ее массе и обратно пропорционален квадрату скорости звезды. Другими словами, чем быстрее движется звезда, тем меньше она подвержена притяжению черной дыры. Сфера влияния в миллионы раз больше самой черной дыры, но ее поперечник составляет всего несколько десятков световых лет. Даже в соседних галактиках угловые размеры такой области будут составлять лишь несколько секунд дуги (одна секунда дуги равна 1/3600 градуса).

Один из признаков черной дыры, затаившейся в сердце галактики, — резкий «скачок» на кривой яркости галактики вследствие концентрации звезд в сфере влияния черной дыры. Ряд исследователей искали такие скачки, но полученные результаты всегда содержат большую неопределенность, поскольку другие источники, такие, как светящиеся газовые облака, могут вносить вклад в излучение центра.

Еще один, более однозначный признак черной дыры — наличие звезд, движущихся аномально быстро и очень близко к центру галактики. Отдельные звезды, имеющие обычную светимость, не могут быть обнаружены в других галактиках, особенно в их плотных центрах. Угловые размеры

образований, которые можно разрешить с помощью наземных оптических телескопов, составляют полсекунды дуги. Эти угловые размеры соответствуют области поперечником 5 св. лет в туманности Андромеды, которая расположена на расстоянии 2 млн св. лет и является большой спиральной галактикой типа нашего Млечного Пути; область таких размеров содержит десятки тысяч звезд.

Однако нет необходимости наблюдать отдельные звезды, чтобы вывести соответствующие характеристики их движения. Оптические спектры общего излучения звезд центральной области могут обеспечить требуемую информацию. На определенных длинах волн в спектре звезды всегда видны отчетливые темные детали — линии поглощения. Во вращающемся скоплении некоторые звезды движутся к Земле, а некоторые — от Земли. Свет от удаляющихся звезд подвержен красному смещению, а от приближающихся — фиолетовому. Линии в общем спектре скопления расширены из-за совместного действия красного и фиолетового смещений. По ширине линий можно оценить диапазон скоростей звезд. Очень широкие линии будут свидетельствовать о присутствии очень плотного объекта, возможно черной дыры.

В 1979 г. П. Янг и У. Сарджент с сотрудниками из Калифорнийского технологического института сообщили, что нашли спектральное свидетельство компактной массы, равной 3 млрд солнечных, в ядре гигантской эллиптической галактики М 87. Эта галактика — сильный радиоисточник и имеет необычный выброс светящегося вещества, который, по-видимому, исходит из ее ядра и служит индикатором какой-то активности в центре, хотя и на уровне энергии, гораздо более низком, чем у квазара. Галактика М 87 —

надежный кандидат в обладатели черной дыры в ее центре, хотя масса 3 млрд солнечных некоторым теоретикам кажется чрезмерно большой. На расстоянии 35 млн св. лет от Земли, где расположена М 87, астрономы не могли бы обнаружить менее массивную черную дыру просто потому, что ее проявления были бы недоступны при наблюдении с помощью современных инструментов.

Достоверность наблюдений галактики М 87 обсуждалась на протяжении последнего десятилетия. Кардинальный вопрос состоит в следующем: требуется ли существование в центре невидимой массы, способной объяснить измеренные высокие скорости, или концентрация звезд сама по себе вносит в массу вклад, достаточный для объяснения высоких скоростей. Одна из существенных проблем состоит в том, что трудно разделить излучение звезд вблизи ядра и излучение незвездной природы от светящегося выброса.

Изучение ближайших соседей Млечного Пути дало более определенные результаты. Поскольку эти галактики в 10 раз ближе, чем М 87, центральная масса всего в 10 или 100 млн солнечных способна обнаружить себя. В отличие от М 87 соседние галактики не показывают никаких признаков активности даже на более низких уровнях энергии. Как отмечалось выше, черная дыра никак не обнаруживает себя в отсутствие аккреции вещества.

Астрономы, занимающиеся оптическими наблюдениями, нашли косвенное свидетельство существования компактных центральных масс в нескольких соседних галактиках. Наиболее интересный и убедительный пример — туманность Андромеды. В 60-х годах М. Шварцшильд и его коллеги из Принстонского университета построили небольшой телескоп, на-

званный «Стратоскопом», который устанавливался на высотном баллоне, чтобы исключить атмосферные помехи. Во время последнего полета в 1971 г. они открыли, что звезды в центральной части ядра туманности Андромеды образуют плоский диск размером несколько световых лет. Через несколько лет А. Дресслер из Института Карнеги, Д. Ричстоун из Мичиганского университета и Дж. Корменди из Гавайского университета получили спектры для изучения движения этих звезд. Они нашли, что вблизи центра скорости резко возрастают. Кроме того, из характера вращения уплощенной звездной системы следует, что масса в ее центре чрезвычайно сконцентрирована. Масса центрального объекта оценивается примерно от 30 до 70 млн солнечных.

И у других соседних галактик обнаруживаются подобные особенности. Дж. Тонри (работающий в настоящее время в Массачусетском технологическом институте) в 1984 г. показал, что малая галактика М 32 (близкая соседка туманности Андромеды), по-видимому, содержит несветящийся центральный объект массой около 5 млн солнечных. Эта галактика, образно названная Сомбреро, была изучена Б. Джервисом и П. Дьюатом на Европейской южной обсерватории и Корменди на канадско-французско-гавайском телескопе Обсерватории Мауна-Кеа (Гавайи). Галактика Сомбреро, по-видимому, имеет быстровращающееся звездное ядро, окружающее компактную центральную массу, равную почти 1 млрд солнечных.

Но можно ли утверждать, что эти компактные несветящиеся массы являются черными дырами? Отсутствие резкого центрального скачка в распределении излучения туманности Андромеды позволяет предполо-

жить, что центральный объект, каким бы он ни был, испускает очень мало света по сравнению со своей массой. Может быть, вблизи центра концентрируется скопление аномальных слабосветящихся звезд? Значительная масса может быть заключена в плотноупакованном скоплении небольших черных дыр (массой 10 или 100 солнечных каждая), нейтронных звезд или коричневых карликов (объектов, масса которых не превышает 0,1 солнечной, т. е. недостаточно массивных, чтобы светить), но они будут давать мало света. Неизвестно, почему и как эти объекты должны собираться в самом центре галактики в пределах 10 св. лет, но их существование нельзя исключить.

Ответ на этот вопрос могут дать более тщательные наблюдения. Если ближайшие к центру галактики звезды движутся еще быстрее, чем звезды на расстоянии 1 секунды дуги от центра (указывая, что темное вещество концентрируется в пределах 1 св. года, а не 10 св. лет), то многие слабосветящиеся звезды можно будет исключить. Плотное скопление звезд поперечником всего лишь 1 св. год быстро эволюционировало бы из-за частых столкновений звезд. За короткий период самые массивные звезды соберутся в центре и сольются в центральный объект, вероятнее всего, черную дыру. Вполне правдоподобно, что плотное центральное скопление звезд было бы способно сохраниться в галактике возрастом 10 млрд лет.

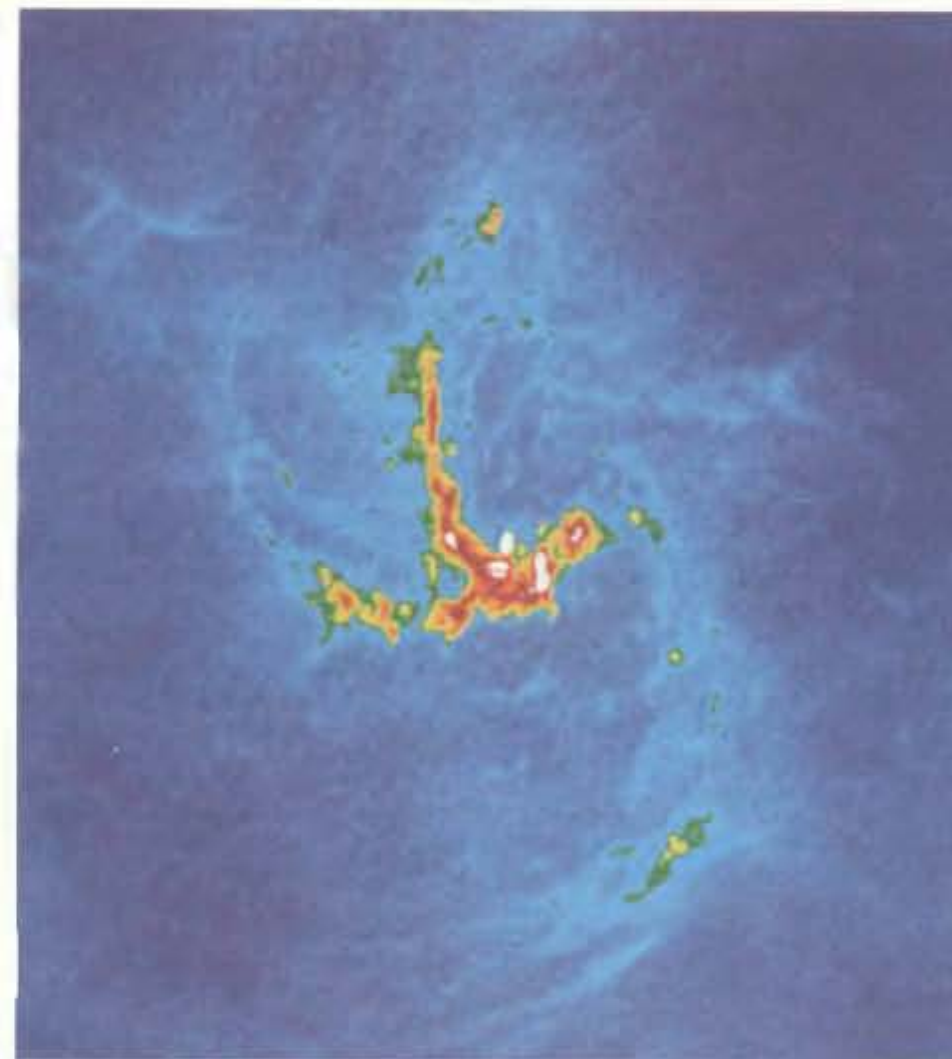
**ЕСЛИ** большие центральные черные дыры — обычное явление, то они должны быть чрезвычайно спокойными объектами. Астрономы пытаются объяснить с помощью черных дыр некоторые наиболее мощные и эффективные источники излучения во

Вселенной. Но ни в туманности Андромеды, ни в галактике Сомбреро, ни в М 32 нет никаких признаков повышенного уровня активности. Из наблюдений следует, что туманность Андромеды излучает в 10 000 раз слабее, чем квазар. В большинстве галактик внутренняя область может быть свободна от газа.

Даже «спящая» черная дыра может вдруг «пробудиться», если ей удастся поглотить звезду из внутренних областей галактики. Каждая звезда в галактике движется по сложной траектории, определяемой гравитационным воздействием как всех остальных звезд, так и самой черной дыры. Орбиты постепенно изменяются вследствие кумулятивного эффекта столкновений с другими звездами. В результате столкновений звезда может перейти на орбиту, приближающую ее к черной дыре. Иногда звезда может угодить прямо в черную дыру.

Некоторое время звезда может приближаться к черной дыре, не подвергаясь каким-либо деформациям. Но газовые тела, какими являются звезды, весьма чувствительны к приливным эффектам — градиенту в приливном воздействии поперек тела. Если звезда слишком сильно приблизится к массивной черной дыре, она будет разорвана из-за различных приливных напряжений, создаваемых в более близких и более удаленных частях звезды. Поэтому любая звезда, попавшая в пределы «приливного радиуса», будет разрушена.

Приливные силы на границе черной дыры слабее у массивных объектов. Гравитационный радиус черной дыры прямо пропорционален ее массе, а приливной радиус пропорционален корню кубическому из массы. У очень массивных черных дыр, таких, как предсказываемая черная дыра в



НА РАДИОКАРТЕ центра нашей Галактики видны газовые рукава, возможно обусловленные разрушением звезды черной дырой. Характер движения газа и звезд вблизи галактического центра также указывает на присутствие массивного, компактного темного объекта.

М 87 массой 3 млрд солнечных, приливной радиус лежит в пределах горизонта событий — поверхности, никакие сигналы с которой не способны покинуть черную дыру. Звезды, приближающиеся к такой черной дыре, будут разорваны на части только после того, как они попадут под горизонт событий без всякой надежды выбраться оттуда. Ситуация изменяется для черных дыр меньшего размера — от 5 до 100 млн солнечных масс (подобных тем, которые наблюдаются в соседних галактиках). Их приливные радиусы от 10 до 100 раз больше гравитационного радиуса. Следовательно, звезды будут разрушаться задолго до того, как они достигнут черной дыры, так что их излучение еще сможет достичь внешнего наблюдателя.

Из звездно-динамических расчетов следует, что такие события должны происходить раз в несколько тысяч лет. Точная частота событий зависит от статистики звездных орбит и особенно от темпа перехода все новых звезд на освобождающиеся орбиты,

проходящие вблизи черной дыры. В момент разрушения звезды освобождающийся газ с неизбежностью излучает. «Прощальная вспышка» погибавшей звезды могла бы служить наиболее очевидным свидетельством присутствия черной дыры. Теория относительности предсказывает характер этой вспышки; если удастся наблюдать одну из них, то это будет еще одним подтверждением этой теории.

Когда приливные силы, порождаемые черной дырой, вступают в соревнование с собственной гравитацией звезды, вещество звезды ведет себя сложным образом, растягиваясь вдоль орбиты, сжимаясь под прямым углом к ней и сильно возбуждаясь. Хотя это явление точно смоделировано, оно пока еще представляет непреодолимые трудности для численного моделирования на компьютере. В ближайшие несколько лет совершенствование методов численного моделирования позволит выявить, что происходит, когда звезды различных типов подвергаются приливному разрушению, и как можно наблюдать призна-

ки таких явлений. Однако некоторых приближенных расчетов, выполненных мною и моими коллегами, достаточно, чтобы понять сущность того, что происходит.

Остатки звезд распределяются по орбите вокруг черной дыры. Примерно половина вещества остается гравитационно связанной с черной дырой. Остальное вещество переходит на гиперболические орбиты и разгоняется до 10 000 км/с. Что бы увидел наблюдатель, если бы такое событие произошло в центре туманности Андромеды? Наиболее заметные эффекты были бы связаны с веществом, падающим на черную дыру. В ядре галактики наблюдалась бы вспышка, по своему энергетическому выходу значительно превосходящая вспышку сверхновой, т. е. почти сравнимая по интенсивности с излучением квазара; продолжительность такой вспышки составляла бы около одного года.

Трудно рассчитать спектральное распределение этого излучения в видимом, ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах. Современные модели неспособны предсказать также скорость спада кривой блеска вспышки, которая зависит от того, сколько времени требуется черной дыре, чтобы «переварить» звезду. Этот параметр весьма важен, поскольку астрономам хотелось бы знать, спадает ли поток излучения из области вокруг черной дыры ниже обнаружимого уровня, прежде чем она разрушит следующую звезду 1000 — 10 000 лет спустя. Чем дольше вспышка будет видимой, тем больше вероятность обнаружить ее в соседней галактике.

Если большинство галактик имеет черные дыры, то в выборке из 10 000 ближайших галактик (вплоть до скопления Девы на расстоянии около 60 млн световых лет) должно быть несколько галактик, находящихся в пике вспышечной активности. Другие, вероятно более многочисленные, галактики должны находиться в стадии, в которой затяжные эффекты сравнительно недавнего приливного разрушения еще незаметны. Обзоры неба, проводимые для обнаружения сверхновых в других галактиках, используются и для поиска таких вспышек. Представили бы большой интерес систематические ежегодные наблюдения всех 1000 галактик в скоплении Девы для выявления свидетельств разрушения звезд черной дырой.

**ЕСЛИ** черные дыры есть в большинстве соседних галактик, то почему бы им не быть и в нашей Галактике? Комплекс структур вблизи центра Млечного Пути включает несколько инфракрасных источников,



В ЦЕНТРАХ ДВУХ сливающихся галактик черные дыры обращаются вокруг друг друга. Черные дыры испускают гравитационные волны, что вызывает нарушения их орбит. В конце концов они сливаются в единый объект. Если массы

черных дыр неодинаковы или если они вращаются, то при этом может произойти всплеск гравитационного излучения, выбрасывающий слившуюся черную дыру из галактики.

расположенных асимметрично по отношению к интенсивному компактному радионисточнику (см. статью: Ч. Таунз, Р. Гензел. Что происходит в центре нашей Галактики? «В мире науки», 1990, № 6). Этот радионисточник находится очень близко к гравитационному центру Галактики и не похож ни на один другой радионисточник в ней. Его излучение можно хорошо объяснить аккрецией небольшого количества газа на черную дыру массой несколько миллионов солнечных. Газовые облака в пределах нескольких световых лет от центра, по видимому, быстро движутся в поле тяготения компактной массы порядка 2—3 млн солнечных.

Предсказываемые внезапные разрушения звезд будут «выметать» вещество из окрестностей черной дыры, и вокруг нее будет существовать полость, заполненная разреженным горячим газом. Разрушенные газовые струны (струи) и другие свидетельства недавней высокой активности указывает на то, что в прошлом в центре Галактики вырабатывалось гораздо больше энергии, чем теперь. Возможно, газовые структуры, похожие на спиральные рукава, на расстоянии нескольких световых лет от галактического центра как раз и очерчивают следы остатков последнего приливного разрушения.

Хорошим индикатором присутствия черной дыры в центре нашей Галактики было бы существование исключительно быстро движущихся звезд, отброшенных от центра эффектом «гравитационной рогатки». (Этот эффект применялся к космическим аппаратам «Вояджер»; гравитационное поле каждой исследуемой планеты использовалось для маневра, нацеливающего аппарат на следующий пункт назначения.) Эффект рогатки не может увеличивать скорость более чем на 1/4 скорости убегания с главного объекта — критической скорости, необходимой для того, чтобы вырваться из «гравитационных объятий» объекта. Поэтому звезды, выброшенные из двойных или кратных звездных систем, неспособны достичь скорости более 1000 км/с — скорости убегания с типичной звезды.

Если двойная звезда приблизится к центральной массивной черной дыре, то один ее компонент может быть захвачен на орбиту вокруг черной дыры, а другой улетит с очень высокой скоростью. Согласно расчетам Дж. Хилза из Лос-Аламосской национальной лаборатории, беглянка будет мчаться со скоростью, значительно большей 1000 км/с.

Если удастся открыть хотя бы одну звезду, удаляющуюся от центра со

скоростью, намного большей обычной скорости убегания, то это будет убедительным свидетельством существования массивной центральной черной дыры. Звездная плотность в центре нашей Галактики известна плохо, но если 1% звезд — двойные, то каждые 10 000 лет черная дыра должна «отбрасывать» одну звезду со скоростью около 4000 км/с. При такой скорости на каждый побег потребовалось бы около 2 млн св. лет, чтобы преодолеть 30 000 св. лет — расстояние от Солнца до центра Галактики. Около 200 (2 000 000:10 000) этих сверхбыстрых звезд должны поэтому двигаться от центра, но еще внутри солнечной орбиты в Галактике. При условии, что эти звезды достаточно яркие, они в принципе должны быть легко обнаружены, поскольку должны иметь большое собственное движение.

Сверхбыстрые звезды, «отброшенные» черной дырой, приобретают кинетическую энергию, превышающую

энергию компонентов двойной системы, оказавшихся на орбитах глубоко в гравитационной яме черной дыры. Кроме поиска сверхбыстрых звезд астрономы могут искать звезды, обращающиеся по орбитам вблизи галактического центра со скоростями, превышающими 10 000 км/с. Такие высокие скорости разрушат кратные звездные системы.

Имеющиеся свидетельства в пользу существования черной дыры в центре Млечного Пути довольно убедительны. Была ли наша Галактика квазаром? Почти наверняка нет: черная дыра массой меньше 3 млн солнечных никогда не сможет обеспечить необходимую энергию. Но более слабая квазароподобная активность, вероятно, была в галактической истории. Поэтому изучение Млечного Пути и ближайших соседей позволит познаться с ранними этапами «биографии» галактик и природой некоторых наиболее мощных и экзотических объектов во Вселенной.

## Наука и общество

### Компьютеры на избирательных участках

НА ПРОШЕДШИХ 6 ноября выборах в конгресс более половины американских избирателей приходили на избирательные участки, оснащенные компьютерами для регистрации бюллетеней и подсчета голосов. Вторжение микропроцессоров в демократический процесс должно ускорить и сделать более надежной обработку избирательных бюллетеней, а также защитить их от происков последователей печально известного Уильяма Марси Твидла. Но хотя машины, судя по всему, действительно способны обеспечить эти рекламируемые преимущества, они породили целый ряд новых проблем. Законодатели, организаторы выборов и сами избиратели считают, что необходим более строгий надзор, чтобы результаты выборных кампаний не стали жертвой ошибок в программах или сбоев в электронных урнах для голосования.

«Когда в процессе выборов с участием компьютеров происходят недоразумения, общество перестает верить своему правительству», — заявил Р. Столмен, специалист по вычислительной технике и информатике из Национального института стандартов и технологии (НИСТ).

Пока ни один компьютерный зло-

умышленник (хэкер) не отправился в тюрьму за порчу программы, выполняющейся на избирательной машине. Однако НИСТ зафиксировал многочисленные недоразумения, возникавшие в ходе компьютеризованных выборов. Среди инцидентов: переладка программного обеспечения поставщиком уже в процессе выборов, загрузка неправильной программы для обработки бюллетеней и логические ошибки в программах.

В 1980 г. ввиду недостаточности контроля конгресс поручил Федеральной избирательной комиссией (ФИК) разобраться с вопросами компьютерного технического обеспечения, предназначенного для обработки избирательных бюллетеней. Лишь в прошлом году в рамках этой программы (по мнению ФИК, недостаточно материально обеспеченной) наконец-то были разработаны стандарты на аппаратуру, программное обеспечение, условия безопасности и тестирование технических средств. Стандарты, не имеющие силы закона, были приняты некоторыми техническими экспертами без особого энтузиазма, хотя по меньшей мере 12 штатов признали их как часть регламентирующих требований, предъявляемых вычислительной технике при использовании на выборах.

Несколько фирм утверждают, что производимые ими средства отвечают требованиям ФИК. Одной из них

является корпорация R. F. Shoup в Врин-Моуре (шт. Пенсильвания), сумевшая продать наибольшее число полностью компьютеризованных систем, не требующих использования перфокарт и других бумажных носителей для ввода данных в компьютер. Р. Борем, технический директор корпорации, утверждает, что машины его компании, хранящие в пяти различных запоминающих устройствах зафиксированные результаты голосования, имеют преимущество, поскольку устраняют необходимость в бюллетенях, которыми избиратели набирают избирательные урны.

Соблазн, конечно, есть. В 1985 г. в результате расследования крупного скандала по поводу проведения выборов двое сотрудников избирательной комиссии из Чикаго были приговорены к тюремному заключению за то, что пропустили одну и ту же перфокарту через счетную машину 500 раз подряд, что обеспечило уверенную победу демократам; другую перфокарту (за республиканцев) они прогнали только 6 раз. (Перфокарты и системы оптического сканирования — это менее совершенные формы автоматического подсчета голосов.)

Хотя каждый факт опускания бюллетеня в урну может быть засвидетельствован и зарегистрирован членами избирательной комиссии, это еще не гарантирует, что полностью автоматизированная электронная машина правильно подсчитает все голоса. Ошибка в программе (случайная или умышленная) останется скрытой от наблюдателя. «Эти машины представляют собой не более чем черный ящик, — заявил Солтмен. — Если вы голосуете за Смита и машина высвечивает крестик против его фамилии, то это еще не значит, что она не врет».

Во многих случаях избирательные комиссии полагаются на то, что компания, изготавливающая компьютеризованные системы, проверят правильность работы программного обеспечения, но возникающая при этом взаимозависимость настаивает на том, кто не одобряет использование средств автоматизации на избирательных участках. Еще большую обеспокоенность вызывает то обстоятельство, что компании в стремлении продать свои машины прибегают к покровительству тех политиков, которые будут избираться с помощью этого оборудования. Например, в Нью-Йорке приостановлено действие контракта на закупку 7000 компьютеризованных систем для подсчета голосов стоимостью 50 млн долл. Городская прокуратура объявила, что она расследует обвинение против одного из муниципальных чиновников в

### КАК МЫ ГОЛОСУЕМ

	ЧИСЛО ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ИЗБИРАТЕЛЕЙ МЛН*	%
ПЕРФОКАРТЫ	51	40
РЫЧАЖНЫЕ МАШИНЫ	39	31
ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА	4	3
ОПТИЧЕСКИЕ СКАНИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	12	10
БУМАЖНЫЕ БЮЛЛЕТЕНИ	6	6
НЕУСТАНОВЛЕННЫЕ СПОСОБЫ	12	10
ВСЕГО	126	100

\*Общее число избирателей 49 штатов; в Северной Дакоте перепись избирателей не проводится



СТРУКТУРА использования технических средств на выборах 1988 г. Фото Дж. Грея.

попытке получить взятку от одного из поставщиков оборудования.

Кроме того, Нью-Йоркское следственное агентство, расследующее случаи коррупции, выражающейся в сговоре частных фирм с городскими властями, выяснило, что корпорация Shoup воспользовалась данными из секретного отчета одного из консультантов, чтобы исключить уязвимые места из перечня своих предложений. Инцидент был передан на рассмотрение окружному прокурору. Как заявил представитель Shoup, отчет был прислан его фирме анонимно и содержащиеся в нем данные не были использованы для борьбы с конкурентами.

Поставщики нанимают также людей, имеющих хорошие связи с городскими властями и политическими кругами. Так, директор по маркетингу и связям с общественностью компании Shoup К. Уилсон, в прошлом член городского собрания Нью-Йорка, после того, как покинул ряды законодателей, служил в комиссии, подготовившей закон Нью-Йорка, регулирующий закупку компьютерного оборудования для выборов. Корпорация Shoup в этом смысле не является исключением. Другие компании также имеют советников, связанных с городскими властями.

Нью-Йорк не единственный город, где закупка подобной техники может привлечь внимание блюстителей закона. Служащие корпорации Shoup вызывались в качестве свидетелей в суд по поводу покупки 1200 машин для подсчета голосов в графстве Шелби (шт. Мемфис). Уилсон говорит, правда, что судебное дело было заведено по необоснованным обвинениям, выдвинутому одним из бывших служащих фирмы.

Возможность подкупа в подобных

сделках обеспокоила ассоциацию граждан «Наблюдатели за выборами», которая призвала к решительным изменениям в практике применения машин для выборов. Ассоциация полагает, что программирование компьютеров для подсчета голосов должно быть вообще изъято из сферы частного предпринимательства. «Я не думаю, что выборы могут быть предметом частного бизнеса», — заявил М. Черчилль, глава упомянутой ассоциации.

Разумеется, любой способ подсчета голосов не исключает возможность различных махинаций: трюки с бюллетенями избирателей уже давно практикуются в США; эта традиция сложилась задолго до появления компьютера. Но в условиях применения новой техники мошенник Твид 2000-го года сможет подтасовать результаты выборов, уже не прибегая к помощи своих верных соучастников, ему достаточно будет просто изменить одну-две строчки в программе, насчитывающей их не менее 100 тыс.

### УВАЖАЕМЫЕ ПОДПИСЧИКИ!

По всем вопросам доставки журнала «В мире науки» просим обращаться в Центральное агентство зарубежных изданий «Союзпечать».

129110 ГСП Москва, Безбожный пер., д. 19, корп. 16  
тел. 280-89-87, 280-90-88, 280-88-11.

*Становится реальностью лечение заболеваний путем введения в организм соответствующих генов. Но этот терапевтический метод не раскроет всех своих возможностей без обеспечения должного функционирования введенных генов в течение жизни организма*

АЙНДЕР М. ВЕРМА

**В** НАСТОЯЩЕЕ время каждый сотый ребенок рождается с серьезным наследственным дефектом. Как правило, этот дефект проявляется еще в детстве, и в большинстве случаев наследственные аномалии приводят к физическим или умственным нарушениям и к преждевременной смерти. Для большинства из известных сейчас 4000 наследственных дефектов не найдено достаточно эффективных способов лечения.

Неудивительно поэтому, что ученые давно мечтают об излечении наследственных заболеваний путем введения «лечебных» генов в организм пациента. Достижения в технологии рекомбинантных ДНК, сделавшие возможным выделение многих генов, а также расширение знаний о регуляции генов позволяют надеяться на реализацию этой идеи, казавшейся прежде совершенно фантастической.

В сентябре прошлого года была предпринята попытка применить в клинической практике генотерапию одного из наследственных заболеваний. Р. Блэз, У. Андерсон и их коллеги в Национальных институтах здоровья США разработали метод введения гена, кодирующего фермент аденозиндезаминазу, детям, страдающим редким заболеванием, известным под названием «тяжелый комбинированный иммунодефицит» (ТКИД). Нарушение функционирования этого гена ослабляет иммунную систему и лежит в основе 25% случаев ТКИД.

Подход, предложенный Блэзом и Андерсоном, предполагает многократное введение гена, компенсирующего дефект, на протяжении жизни пациента, так что этот метод не обеспечивает, строго говоря, излечения. Тем не менее первая попытка может открыть новую эру в медицине. Успехи исследований в этой области позволяют надеяться, что к началу XXI столетия будут проведены клинические испытания генотерапии ряда заболеваний — как врожденных, так и приобретенных.

Гены можно вводить в половые клетки (сперматозонды или яйцеклетки), в клетки эмбриона на ранних стадиях развития либо в соматические клетки (клетки, не предназначенные для образования половых клеток). Что касается половых клеток, то такая генотерапия вряд ли будет осуществлена в обозримом будущем, в частности потому, что введенные гены будут передаваться от поколения к поколению, а это создаст значительные этические проблемы. Например, можно ли применять генотерапию не только для предотвращения наследственного заболевания, а просто для улучшения чьего-либо потомства? Кто возьмет на себя соответствующее решение? Пойдет ли общество на риск внесения изменений в генофонд, которые могут оказаться губительными для человека как вида? Имеем ли мы право вмешиваться в эволюцию человека? Проблемы генотерапии, затрагивающей соматические клетки, менее тревожны главным образом потому, что касаются только самого пациента.

**Н**АИБОЛЕЕ подходят для генотерапии, затрагивающей соматические клетки, те заболевания, которые обусловлены дефектом одного гена, особенно если этот ген уже выделен и клонирован, т. е. имеется материал для введения больному. Такие дефекты проще корректировать, чем нарушения, обусловленные многими генами или крупными генетическими изменениями, например потерей целой хромосомы. (В норме клетки человека содержат два набора по 23 хромосомы, унаследованных от матери и от отца. Каждая хромосома включает в себя длинную нить ДНК, содержащую несколько тысяч генов.)

В идеале болезнь должна излечиваться в результате однократной лечебной процедуры и без каких-либо побочных эффектов. Притом введение гена в состав хромосомы должно быть сайт-специфичным, т. е. прицельным; это значит, что при так на-

зываемой гомологичной рекомбинации введенный ген замещает дефектный. Точная замена увеличивает вероятность того, что введенный ген будет функционировать правильно. Кроме того, снижается вероятность активации покоящегося онкогена (гена, обуславливающего рак) или инактивации антионкогена (гена, препятствующего злокачественной трансформации), что может быть связано с неправильным встраиванием гена в хромосому.

Однако на практике очень трудно проконтролировать судьбу введенной в клетки ДНК. На одно правильное встраивание в геном приходится более 1000 случайных. Как показывают результаты исследований М. Капекки из Университета шт. Юта, трудности в сайт-специфичном встраивании гена в хромосомную ДНК велики, но преодолимы. Многие исследовательские группы, в том числе моя лаборатория в Институте Солка в Ла-Хойя (шт. Калифорния), сосредоточили свои усилия на разработке несколько иного подхода, состоящего в том, что введенный ген своим функционированием компенсирует нехватку продукта утраченного или дефектного гена, но не заменяет физически поврежденную ДНК.

Такое добавление генетического материала оправдано, когда дефект состоит в недостаточном образовании какого-либо белка или его полном отсутствии. Производство белка уменьшается, когда вследствие мутации снижается активность и отцовской, и материнской копий гена, кодирующего данный белок, или когда у мужчины дефектный ген локализован в X-хромосоме. (Мужские клетки содержат одну X- и одну Y-хромосому, а женские клетки — две X-хромосомы.)

Однако добавление гена вряд ли будет эффективно, если мутация привела к перепроизводству белка или синтезу вредоносного соединения, как это имеет место при серповидноклеточной анемии. Для коррекции нару-

шений такого рода требуется введение не только функционального гена, но и гена, способного инактивировать мутантный ген.

Сейчас многие исследователи, занимающиеся этим вариантом генотерапии, изучают возможность введения функционального гена в предварительно выделенные клетки пациента, которые затем возвращают обратно в организм. Быть может, когда-нибудь станет возможным непосредственно инъецировать больным гены, связанные с соединениями, обеспечивающими адресную доставку данного гена в определенные клетки-мишени.

К счастью, для достижения желаемого терапевтического эффекта нет необходимости корректировать генетические дефекты во всех клетках организма, которых миллиарды. Впервые, хотя все клетки организма несут идентичные хромосомы, некоторые гены функционируют в клетках только одного типа. Лечение, следо-

вательно, должно сосредоточиваться именно на этом типе клеток. Во-вторых, даже когда генетическое нарушение приводит к недостаточному синтезу белка практически во всех клетках, многие клетки способны целиком компенсировать недостаток. Так, дефект гена аденозиндезаминазы сказывается в той или иной степени в большинстве соматических клеток, но разрушительный эффект проявляется только в некоторых компонентах иммунной системы.

**Н**Е сайт-специфичное внедрение генов в клетки может осуществляться химическими или физическими средствами (трансфекция) либо с помощью вирусов (трандукция). При химическом подходе множество копий ДНК, несущей функциональный ген, смешивают с соединениями, имеющими электрический заряд (как правило, для этого используются фосфат кальция, диэтиламиноэтилдекстран или определенные липиды).

Такую смесь наносят непосредственно на реципиентные клетки, и заряженные молекулы нарушают целостность клеточной мембраны, что обеспечивает транспорт ДНК внутрь клеток. Эта процедура несложна, но эффективность введения гена низкая: обычно его интеграция в геном достигается только в одной из  $10^3$ — $10^6$  клеток. Значит, для получения необходимого для терапевтического эффекта количества генетически измененных клеток, которое измеряется миллионами, нужно брать у больного так много клеток, что этот подход нереален.

Следует отметить, что интеграция в геном не всегда необходима для экспрессии гена (т. е. для производства кодируемого им белка). Однако для интегрированного гена более вероятно, что он надолго сохранится в клетке. Кроме того, такой ген может реплицироваться вместе с хромосомной ДНК при подготовке клетки к делению; тогда он будет передаваться всем последующим поколениям по-



СТЕРИЛЬНЫЙ БОКС, защищавший мальчика по имени Дейвид, страдавшего тяжелым комбинированным иммунодефицитом (ТКИД) — наследственным заболеванием, при котором нарушено функционирование иммун-

ной системы. В настоящее время у таких больных появляется надежда на излечение. Генотерапия ТКИД уже получила официальное одобрение на клинические испытания.

томков данной клетки и обеспечивать образование соответствующего продукта в течение всей жизни пациента.

К числу физических методов введения генов в клетки относятся микроинъекции с помощью тонких стеклянных пипеток и электропорация (клетки подвергаются электрическому шоку). В результате электропорации клетки становятся проницаемыми для ДНК из окружающей среды, но при этом возможны серьезные повреждения клеток. Микроинъекции могут быть очень эффективными: ген внедряется и сохраняется почти в 20% клеток. Но, поскольку за один раз можно сделать инъекцию ДНК только в одну клетку, этот утомительный и трудоемкий метод не годится для применения в клинической практике.

Наконец, последний подход использует природную способность вирусов проникать в клетки и привносить в них свой собственный генетический материал. К настоящему времени из этих организмов создано множество различных генно-инженерных конструкций, служащих векторами, т. е. средствами для введения генов в клетки. Вирусы разделяются на две большие группы на основе природы своего генетического материала, которым могут служить молекулы ДНК или РНК, существенно различающиеся химически, хотя они и состоят из одних и тех же компонентов, называемых нуклеотидами. В вирусных ДНК и РНК имеются участки, определяющие последовательности аминокислот вирусных белков, и регуляторные участки.

Для многих ДНК-содержащих вирусов, способных акцентировать чужеродный генетический материал, строго ограничена длина включаемой в вирусный геном чужеродной последовательности нуклеотидов и диапазон клеток, в которые они могут проникать. Некоторые другие ДНК-содержащие вирусы оказываются более емкими акцепторами чужеродных ДНК, но непригодными для трансдукции по каким-либо другим причинам. Кроме того, генетический материал ДНК-содержащих вирусов часто не включается в хромосомную ДНК зараженных клеток.

**Б**ольшинство РНК-содержащих вирусов тоже непригодны для генотерапии, главным образом вследствие того, что РНК не может включаться в ДНК клеток человека и, проникнув в клетку, быстро деградирует. Исключением являются так называемые ретровирусы. Эти вирусы внутри зараженной клетки синтезируют ДНК-копию своей РНК, и эта ДНК встраивается в хромосомную ДНК

клетки. Интегрированная в клеточный геном вирусная ДНК затем обеспечивает синтез вирусных белков. Ретровирусы могут транспортировать в клетки больше чужеродного генетического материала, чем самые «емкие» ДНК-содержащие вирусы. Кроме того, они способны заражать более широкий диапазон различных клеток и видов живых организмов.

По этим причинам ретровирусы на сегодняшний день представляются наиболее многообещающей системой переноса генов в клетки. За немногими исключениями, все способы введения генов в организм, обсуждаемые в этой статье, основаны на использовании ретровирусных векторов.

Естественно, возможности ретровирусов далеко не всеобъемлющи. Так, например, ретровирусная ДНК может встраиваться в хромосомную ДНК только тех клеток, которые способны к активному делению. Но многие клетки в норме не делятся, в том числе зрелые нейроны, и потому не могут быть генетически изменены с помощью ретровирусных векторов.

Большим недостатком ретровирусов является также то, что они могут вызывать рак. Для видов ретровирусов, используемых в качестве векторов, риск этого очень невелик, но он может возрасти при размножении ретровируса в организме и его распространении от клетки к клетке. В связи с этим чрезвычайно важно уметь останавливать репродукцию вируса.

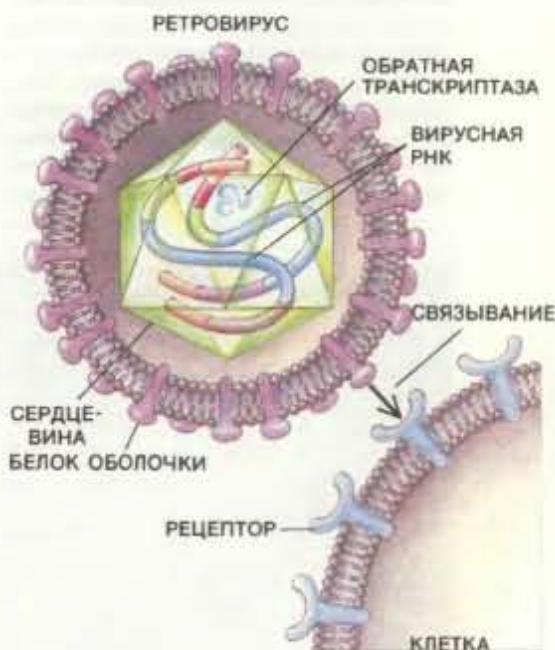
Совместные усилия нескольких лабораторий привели к разработке по крайней мере одного, судя по всему, эффективного метода (см. рисунок на с. 30). Полученные этим методом ретровирусы обладают нормальной наружной оболочкой и всеми вирусными белками, но их РНК не содержит информации для синтеза вирусных белков, а место соответствующих нуклеотидных последовательностей занимает ген, предназначенный для введения в клетки.

Нормальная наружная оболочка вируса обеспечивает его проникновение в клетку (где он теряет эту оболочку), а вирусные ферменты — синтез ДНК-копий вирусной РНК и встраивание этой ДНК в геном клетки-хозяина. Но на том жизнь данной вирусной частицы кончается.

В нормальных условиях интегрированная в геном клетки-хозяина ДНК ретровируса, называемая провирусом, обеспечивает синтез вирусных белков и РНК, из которых затем собираются новые вирусные частицы. Измененный же ретровирус, лишенный информации о своих белках, не способен дать потомство. В результате ретровируса в клетках не остается — в

них сохраняется лишь введенный ретровирусом чужеродный ген и нуклеотидные последовательности, служащие теперь только для экспрессии этого гена.

Ретровирусы могут заражать клетки многих типов, но лишь некоторые из этих клеток пригодны для генетических изменений. Клетки должны обладать достаточно высокой жизнеспособностью, чтобы выдержать процедуры выделения их из организма, введения гена и возвращения в организм. Кроме того, они должны быть долгоживущими, чтобы после возвращения в организм просуществовать месяцы, годы, а желательно — всю оставшуюся жизнь больного.



**ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ** ретровируса начинается с прикрепления вирусной частицы к поверхности клетки-мишени (вверху) и проникновения внутрь его генетического материала (РНК) и белков (справа). Молекула РНК типичных ретровирусов содержит три кодирующих участка: *gag* (зеленый), *pol* (голубой) и *env* (лиловый), определяющих соответственно белки «сердцевин», фермент обратную транскриптазу и компоненты оболочки вирусной частицы. Имеются также три некодирующих участка: два на концах молекулы (оранжевые) и один, называемый пси ( $\psi$ ; красный). В цитоплазме клетки-хозяина обратная транскриптаза синтезирует ДНК-копию вирусной РНК. В молекуле этой ДНК имеются длинные концевые повторы (LTR), которые влияют на активность вирусных генов и способствуют встраиванию вирусной ДНК в клеточную. Вирусная ДНК в составе генома клетки, называемая провирусом, направляет синтез вирусных белков и РНК; из них формируются новые вирусные частицы, которые отпочковываются от клетки.

Этим критериям лучше всего удовлетворяют клетки костного мозга, кожи и печени, так что заболевания, которые можно лечить путем изменения этих клеток, наиболее подходят для генотерапии.

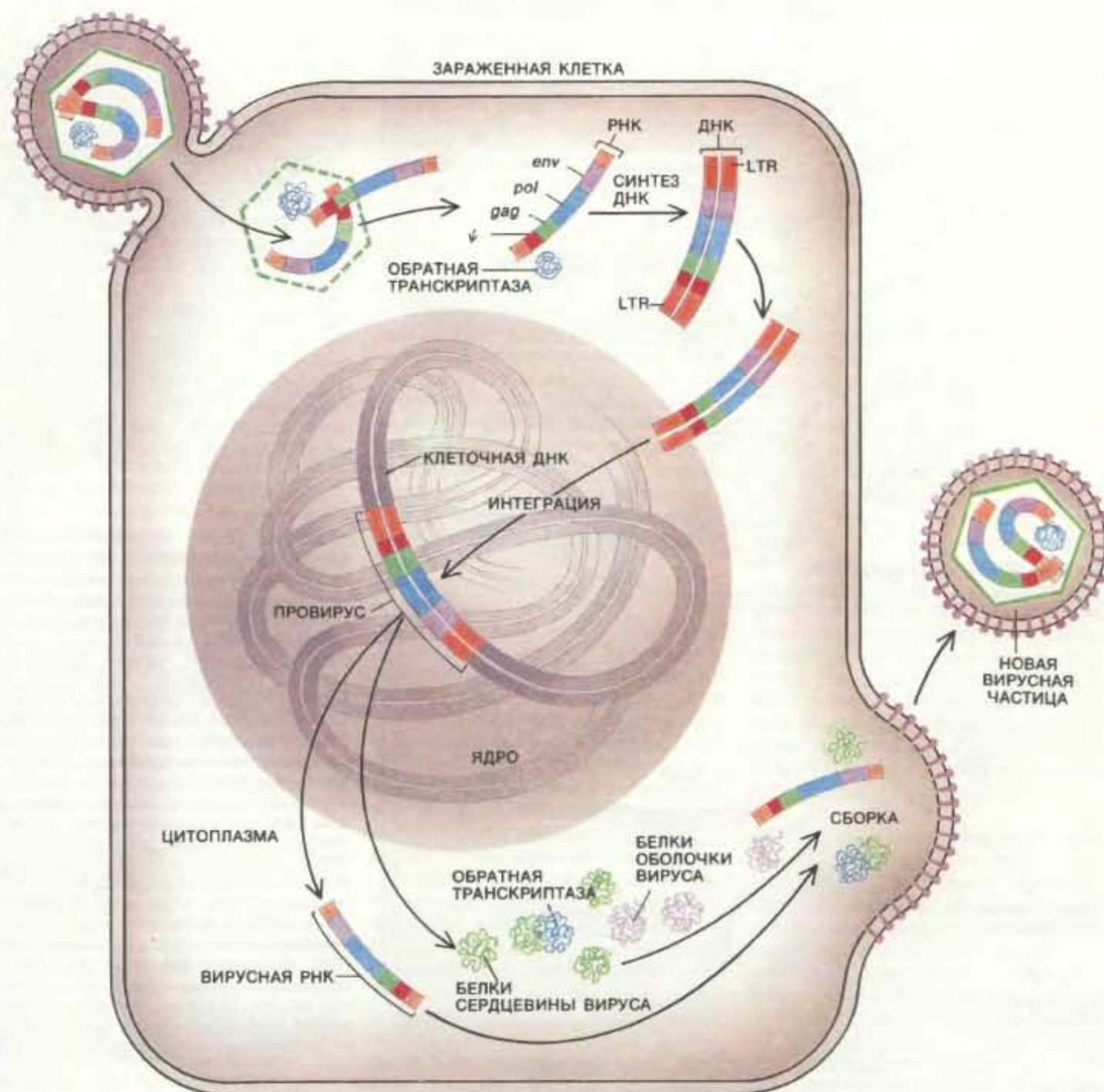
Клетки костного мозга, где образуются форменные элементы крови, теоретически можно было бы использовать для коррекции заболеваний, вызываемых генетическими нарушениями в кровяных клетках — эритроцитах или же лейкоцитах, многие из которых играют важную роль в иммунной системе. ТКИД, обусловленный недостаточностью аденозиндезаминазы, — это только одно из множества наследственных заболеваний

иммунной системы. К болезням этого рода принадлежит также недостаточность адгезивности лейкоцитов, при которой ослабляется мобилизация лейкоцитов, что ведет к рецидивирующим инфекциям. Из числа заболеваний, связанных с нарушениями в эритроцитах, сюда следует отнести талассемию, представляющую собой результат аномальной экспрессии генов субъединицы гемоглобина — белка, переносящего кислород.

**О**дно время казалось, что первым заболеванием, которое удастся вылечить с помощью генотерапии, будет бета-талассемия. На примере попыток лечения этого заболевания

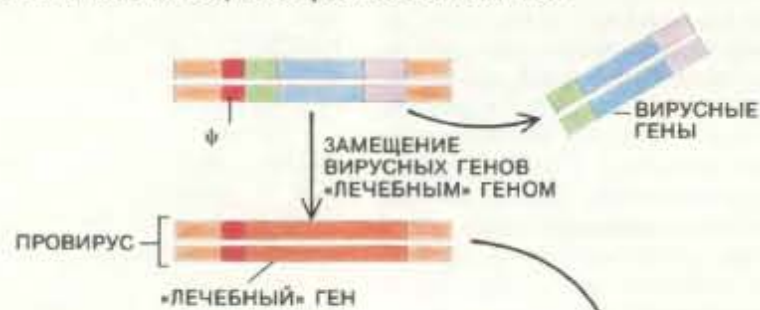
можно проиллюстрировать ряд проблем, возникающих при применении генотерапии вообще и генотерапии с использованием клеток костного мозга в частности.

У больных бета-талассемией эритроциты лишены бета-глобина, который у здоровых людей вместе с альфа-глобином и гемом (химической группой, содержащей железо) образует гемоглобин. В нормальных эритроцитах строго регулируется активность генов, кодирующих альфа- и бета-глобин, так что синтезируется равное число молекул этих белков. Отсутствие бета-глобина приводит не только к недостатку гемоглобина, но и к относительному избытку

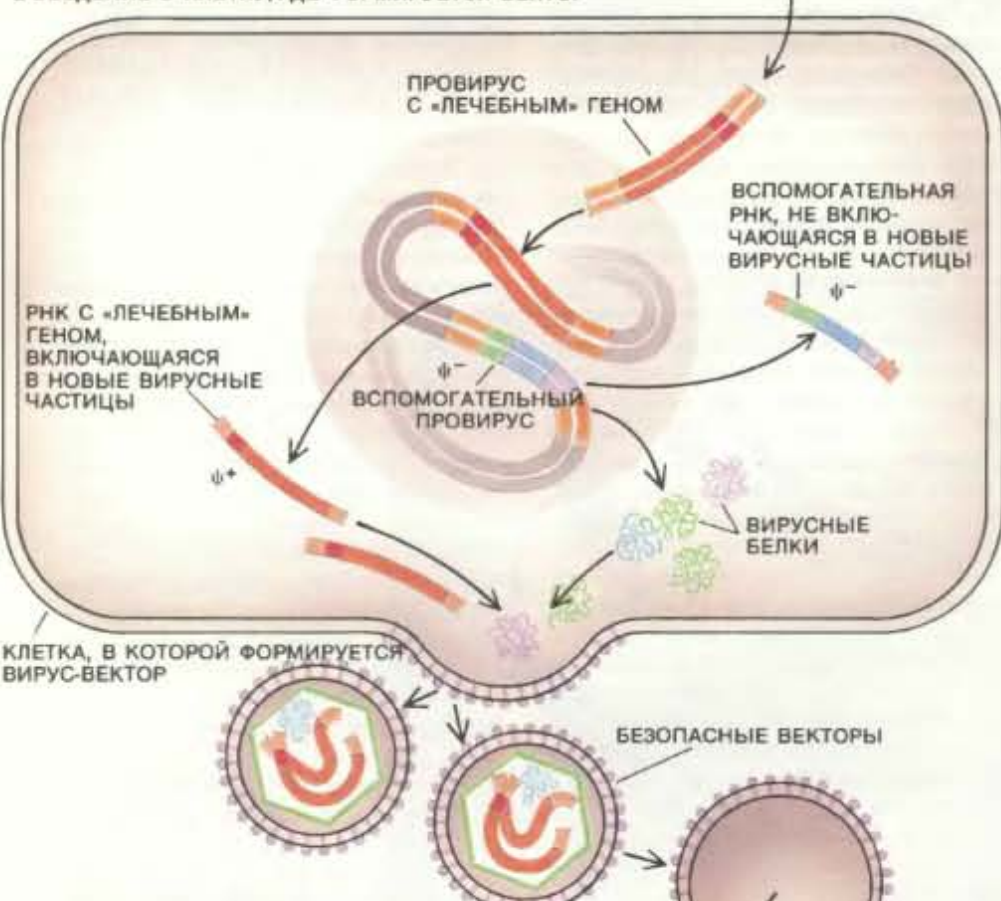




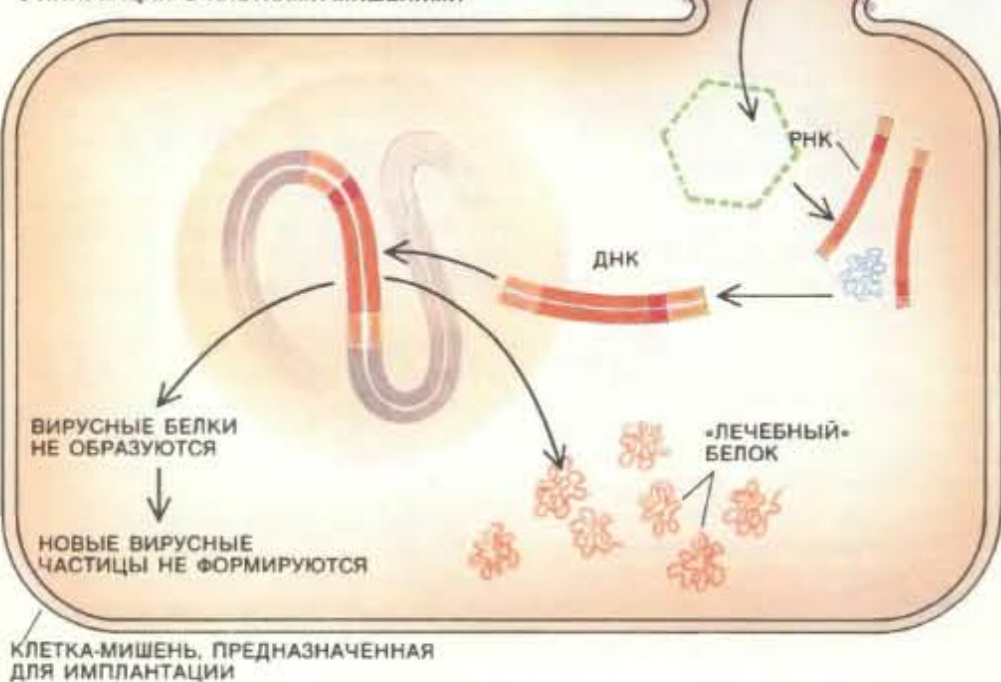
## 1 КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРОВИРУСА, НЕСУЩЕГО «ЛЕЧЕБНЫЙ» ГЕН



## 2 ВВЕДЕНИЕ В КЛЕТКУ, ГДЕ ФОРМИРУЕТСЯ ВЕКТОР



## 3 ИНКУБАЦИЯ С КЛЕТКАМИ-МИШЕНЯМИ



альфа-глобина, вследствие чего ускоряется гибель эритроцитов и развивается тяжелая анемия. Такие больные от рождения испытывают непрерывные страдания и обычно умирают к 20 годам.

Бета-талассемии, как и другие наследственные заболевания крови, можно было бы, вероятно, эффективно излечивать путем введения нормального гена (в данном случае — гена, кодирующего бета-глобин) в стволовые клетки костного мозга, которые дают начало всем клеткам крови и за счет которых компенсируется неизбежная гибель клеток крови в течение жизни организма.

К сожалению, у человека стволовые клетки весьма немногочисленны и их практически невозможно выделить. В связи с этим приходится применять менее эффективный подход: заражать генетически измененным ретровирусом очень большое число клеток костного мозга в надежде, что среди них окажется достаточное количество стволовых клеток.

С одной стороны, получены данные, убедительно свидетельствующие, что такой подход может принести по крайней мере частичный успех. В ряде лабораторий, например, было показано, что ген бета-глобина человека, введенный в клетки костного мозга мышей с помощью ретровирусных векторов, сохранялся в этих клетках. Р. Маллиган с сотрудниками из Института медико-биологических исследований Уайтхеда в Кембридже (шт. Массачусетс) показали далее, что если имплантировать такие клет-

БЕЗОПАСНЫЕ РЕТРОВИРУСНЫЕ ВЕКТОРЫ формируются в клетках. Вирусные гены в провирусе заменяют «лечебным» геном (1) и вводят такой провирус в клетку, в которой должна произойти сборка вектора (2). Эта ДНК определяет синтез вирусной РНК; но, поскольку она лишена вирусных генов, невозможен синтез белков, необходимых для упаковки РНК в новые вирусные частицы, которые могли бы передаваться другим клеткам. Недостающие белки обеспечиваются вспомогательным провирусом, у которого удален участок  $\psi$ . Этот участок необходим для включения РНК в вирусные частицы; без него вирусные частицы, содержащие вспомогательную РНК, образоваться не могут. В итоге вирусные частицы, покидающие клетку, содержат «лечебную» РНК, но не несут вирусных генов. Эти частицы способны проникать в другие клетки (3), где «лечебный» ген может встроиться в клеточную ДНК, но репликация их невозможна.

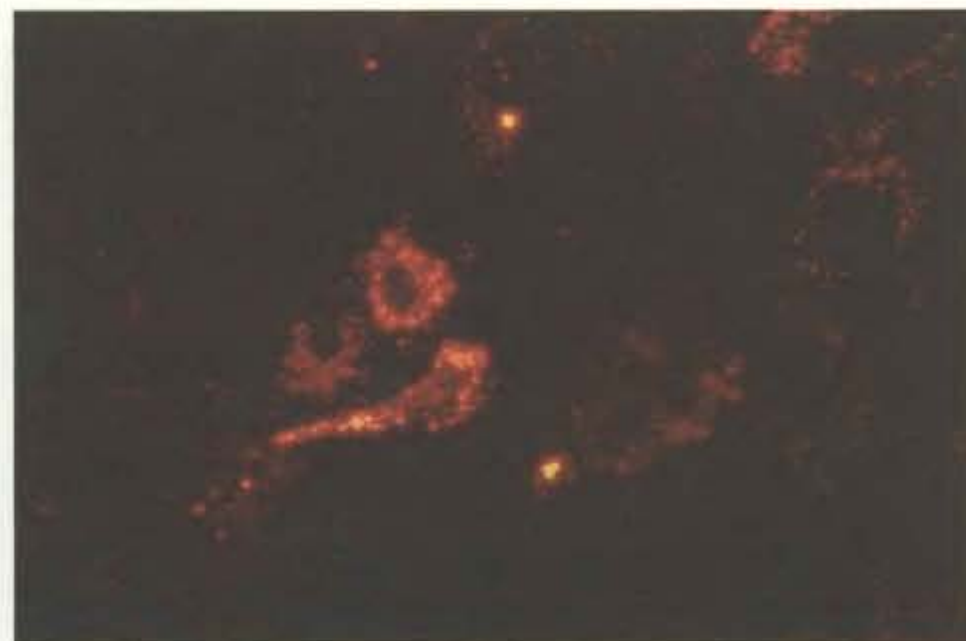
ки мышам, то у них экспрессируется человеческий ген.

С другой стороны, никому еще не удалось добиться значительного уровня синтеза бета-глобина у животных-реципиентов. Эта проблема вызвала всеобщее разочарование. Однако надежда на ее разрешение дает открытие, сделанное Ф. Гроссуэлом с коллегами из Национального института медицинских исследований в Лондоне. Они идентифицировали последовательности ДНК, расположенные отдельно — на расстоянии в тысячи нуклеотидов — от самого гена бета-глобина, которые в нормальных эритроцитах резко усиливают его транскрипцию, т. е. образование матричных РНК (мРНК) для синтеза этого белка. Высокий уровень мРНК свидетельствует об интенсивном производстве соответствующего белка. Если присоединить такие энхансеры (т. е. последовательности ДНК, усиливающие транскрипцию) к гену бета-глобина в ретровирусном векторе, это могло бы обеспечить необходимый уровень синтеза бета-глобина в организме. В настоящее время ведется проверка такой возможности.

В общем, генетическое изменение клеток костного мозга не позволяет добиться значительной экспрессии *in vivo* и других генов. Генотерапия на основе клеток костного мозга может стать реальностью только тогда, когда проблема экспрессии «лечебных» генов найдет свое решение.

Помимо достаточно высокого уровня экспрессии гена нужна приемлемая продолжительность его активности. Последние данные об экспрессии глобиновых генов говорят о том, что длительная экспрессия этих генов, введенных в клетки костного мозга, более достижима, чем высокий уровень синтеза соответствующих белков. Так, например, Ч. Ли и В. Дуорки в моей лаборатории удалось добиться устойчивой, хотя и слабой экспрессии человеческого гена бета-глобина у мышей в течение по крайней мере 5 месяцев, что эквивалентно 15—20 годам жизни человека. Ген альфа-глобина сохранял функциональную активность как минимум 10 месяцев.

ПРИ изучении бета-талассемии выяснились сложности, возникающие в тех случаях, когда коррекция дефекта, обуславливающего заболевание, требует точно регулируемой экспрессии соответствующего гена. Для многих заболеваний, включая ТКИД, даже просто восстановление производства белка, кодируемого геном, лучше, чем ничего. В случае талассемии это не так. Поскольку отно-



КЛЕТКИ ПЕЧЕНИ у кроликов с наследственным дефектом в белке—рецепторе липопротеинов низкой плотности (ЛНП) начинают синтезировать недостающий белок (светлые пятна) после введения в них гена рецептора. Этот результат позволяет надеяться, что сходное генетическое заболевание человека, приводящее к избытку холестерина в сыворотке крови, можно будет лечить путем генотерапии. (Микрофотографию получили Дж. Уилсон из Медицинского института Говарда Хьюза при Мичиганском университете в Анн-Арбор и Д. Рой-Чаудери из Медицинского колледжа Альберта Эйнштейна.)

сительный избыток как альфа-, так и бета-глобина губителен для клеток, активность вводимого глобинового гена должна точно соответствовать активности этого гена в норме. К сожалению, механизмы, регулирующие активность генов, изучены совершенно недостаточно как для глобиновых, так и для большинства других генов. Тем не менее в этой области исследований идет непрерывный прогресс и можно надеяться, что это поможет усовершенствовать векторы для генотерапии.

В исследованиях ТКИД, ведущихся в Национальных институтах здоровья США, для генотерапии этого заболевания — отчасти из-за вышеупомянутой проблемы уровня экспрессии вводимого гена — используются не собственно клетки костного мозга, а определенные циркулирующие в крови Т-лимфоциты, которые играют ключевую роль в деятельности иммунной системы. Собственные Т-лимфоциты больных ТКИД неактивны вследствие отсутствия аденозиндезаминазы.

Т-лимфоциты, обработанные ретровирусом, несущим ген аденозиндезаминазы, вводили детям, которых до того поддерживали инъекциями комплекса аденозиндезаминазы с полиэтиленгликолем (PEG-ADA); полиэтиленгликоль увеличивает время жизни фермента в организме. Успешность лечения оценивали по улучшению иммунных функций по сравне-

нию с таковыми у пациентов, получивших только PEG-ADA. К сожалению, Т-лимфоциты живут не так долго, как стволовые клетки, и потому нельзя рассчитывать на излечение однократным введением генетически измененных клеток.

Поскольку существуют возможности негенетического лечения ТКИД (включая трансплантацию костного мозга), возникает принципиальный вопрос: следует ли прибегать к генотерапии, которая находится еще на экспериментальной стадии, когда есть иные методы лечения? Преобладает мнение, что такое экспериментальное лечение вполне допустимо, если показано, что риск неудачи мал, и если лечебный эффект генотерапии больше, чем других методов, или же если иные методы неприемлемы для больного (например, не для всех больных ТКИД удается найти подходящего донора костного мозга).

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ изменения лимфоцитов и клеток костного мозга имеют целью коррекцию дефекта в самих этих клетках или в их потомках. Аналогичными воздействиями на клетки кожи можно преследовать совсем иную цель: синтез и секрецию белков, которые в норме производятся клетками одного типа и переносятся с плазмой крови для использования клетками другого типа.

Путем имплантации клеток кожи

можно было бы корректировать многие заболевания. К их числу относятся гемофилия (обусловленная отсутствием того или иного фактора свертывания крови, которые образуются в печени) и болезни, связанные с

недостаточностью какого-либо гормона (например, соматотропина). Такого рода лечение пригодно и для ряда заболеваний, причиной которых является пониженное производство широко используемых в организме

белков, при условии, что ткани, наиболее страдающие от недостаточности этих белков, способны извлекать их из крови.

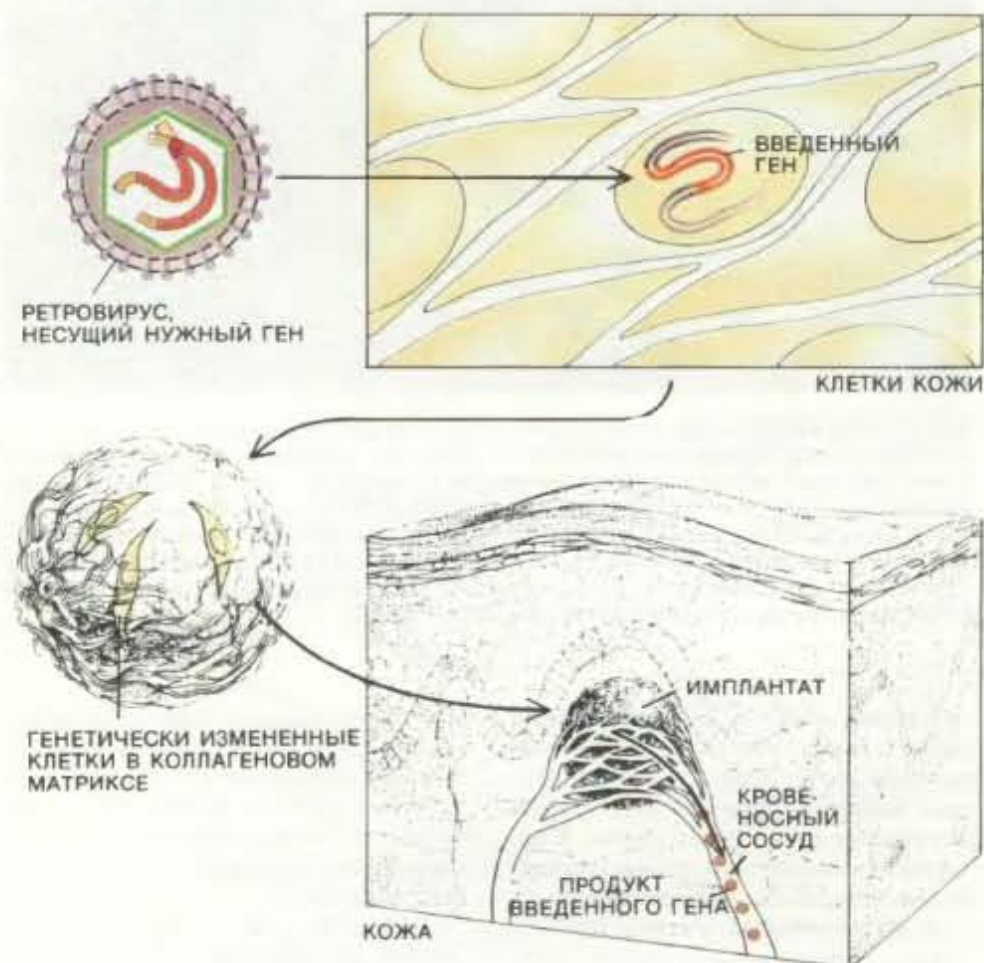
Фибробласты, входящие в состав дермы (внутреннего слоя кожи), наиболее подходят для терапии, при которой измененные клетки имплантируются обратно в дерму. Фибробласты удобно выделять, и они способны к размножению в лабораторных условиях. Кроме того, эти клетки могут секретировать вещества непосредственно в кровь, а в случае необходимости их легко удалить.

В моей лаборатории подробно исследовались возможности фибробластов кожи в лечении формы гемофилии, обусловленной отсутствием вырабатываемого печенью белка, известного под названием «фактор свертывания крови IX». Результаты этих исследований указывают на огромный терапевтический потенциал фибробластов.

В одном из наших исследований А. Дасти Миллер (сейчас работает в Онкологическом центре Фреда Хатчинсона в Сиэтле) в сотрудничестве с Дж. Броунли и Д. Ансоном из Оксфордского университета показали, что в фибробластах можно индуцировать синтез и секрецию фактора IX, хотя в норме они не производят этот белок. (Предстоит выяснить, можно ли вызывать образование и других не свойственных фибробластам белков.) Затем мои сотрудники Д. Луи, Дж. Аксельрод и Р. Шарфман при помощи ретровируса встроили ген человеческого фактора IX в фибробласты и имплантировали эти клетки в кожу мышей; в имплантат прорастали кровеносные сосуды, и белок, синтезированный пересаженными фибробластами, поступал в кровь животного-реципиента.

Этот эксперимент не только продемонстрировал возможность экспрессии фактора IX у животных, но и преподал нам хороший урок. Примерно через 15 суток после имплантации человеческого фактора IX исчез из крови мышей-реципиентов. При этом у них развился выраженный иммунный ответ против этого чужеродного для них белка. Отсюда следовало, что успешной генотерапии можно ожидать у больных, у которых есть по крайней мере слабый синтез недостающего белка; в противном случае иммунная система организма может активироваться против продукта введенного гена.

Мы получили также данные, которые позволяют считать, что фибробласты в отличие от изученных к настоящему времени клеток костного мозга способны производить желас-



КЛЕТКИ КОЖИ, несущие встроенный в клеточную ДНК «лечебный» ген, можно заключить в коллагеновый матрикс и имплантировать в кожу больного, и тогда продукт введенного гена будет поступать в кровь (вверху). В одном из ранних экспериментов фибробласты, несущие человеческий ген фактора свертывания крови IX (этот белок в норме образуется в клетках печени), имплантировали в кожу мышам. В имплантат прорастали кровеносные сосуды, и пересаженные клетки секретировали в кровь фактор IX человека в течение двух недель (график). Сейчас удается добиться более длительной секреции чужеродного белка имплантатами фибробластов.

ЗАБОЛЕВАНИЕ	ЧАСТОТА	НОРМАЛЬНЫЙ ПРОДУКТ ДЕФЕКТНОГО ГЕНА	КЛЕТКИ-МИШЕНИ	СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ
Гемоглобинопатии (талассемии)	1 на 600 (в некоторых этнических группах)	Компоненты гемоглобина	Клетки костного мозга, дающие начало циркулирующим клеткам крови	Результаты экспериментов на животных свидетельствуют о необходимости дальнейшего совершенствования метода
Тяжелый комбинированный иммунодефицит (ТКИД)	Низкая	Аденозиндезаминаза (примерно у 25% больных ТКИД)	Клетки костного мозга или Т-лимфоциты	Проводятся клинические испытания
Гемофилия А Гемофилия В	1 на 10 000 1 на 30 000 (у мужчин)	Фактор свертывания крови VIII Фактор свертывания крови IX	Клетки печени или фибробласты	Клинические испытания (с фибробластами) ожидаются в ближайшие пять лет
Семейная гиперхолестеремия	1 на 500	Рецептор липопротеинов низкой плотности (ЛНП) в клетках печени	Клетки печени	Начаты исследования на животных
Наследственная эмфизема	1 на 3500	α-антитрипсин (образуется в печени; защищает ткань легких от ферментативной деградации)	Клетки легких или печени	Предварительные исследования
Муковисцидоз	1 на 2500 (среди белого населения)	Вещество, важное для проходимости воздухоносных путей	Клетки легких	Теоретическая возможность прямого введения гена в легкие с аэрозолем
Мышечная дистрофия Дюшенна	1 на 10 000 (у мужчин)	Дистрофин (структурный компонент мышц)	Мышечные клетки (особенно эмбриональные, развивающиеся в мышечные волокна)	Предварительные исследования
Болезнь лизосомного накопления	1 на 1500 (различные формы)	Ферменты, расщепляющие сложные молекулы в лизосомах	Разные, в зависимости от характера патологии	Для большинства случаев требуется введение генов в клетки мозга, что весьма сложно

НЕКОТОРЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ сегодня уже можно было бы лечить путем генотерапии; они обусловлены нарушениями в том или ином одиночном гене, который клонирован. В об-

щем случае у больного нужно выделить определенные клетки, ввести в них нормальный ген и вернуть в организм пациента.

мый продукт в количестве, достаточном для лечения заболевания. Экстраполяция результатов опытов на мышцах показывает, что для коррекции нехватки фактора IX у человека может быть достаточно имплантата фибробластов размером около 1,5 см<sup>2</sup>. Совместно с К. Бринкхаузом из Университета Северной Каролины в Чэпел-Хилл мы планируем для лечения гемофилии исследовать возможности имплантации фибробластов у собак. Если эти эксперименты пройдут успешно, появятся основания перейти к клиническим испытаниям.

Генетически измененные фибробласты можно также имплантировать в мозг для коррекции нарушений в нейронах. На мозг трудно воздействовать лекарствами, поскольку вещества, циркулирующие в крови, как правило, не могут проникать через гематоэнцефалический барьер. Для осуществления прямых генетических изменений нейроны должны быть выделены, а это невозможно без нарушений функционирования мозга. Фи-

бробласты же теоретически можно (путем генетической инженерии) «заставить» секретировать белки, диффундирующие в нервные клетки.

Предварительные результаты исследования этой возможности представляются обнадеживающими. Ф. Гэйдж из Калифорнийского университета в Сан-Диего имплантировал крысам в мозг фибробласты, генетически измененные так, что они производили фактор роста нервов, и показал, что в результате стимулировался рост нейронов. При этом отмечалась регенерация тех клеток, с потерей которых связывают утрату памяти при болезни Альцгеймера, хотя роль фактора роста нервов в развитии заболевания не установлена. Аналогично имплантация фибробластов, производящих L-DOPA (предшественник нейромедиатора дофамина), испытывается сейчас на животных, являющихся экспериментальной моделью для изучения болезни Паркинсона. Истинная причина паркинсонизма пока не известна, но, по всей вероятности,

какую-то роль здесь играет недостаточность L-DOPA. Однако же остается невыясненным, сколь долго могут переживать имплантированные фибробласты в коже или мозге.

КЛЕТКИ печени по сравнению с фибробластами и клетками костного мозга являются новичками в области генотерапии. Они могут оказаться важными для лечения генетических заболеваний, при которых нарушается функционирование печени. Например, недавно Р. Маллигану и Дж. Уилсону в Институте Уайтхеда, а также независимо от них Т. Фридману с сотрудниками в Калифорнийском университете в Сан-Диего удалось ввести ген рецептора липопротеинов низкой плотности (ЛНП) в клетки печени и индуцировать в этих клетках синтез биологически активного рецептора в лабораторных условиях. Клетки печени получали из кроликов Ватанабе, у которых генетически отсутствует рецептор ЛНП, как у людей, больных се-

мейной гиперхолестеролемией, которая может приводить к инфаркту.

Изучалась возможность прямых инъекций таким кроликам комплексов гена рецептора ЛНП с переносимым их в печень белком. (У человека прямые инъекции позволили бы обойтись без хирургической операции для получения клеток печени.) Кодированный этим геном белок появлялся в организме, но, как и в опытах на культурах клеток, его присутствие было лишь временным. Правда, не исключено, что продолжительность экспрессии введенного гена возможно увеличить; эта проблема, наверное, будет решена, ведь исследования клеток печени для целей генотерапии только начались.

Клетки костного мозга, кожи и печени привлекают наибольшее внимание в исследованиях по генотерапии, но вызывают интерес также и другие типы клеток. Например, с помощью ретровирусов можно вводить гены секреторных белков в клетки эндотелия, выстилающие артерии. Эти клетки имеют непосредственный контакт с кровью и, следовательно, могут быстрее, чем фибробласты, поставлять в кровь требующийся продукт.

Предполагается также испытывать введение нормального гена, кодирующего дистрофин (структурный компонент мышц), непосредственно в мышцы мышей, страдающих расстройством, сходным с заболеванием человека, называемым мышечной дистрофией Дюшенна. Есть основания надеяться, что введенные гены будут экспрессироваться: когда в мышцы животных вводили другие гены, синтез соответствующих белков наблюдался в течение нескольких месяцев, хотя интеграция введенной ДНК в хромосомы и не происходила. Представляется возможной также генотерапия муковисцидоза (наследственного заболевания легких); нужные гены можно было бы вводить в организм больного путем вдыхания аэрозоля, содержащего в своем составе ретровирус, несущий соответствующий ген.

**ПРИМЕНЕНИЕ** генотерапии не ограничено лишь коррекцией нарушений функционирования тех или иных генов. С ее помощью можно также придавать клеткам новые свойства, усиливающие их способность бороться с заболеванием.

Так, С. Розенберг с коллегами в Национальном институте рака показали, что лимфоциты, полученные из опухоли больного и культивировавшиеся в присутствии интерлейкина-2 (это вещество активирует Т-лимфоциты), могут противодействовать

развитию некоторых злокачественных опухолей (см. статью: С. Розенберг. Адоптивная иммунотерапия рака, «В мире науки», 1990, № 7). Эти исследователи надеются усилить противораковое действие лимфоцитов, инфильтрирующих опухоль, путем введения гена так называемого фактора некроза опухолей (это вещество, обладающее противоопухолевой активностью, обычно не производится Т-лимфоцитами). Скоро должны начаться клинические испытания метода, предложенного Розенбергом.

Другие исследователи, пытаются индуцировать в различных типах клеток синтез молекул, обозначаемых CD4, которые обнаруживаются на Т-лимфоцитах, заражаемых вирусом СПИДа. Этот вирус проникает в клетки после связывания белка его оболочки с CD4, имеющимся на поверхности клетки. Свободные молекулы CD4 в крови могут послужить как бы приманкой для вируса, отвлекая его от клеток-мишеней.

Обсуждается также множество иных конструктивных идей применения генотерапии. В частности, рассматривается возможность индуцировать в эндотелиальных клетках секрецию факторов, предотвращающих образование кровяных сгустков в артериях после операций на сердце.

Идея введения генов в организм для лечения наследственных и прочих заболеваний является поистине революционной. В этом, по-видимому, заключается одна из причин более медленного, чем ожидалось, развития этого направления. Современные живые организмы являются продуктом миллионов лет эволюции. Поэтому не следует рассчитывать, что в начальных попытках введения чужеродных генов в клетки удастся сразу достичь нормальной устойчивой их экспрессии.

Кроме того, для излечения болезни

необходимо обеспечить должную длительную экспрессию соответствующего гена. В ходе исследований постоянно обнаруживаются факторы (например, для некоторых генов в ретровирусные векторы следует включать энхансеры), которые указывают правильное направление разработок. Нужны также более совершенные методы возвращения генетически измененных клеток (скажем, клеток печени) в организм, способы увеличения продолжительности жизни имплантированных клеток, методики выделения стволовых клеток (вместо клеток костного мозга).

В то же время требуется подтвердить безопасность ретровирусных векторов в исчерпывающих исследованиях на мелких и крупных животных; должны продолжаться поиски дополнительных защитных элементов, включаемых в генно-инженерные конструкции. Хотя используются ретровирусные векторы, не способные к репликации, не исключен риск того, что они могут стать причиной рака. Хорошо бы найти альтернативу ретровирусным векторам. Надо также разрабатывать адресное введение генов в организм.

Возможность излечения наследственных заболеваний в результате одной безопасной инъекции несомненно окупит все вложения в решение этих проблем. Но следует помнить, что генотерапия — не панацея. Природа большинства заболеваний человека не генетическая. Инфекционные болезни, которые вызываются микробами, присутствующими в окружающей среде, и распространяются из-за плохих санитарных условий, загрязнения питьевой воды, недостаточного питания и других факторов, неподвластных генной инженерии. А ведь эти заболевания тоже заслуживают самого пристального внимания.

## Наука и общество

### «Умные стекла»

**В ГЛАЗАХ** человека и насекомых свет по мере прохождения через тканевую среду претерпевает все большее отклонение. Это способствует лучшей фокусировке за счет сокращения оптического пути.

Однако линзы в очках, фотокамерах и других обычных оптических приборах устроены, как правило, иначе. Сферические поверхности искусственных линз преломляют световые лучи на краях больше, чем в центре. Это явление, называемое сферической аберрацией, приводит к созданию раз-

мытого изображения, поскольку некоторая часть света не попадает в фокусную точку. Коррекцию линзы можно осуществить путем тщательной шлифовки ее поверхности и придания ей несферической формы, а в объектив для устранения аберрации можно ввести дополнительные линзы, которые внесут корректирующие искажения.

С начала века оптики пытаются имитировать глаз насекомого, изготавливая линзы из стекла, в котором показатель преломления меняется по мере прохождения световых лучей сквозь материал. Однако создание таких материалов с плавно меняющим-

ся показателем преломления требовало сложных компьютеров для выполнения громоздких вычислений.

В настоящее время несколько компаний производят линзы типа GRIN (от англ. gradient-index) с градиентом коэффициента преломления. Этот показатель в линзах GRIN меняется либо от центра линзы к краям (радиальный градиент), либо от передней поверхности к задней (аксиальный градиент). Линза с радиальным градиентом фокусирует свет сильнее, и задняя поверхность ее может быть плоской. У линз с аксиальным градиентом задняя поверхность должна быть сферической.

Материалы типа GRIN производить невероятно трудно, даже с помощью компьютеров. Большинство из них получают с использованием ионообменного процесса, при котором в жидкой соляной ванне ионы калия замещают в стекле ионы других металлов, например таллия. В этом случае те области, где больше таллия (более тяжелого элемента), имеют и более высокий коэффициент преломления. Для того чтобы значительное количество ионов диффундировало в стекло, может потребоваться месяц и даже больше, причем величина изменения коэффициента преломления ограничена.

Компания Isotec в Туссоне (шт. Аризона) объявила, что разработала процесс, позволяющий в течение нескольких дней получать заготовки линз, в которых коэффициент преломления меняется вдвое. Специалисты компании утверждают, что в скором времени они смогут получать более крупные заготовки и достигать более точной регулировки траекторий световых лучей в стекле. Процесс основан на сплавлении 5—10 слоев свинцово-силикатного стекла в платиновом тигле при температурах до 1500 °С. Слой с большим коэффициентом преломления содержит больше атомов свинца, который сильно взаимодействует с фотонами.

Isotec начала разработку процесса около 5 лет назад, пытаясь изготовить линзы для концентрации солнечного света на фотоэлементах. Вначале все попытки были неудачными: первые образцы стекол крошились или темнели еще в процессе изготовления. Тогда компания обратилась за помощью к Р. Бланкенбеклеру, физику-ядерщику, возглавляющему отдел теоретической физики в Стэнфордском ускорительном центре.

Бланкенбеклер высказал предположение, что стекло разрушалось, поскольку слои с различными показателями преломления расширялись или сжимались на разную величину при изменении температуры. Ознакомив-

шись с техническими характеристиками стекол, он подобрал несколько наиболее подходящих материалов, термические свойства которых не зависели от изменения коэффициента преломления. При сплавлении пластин из таких стекол они образуют монолитную структуру.

Сейчас Isotec ведет переговоры с потенциальными потребителями их технологии для изготовления лазерных коллиматоров, биноклей, приборов ночного видения, аппаратуры для создания эффектов «мнимой реальности» и подвижных трехмерных графических компьютерных моделей. В рекламно-пропагандистской кампании, развернутой Isotec, фирма называет свою продукцию «умными стеклами», которые вскоре произведут революцию в телекоммуникации, компьютерной технике и традиционных оптических устройствах. Однако эти заявления были весьма скептически встречены теми немногими фирмами, которые выпускают GRIN-изделия.

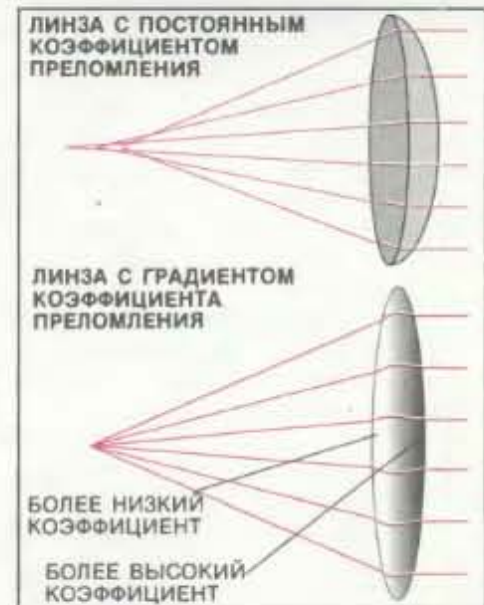
«Умное предполагает наличие логики; новые стекла таким свойством не обладают», — заявил Д. Мур, директор Института оптики при Рочестерском университете, главном центре исследований в данной области. Мур не отрицает, что специалисты Isotec проделали очень интересную работу, но, как он считает, требуется сделать еще больше, прежде чем эти материалы будут освоены в производстве. Все, что они смогли, — это изготовить несколько опытных образцов. Кстати, Мур, владеющий компанией, которая также занимается выпуском GRIN-изделий, говорит, что Isotec продемонстрировала только заготовку, которую нужно еще шлифовать и полировать, прежде чем она превратится в линзу.

Если Isotec получит лицензию на новый процесс, главным конкурентом ее будет японская фирма Nippon Sheet Glass (NSG). Представители NSG заявили, что в руках их фирмы сосредоточено 99% всего рынка (общим объемом 50 млн долл.) GRIN-устройств для факсимильных аппаратов, фотокопировальной техники, лазерных приборов и волоконно-оптических систем связи. Используя обычный ионообменный процесс, NSG производит линзы-стержни диаметром около одного миллиметра, которые в количестве сотен штук устанавливаются в телефаксы и сканирующие элементы фотокопировальных аппаратов. Короткое фокусное расстояние — от 15 до 30 мм, — требуемое для просеивания линейного изображения документа на фоточувствительный барабан, делает

такие линзы исключительными для портативной аппаратуры.

Однако NSG не сидит сложа руки. Помимо изготовления линз путем связки и склейки тонких стержней с различными коэффициентами преломления фирма пытается разработать методы массового производства, сочетающие ионный обмен с фотолитографией, используемой для получения интегральных схем. Ее цель — делать линзы путем травления решетки микроскопических линз на подложке из стекла.

Обе технологии, однако, могут проиграть в конкурентной борьбе с так называемой «двоичной оптикой», где на обычные линзы для коррекции сферических и других аберраций наносится дифракционная картина. Сегодня тем не менее возможна комбинация двух методов, что и пытается осуществить упомянутый Институт оптики. И тогда «троичная оптика» позволит ликвидировать хроматические аберрации, имеющие место в GRIN-изделиях, с помощью «двоичных материалов».



ЛИНЗЫ с градиентом коэффициента преломления позволяют корректировать сферические и другие оптические аберрации (внизу). Световые лучи, падающие на обычную линзу с постоянным коэффициентом преломления (вверху), могут не попадать в одну и ту же фокусную точку. Стекло с градиентом коэффициента преломления, изготовленное компанией Isotec (на фотографии), отклоняет свет независимо от его длины волны и кривизны поверхности стекла.

**Сновидения у млекопитающих отражают глубинные механизмы памяти. Жизненно важная информация, полученная в состоянии бодрствования, во время сна может подвергаться повторной обработке**

ДЖОНАТАН УИНСОН

**И**СПОКОН веков люди стремились понять смысл сновидений. Древние египтяне верили в пророческую силу сновидений; в Библии, например, рассказывается, как Иосиф, растолковав фараону смысл его сна, избавил страну от семилетнего голода. В других культурах сновидения считались источником вдохновения и целебной силы или же альтернативной реальностью.

Психологические и неврологические объяснения сновидений, предлагавшиеся на протяжении прошлого столетия, противоречили друг другу. Зигмунд Фрейд в своей книге «Толкование сновидений», опубликованной в 1900 г., выдвинул предположение, что сновидения, в которых в замаскированном виде проявляются глубинные элементы внутренней жизни человека, представляют собой «самый короткий путь» в бессознательное. Позднее была сформулирована противоположная точка зрения, согласно которой сновидения являются результатом беспорядочной активности нервных клеток и, следовательно, лишены какого-либо смысла. Рассматривались сновидения и как механизм, с помощью которого мозг избавляется от ненужной ему информации в процессе так называемого «отрицательного научения», или забывания.

На основании данных, полученных недавно в моей и других нейрофизиологических лабораториях, я берусь утверждать, что смысл в сновидениях присутствует. Как показывает изучение структуры мозга, называемой гиппокампом (она играет важную роль в процессах памяти), быстрой фазы сна и электрической активности мозга, известной под названием тета-ритма, сновидения связаны с центральными механизмами памяти. Исследования тета-ритма у животных, занимающих на филогенетическом древе положение до приматов, позволили взглянуть на проблему смысла сновидений с эволюционной точки зрения. По-видимому, сновидения у млекопитающих можно рассматривать как ночную консолидацию ос-

новных следов памяти, позволяющую животному вырабатывать свою стратегию выживания и в свете этой стратегии оценивать повседневный опыт. Существование такого механизма у животных может способствовать пониманию смысла сновидений у человека.

**Т**АЙНА физиологических механизмов сновидений впервые приоткрылась в 1953 г., когда был изучен цикл сна у человека. Выяснилось, что сон начинается с периода гипнагогического состояния, продолжающегося всего несколько минут, когда мысли превращаются в смесь из отрывочных образов или эпизодов каких-то событий. За гипнагогическим состоянием следует медленный сон, названный так потому, что в это время электрические волны в неокортексе (внешнем слое головного мозга, покрытом извилинами) характеризуются низкой частотой и высокой амплитудой. Такие волны можно зарегистрировать с помощью электроэнцефалограммы (ЭЭГ).

Ночной сон прерывается периодами, когда в ЭЭГ можно различить нерегулярные по частоте низкоамплитудные волны, похожие на те, которые наблюдаются в состоянии бодрствования. Такие периоды психической активности получили название быстрого сна. Сновидения возникают только в эту фазу сна. Во время быстрого сна, однако, моторные нейроны заторможены, что препятствует свободным телодвижениям, но позволяет слегка двигаться конечностям. Глаза под закрытыми веками быстро двигаются в унисон, дыхание становится беспорядочным, а сокращения сердца учащаются.

В ходе ночного сна первый период быстрого сна начинается через 90 мин медленного сна и продолжается 10 мин. Второй и третий раз быстрый сон следует за менее длительными периодами медленного сна, но продолжается дольше, чем первый раз. Четвертый и последний период быстрого сна длится 20—30 мин и завершается

пробуждением. Если человек помнит свой сон, то скорее всего это — сновидение, приснившееся ему в последний период быстрого сна.

Такой цикл — перемежающиеся периоды быстрого и медленного сна — присущ всем плацентарным и сумчатым млекопитающим. У млекопитающих наблюдаются различные характеристики быстрого сна, свойственные человеку, включая те черты ЭЭГ, которые присущи состоянию бодрствования. Сны животные тоже видят. Если у кошки разрушить нейроны мозгового ствола (части головного мозга, прилежащей к спинному мозгу), тормозящие движения во время сна, то животное в состоянии сна может внезапно подниматься и атаковать или, наоборот, пугаться чего-то невидимого — вероятно, образов своих сновидений.

В исследованиях сна у животных «ниже» приматов выявились некоторые дополнительные аспекты быстрого сна. Было показано, что нервная регуляция этой фазы цикла сна осуществляется мозговым стволом и что во время быстрого сна нервные сигналы, называемые понто-геникуло-окулярными (ПГО) спайками, направляются из мозгового ствола в центр обработки зрительной информации — в зрительную кору головного мозга. Кроме того, нейроны мозгового ствола инициируют синусоидальную волну в гиппокампе. Этот сигнал получил название тета-ритма.

По крайней мере у одного животного вообще нет быстрого сна, а следовательно, и тета-ритма. Речь идет об австралийской ехидне, являющейся представителем яйцекладущих однопроходных млекопитающих. Изучение сна у этого животного помогает

понять происхождение сновидений. Отсутствие у ехидны быстрого сна позволяет предполагать, что эта фаза цикла сна появилась около 140 млн лет назад, когда от однопроходных млекопитающих отделились сумчатые и плацентарные. (Однопроходные, происшедшие от рептилий, были первыми млекопитающими.)

Тот факт, что такой сложный мозговой процесс, как быстрый сон, закрепился в ходе эволюции, свидетельствует о его важной роли в выживании млекопитающих. Выяснение этой роли может пролить свет на смысл сновидений.

**К**ОГДА Фрейд писал «Толкование сновидений», физиологические механизмы сна были неизвестны. Открытие быстрого сна привело к изменению некоторых положений концепции Фрейда и появилась основа для неврологических теорий сновидений. Сновидения стали рассматривать как часть биологически детерминирован-

ного цикла сна. Однако некоторые положения теории Фрейда признаются поныне (в частности, утверждение, что в сновидениях отражаются глубинные бессознательные чувства и желания человека) и до сих пор используются в психоанализе.

После открытия нервных механизмов сна некоторые теоретики целиком отказались от концепции Фрейда. В 1977 г. Дж. Хобсон и Р. Маккарли из Медицинской школы Гарвардского университета выдвинули гипотезу «активации—синтеза». Они предположили, что сновидение состоит из ассоциаций и следов памяти, активируемых в переднем мозге (неокортексе и связанных с ним структурах мозга) в ответ на беспорядочные сигналы из мозгового ствола, например на ПГО-спайки. Сновидения представляли всего-навсего как самую безобидную реакцию, которой передний мозг может ответить на его беспорядочную «бомбардировку» сигналами из мозгового ствола. Считалось, что хо-

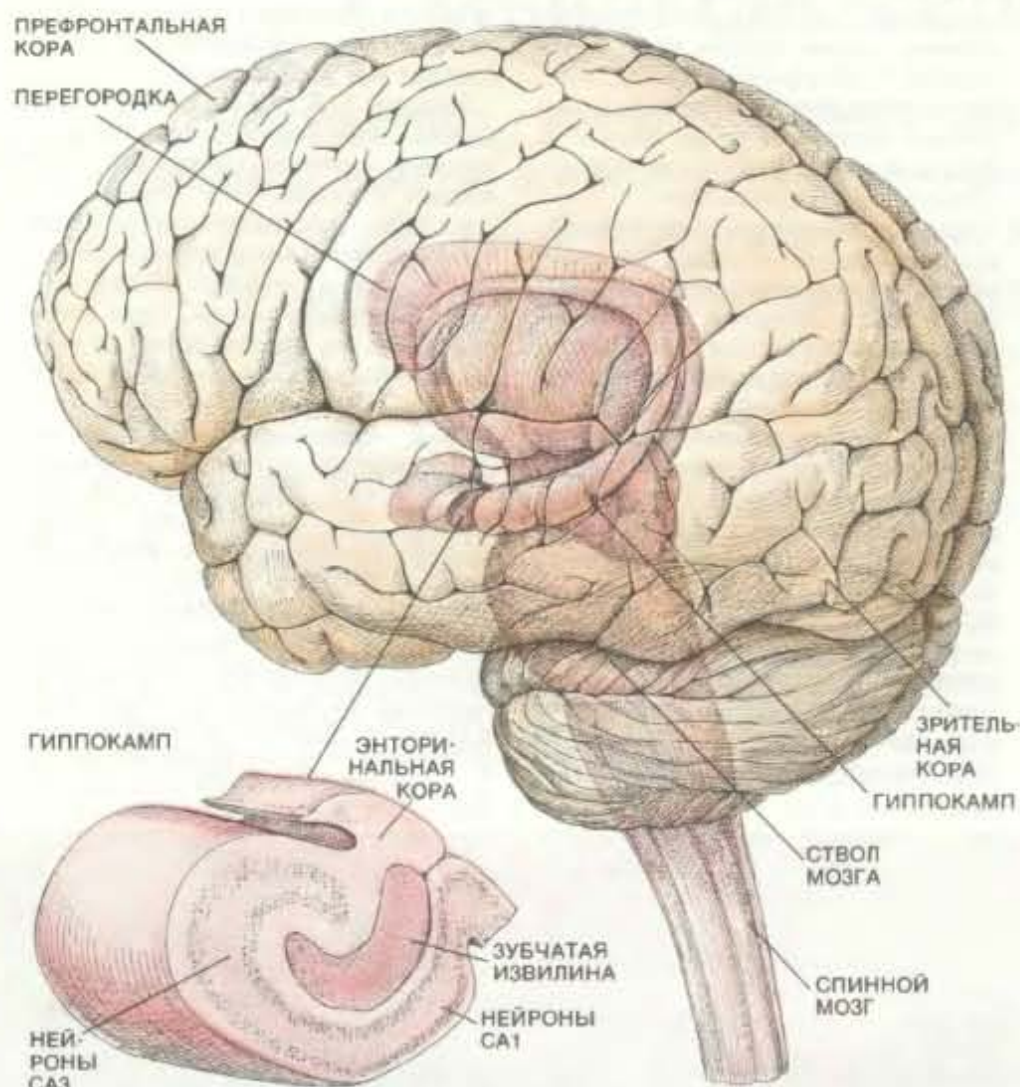
тя иногда сновидения и несут психически значимое содержание, по своей природе они бессмысленны.

Недавно Хобсон пересмотрел свои взгляды, признав глубокое психологическое значение сновидений. Он пришел к выводу, что содержание, или сюжет сновидений определяется тем приданным хаосу нервных сигналов порядком, который зависит от индивидуального видения мира человеком, от его воспоминаний о прошлом. Иными словами, сновидения связаны с эмоциональным опытом. Затем, существенно переработав свою исходную гипотезу, Хобсон предположил, что активирующие влияния мозгового ствола служат просто для переключения сновидений с одного на другое.

Хотя Хобсон и Маккарли дали возможное объяснение содержанию сновидений, функции быстрого сна по-прежнему оставались непонятными. В 1983 г. Ф. Крик из Института Солка в Ла-Хойя (шт. Калифорния) и



КАРТИНА «ЛЕСТНИЦА ИАКОВА», написанная Марком Шагалом в 1973 г., изображает библейский сюжет: Иаков, в потомстве которого Бог благословил «все племена земные», видит во сне: «вот лестница стоит на земле, а верх ее касается неба; и вот Ангелы Божии восходят и нисходят по ней».



СТРОЕНИЕ МОЗГА и гиппокамп в поперечном разрезе; показаны некоторые области мозга, участвующие в возникновении сновидений. Поступающая в гиппокамп информация последовательно перерабатывается в зубчатой извилине и пирамидных клетках полей CA3 и CA1. У млекопитающих, кроме приматов, тета-ритм генерируется в зубчатой извилине и поле CA1.

Г. Митчсон из Кембриджского университета (Великобритания) выдвинули гипотезу «отрицательного научения». Взят за основу идею о беспорядочной «бомбардировке» неокортекса ПГО-импульсами и свои собственные данные о поведении стимулированных нейронных сетей, они предположили, что столь сложная ассоциативная нервная сеть, какой является неокортекс, может оказаться перегруженной слишком большим объемом поступающей в нее информации. В таком случае неокортекс способен породить «паразитные» (как бы ошибочные, лишние) мысли, представляющие опасность для памяти. Быстрый сон и служит для того, чтобы регулярно «стирать» их: беспорядочные ПГО-импульсы вторгаются в неокортекс, что приводит к стиранию паразитных ассоциаций, забыванию ошибочной информации. Этот процесс выполняет очень важную функцию: он обеспечивает правильную работу памяти. У человека сновидения

являются средством «записи и воспроизведения» таких паразитных мыслей — материала, от которого память необходимо очистить. «Мы видим сны, чтобы забывать», — писали Крик и Митчсон.

В 1986 г. эти исследователи пересмотрели свою гипотезу. Они стали считать, что стирание паразитных мыслей имеет место только во время фантазматических сновидений. (Но сновидения с сюжетным содержанием не получали никакого объяснения.) Кроме того, вместо формулы «видеть сны, чтобы забывать», предполагалось, что сны служат для того, чтобы ослаблять фантазии и навязчивые состояния.

Ни одна из этих гипотез не дает убедительного объяснения функциям сновидений. Так, теория Фрейда не подкрепляется физиологическими данными. (Хотя у Фрейда сначала и было намерение описать нервные механизмы бессознательного и сновидений в книге «Проект научной психологии»,

эта попытка была явно преждевременной, и он ограничился изложением концепции психоанализа.) А более поздние теории хотя и пытались включать элементы психологии, решительно отрицали, что сновидения могут нести какой-либо смысл.

**НА МОЙ** взгляд, наилучший путь к пониманию смысла и функций сновидений — это изучение нервных механизмов быстрого сна и памяти. Ключевым аспектом таких исследований стал тета-ритм.

Тета-ритм у бодрствующих животных был обнаружен в 1954 г. Дж. Грином и А. Ардуини из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Они наблюдали в гиппокампе у кроликов при ориентировочной реакции упорядоченный синусоидальный сигнал с частотой 6 циклов в секунду. Этот сигнал получил название «тета-ритм», как и описанные ранее компоненты ЭЭГ такой частоты.

Впоследствии тета-ритм зарегистрировали у тупайи, крота, крысы и кошки. У всех этих животных тета-ритм наблюдался неизменно во время бодрствования, но у разных видов он коррелировал с разными формами поведения. Так, у крыс в отличие от кроликов просто при воздействии внешних раздражителей тета-ритм не возникал, а появлялся только в движении, особенно во время исследовательского поведения. Тем не менее, как показал в 1969 г. К. Вандервульф из Университета Западного Онтарио, существует такая форма поведения, при которой тета-ритм свойствен всем животным — это быстрый сон.

В 1972 г. я в одной из своих публикаций высказал предположение, что различный характер проявления тета-ритма у разных животных можно понять в связи с особенностями их поведения. Судя по всему, в состоянии бодрствования тета-ритм возникает на фоне поведения, имеющего решающее значение для выживания животного. Иными словами, тета-ритм связан с поведением, не генетически запрограммированным (как, например, пищевое и половое поведение), а являющимся реакцией на изменения во внешней среде. У кошки, кролика и крысы самыми важными для выживания представляются соответственно хищническое поведение, поведение жертвы и исследовательское поведение. (Если, к примеру, перед голодной крысой положить пищу, она сначала обследует ее и только потом съест.)

А поскольку гиппокамп принимает участие в процессах памяти, наличие тета-ритма в этой области мозга во время быстрого сна может иметь отношение к памяти. Я предположил,

что тета-ритм у спящего животного отражает нервный процесс, с помощью которого накопленная за день жизненно важная информация во время быстрого сна подвергается повторной переработке и фиксируется в памяти.

В 1974 г., регистрируя электрическую активность гиппокампа у свободно передвигающихся крыс и кроликов, я установил местонахождение генератора гиппокампального тета-ритма. Считается, что гиппокамп наряду с неокортексом обеспечивает нервный субстрат памяти. Гиппокамп (что значит по-гречески «морской конек», которого эта структура напоминает своей формой) представляет собой сложное образование, состоящее из нейронов трех типов. Информация из всех сенсорных и ассоциативных областей неокортекса конвергирует в так называемой энторинальной коре; отсюда нервные сигналы передаются последовательно в три группы нейронов гиппокампа. Сначала сигнал приходит к клеткам-зернам (гранулярным клеткам) зубчатой извилины, потом поступает в пирамидные нейроны (называемые так из-за своей треугольной формы) поля CA3 и, наконец, достигает пирамидных клеток поля CA1. Проходя переработку нейронами этих трех групп, информация передается обратно в энторинальную кору, а затем в неокортекс.

Как показали мои исследования, тета-ритм в гиппокампе генерируется синхронно в двух местах: в зубчатой извилине и в нейронах поля CA1. Позднее, в 1980 г. С. Митчелл и Дж. Рэнк

из Медицинского центра Университета шт. Нью-Йорк выявили третий генератор синхронного тета-ритма в энторинальной коре, а Р. Вердес из Государственного университета Уэйна в Детройте (шт. Мичиган) обнаружил в мозговом стволе нейроны, регулирующие тета-ритм. Эти регуляторные нейроны посылают сигналы в передний мозг в структуру, называемую перегородкой, которая активирует тета-ритм в гиппокампе и энторинальной коре. Таким образом мозговой ствол активирует гиппокамп и неокортекс — главную систему памяти головного мозга.

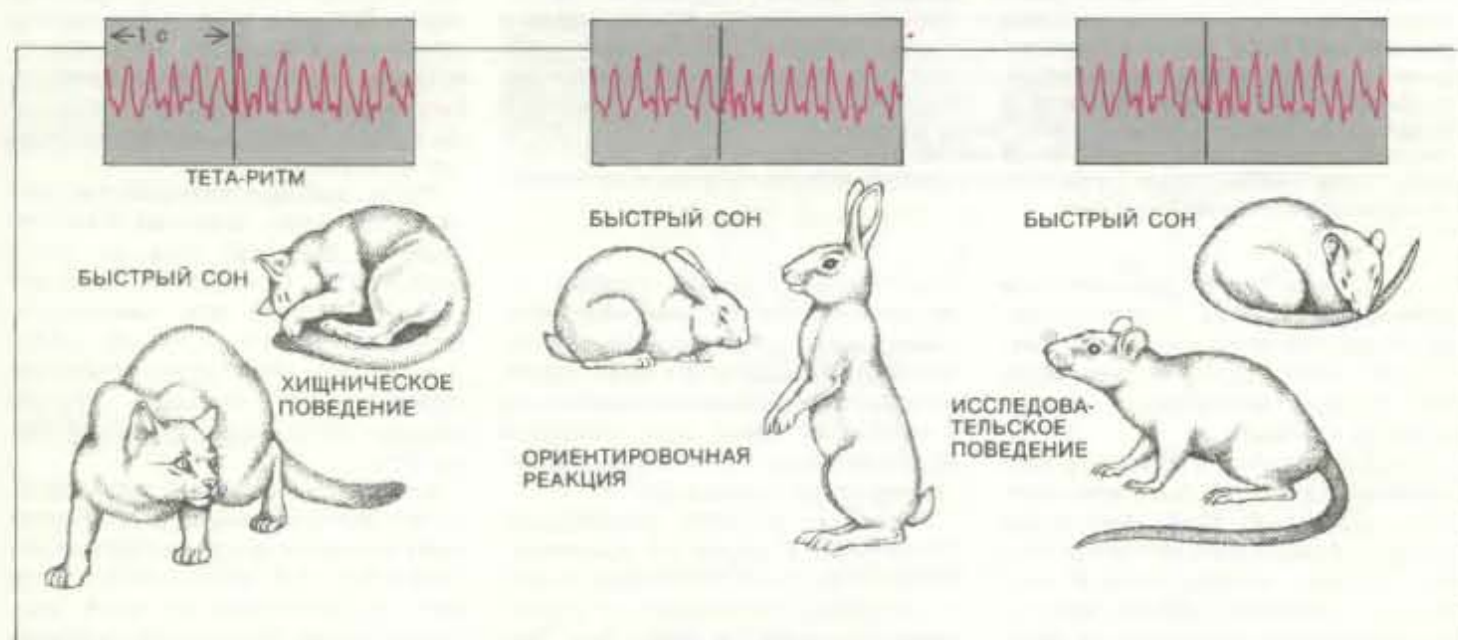
Чтобы изучить связь между тета-ритмом и памятью, я разрушал у крыс перегородку. Животные, предельно обученные находить с помощью пространственных ориентиров определенное место в лабиринте, после разрушения перегородки утрачивали этот навык. Таким образом, без тета-ритма пространственная память у животных исчезала.

Роль тета-ритма стала понятной в результате изучения тех клеточных изменений, которые лежат в основе памяти. Так, открытие в 1973 г. долговременной потенциации позволило выяснить, как может кодироваться память. Т. Блисс и Э. Гарднер-Медун из Национального института медицинских исследований в Лондоне и Т. Лемо из Университета г. Осло обнаружили, что в нервных клетках в результате интенсивной стимуляции электрическими импульсами происходит ряд специфических изменений.

Ранее было показано, что, если стимулировать нервный путь из энтори-

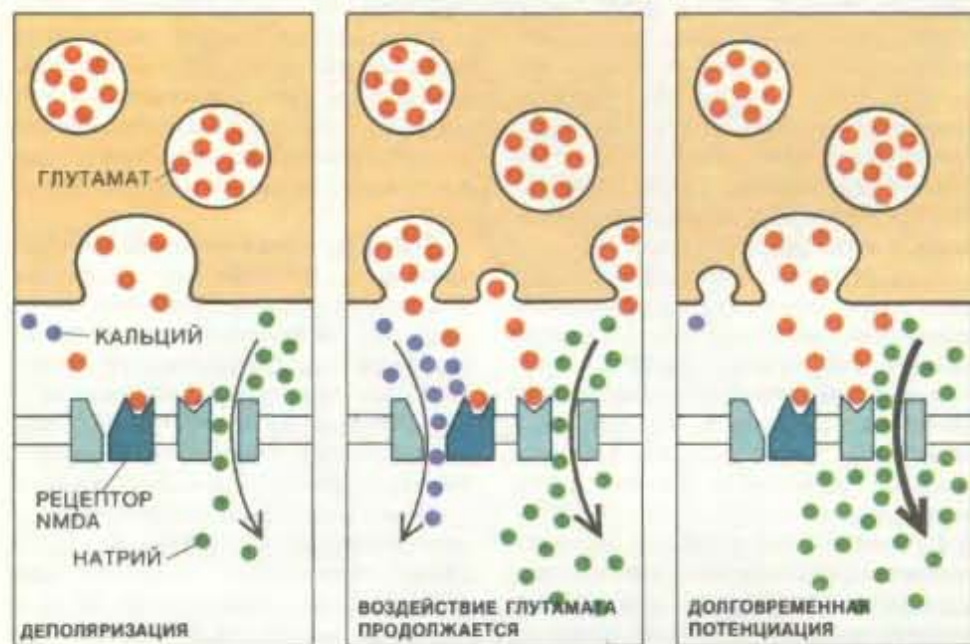
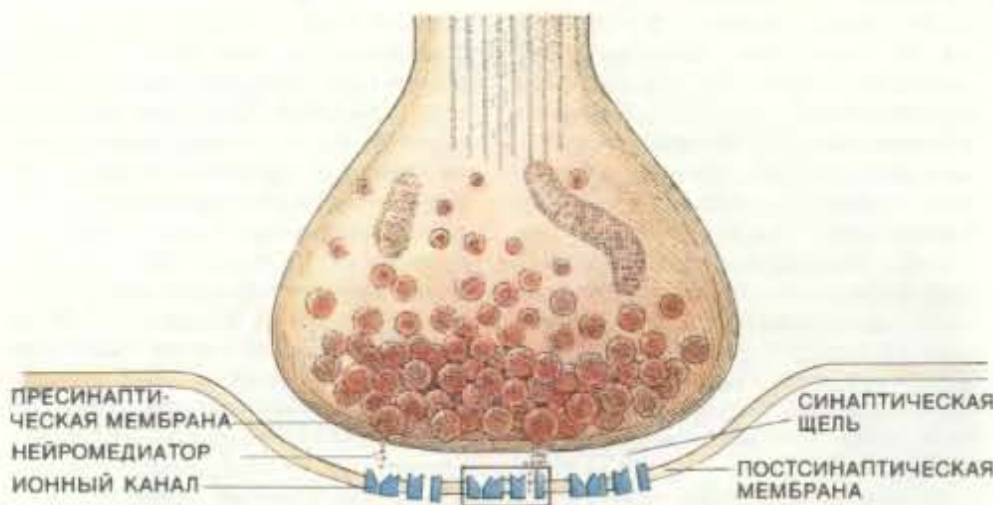
нальной коры к клеткам-зернам гиппокампа, ответ этих клеток можно измерить с помощью регистрирующего электрода. Пользуясь этой методикой, Блисс и сотрудники измеряли ответ клеток-зерен на одиночный электрический импульс в норме и после так называемой тетанической стимуляции (т. е. воздействия длинной серии высокочастотных импульсов) нервного пути из энторинальной коры. Оказалось, что после такой стимуляции клетки-зерна дают гораздо более интенсивный разряд в ответ на одиночный импульс, причем эффект сохраняется до трех суток. Этот феномен, получивший название долговременной (или длительной) потенциации, создает как раз такое усиление межнейронных взаимодействий, которое может обеспечить основу памяти. Сегодня долговременную потенцию рассматривают как клеточную модель памяти и научения.

Долговременная потенция обеспечивается активностью рецептора N-метил-D-аспартата (NMDA). Этот рецептор, молекулы которого располагаются в мембране дендритов, имеется в клетках-зернах и нейронах поля CA1 гиппокампа, а также в нейронах, разбросанных по всему неокортексу. Рецептор NMDA, как и другие рецепторные молекулы нейронов, активируется нейромедиатором — в данном случае глутаматом. Под действием глутамата в дендрите клетки-зерна открываются каналы (не связанные с рецептором NMDA) для ионов натрия, которые переходят из внеклеточного пространства внутрь нейро-



ТЕТА-РИТМ у различных животных сопровождается разными формами поведения. Каждый из этих видов активности является жизненно важным для данного животного. У всех

изученных сумчатых и плацентарных млекопитающих эволюционно «ниже» приматов тета-ритм возникает также во время быстрого сна.



АКТИВАЦИЯ РЕЦЕПТОРА NMDA приводит к долговременной потенциации, которую можно рассматривать как клеточную модель памяти. При возбуждении нейрона в синапсе (участке контакта двух нейронов) из пресинаптического окончания выделяется нейромедиатор глутамат (вверху). Под действием глутамата в постсинаптической мембране открываются каналы (не связанные с рецептором NMDA) для ионов натрия, который проникает внутрь второго нейрона и его мембрана деполяризуется (слева). Если на фоне деполяризации выделение глутамата продолжается (в середине), то при участии рецептора NMDA открываются другие каналы, через которые в нейрон поступают ионы кальция. В результате увеличивается ток натрия через каналы, не связанные с рецептором NMDA (справа), усиливается деполяризация нейрона и развивается долговременная потенция.

на. Это приводит к деполяризации клеточной мембраны. Если деполяризация достаточно велика, генерируется нервный импульс и тем самым нейрон передает информацию другим нервным клеткам.

Однако в отличие от прочих рецепторов рецептор NMDA обладает особым свойством. Если воздействие глутамата на клетку-зерно продолжается на фоне деполяризации ее мембраны, то при участии этого рецептора открываются другие каналы, через которые внутрь нейрона поступают ионы кальция. Предполагается, что кальций действует как вторичный посредник, инициирующий каскад внут-

риклеточных реакций, который завершается стойкими синаптическими изменениями — долговременной потенцией. (Описанная здесь картина представляет сильное упрощение; в настоящее время долговременная потенция является предметом интенсивных исследований.)

Поскольку в мозге тетаническая стимуляция в норме не возникает, встает вопрос: чем обеспечивается долговременная потенция в естественных условиях? В 1986 г. Дж. Ларсон и Г. Линч из Калифорнийского университета в Ирвине, а также Г. Роуз и Т. Дануди из Колорадского университета в Денвере предположили,

что развитие долговременной потенции в гиппокампе связано с тетаритмом. Эти исследователи воздействовали на нейроны поля CA1 гиппокампа крысы небольшим числом электрических импульсов и обнаружили, что долговременная потенция развивается только в том случае, если последовательные электрические импульсы разделялись таким же интервалом времени, что и две соседние волны тетаритма, равным примерно 200 мс. Таким образом, можно думать, что тетаритм является тем естественным стимулятором, который активирует рецепторы NMDA в гиппокампе.

Данные Ларсона и Линча были подтверждены в моей лаборатории в Рокфеллеровском университете; К. Павлидес, Й. Гринштейн и я стимулировали клетки-зерна гиппокампа и показали, что развитие долговременной потенции зависит от наличия тетаритма и его фазы. Когда электрические импульсы воздействовали на клетку в моменты максимумов тетаволн, долговременная потенция развивалась. А при точно такой же стимуляции в моменты минимумов тетаволн или когда тетаритма вообще не было, долговременная потенция не возникала.

Так постепенно прояснялась картина работы памяти у бодрствующих животных. Например, когда крыса проявляет исследовательское поведение, нейроны мозгового ствола активируют тетаритм. Обязательный вход (который у крысы, как и подергивание вибрисс, синхронизирован с тетаритмом) и сенсорная информация других модальностей конвергируют в энторинальной коре и гиппокампе. Здесь эта информация расщепляется тетаритмом на 200-миллисекундные «блоки». Действующие в тесной связи с тетаритмом рецепторы NMDA обеспечивают ее длительное хранение.

Нечто подобное происходит во время быстрого сна. Хотя приток информации и движения тела во время быстрого сна отсутствуют, темп активности нервной сети неокортекс-гиппокамп опять-таки задается тетаритмом. И в этом случае тетаритм также может вызывать долговременные изменения, затрагивающие память.

Как свидетельствуют результаты одного из проведенных мною позднее опытов, следы пространственной памяти у крыс и в самом деле фиксируются в гиппокампе во время сна. О'Киф и Дж. Достровски из Медицинского колледжа Лондонского университета показали, что отдельные нейроны поля CA1 гиппокампа разряжаются электрическими импульсами

только тогда, когда крыса занимает определенное местоположение; такое местоположение получило название поля места данных нейронов (а нейроны с этим свойством назвали детекторами места). Биологический смысл здесь заключается в том, что нейроны поля CA1 гиппокампа своей импульсной активностью «картируют» окружающее пространство, фиксируя его тем самым в памяти.

В 1989 г. Павлидес и я провели следующий эксперимент. Мы выбрали в поле CA1 гиппокампа крысы два нейрона с разными полями места. Определив нормальную частоту импульсации каждого из этих нейронов у данного животного в состоянии бодрствования и во время сна, мы помешали его затем в поле места одного из нейронов и регистрировали электрическую активность обеих клеток одновременно. Тот нейрон, которому «принадлежало» данное поле места, начинал интенсивно разряжаться, «картируя» местоположение животного. Электрическая активность второй клетки в это время имела эпизодический характер, поскольку она не осуществляла пространственное кодирование. Регистрация активности этой пары нейронов велась непрерывно у бодрствующего животного, когда оно двигалось, а также на протяжении нескольких циклов сна. Подобным образом было изучено 6 пар нейронов.

Мы обнаружили, что те нейроны, которые произвели пространственное кодирование, до наступления сна разряжались с нормальной частотой. Во время сна, однако, частота их импульсации оказалась гораздо выше, чем было зарегистрировано у данного животного во сне до его помещения в поля места этих клеток. У нейронов, не осуществлявших пространственное кодирование, такого усиления импульсации не наблюдалось. Результа-

ты этого опыта говорят о том, что повторная обработка или закрепление информации, закодированной во время бодрствования, происходит во сне на уровне отдельных нейронов.

СВИДЕТЕЛЬСТВА того, что тетаритм способствует консолидации следов памяти во время быстрого сна, можно найти не только в данных нейрофизиологических исследований, но и в эволюционном материале. Возникновение нового нервного механизма, в данном случае механизма переработки следов памяти во время быстрого сна, предполагает появление соответствующих нервных структур. И действительно, есть различия в деталях строения мозга между сумчатыми и плацентарными млекопитающими, обладающими этой фазой сна, и ехидной, у которой нет быстрого сна.

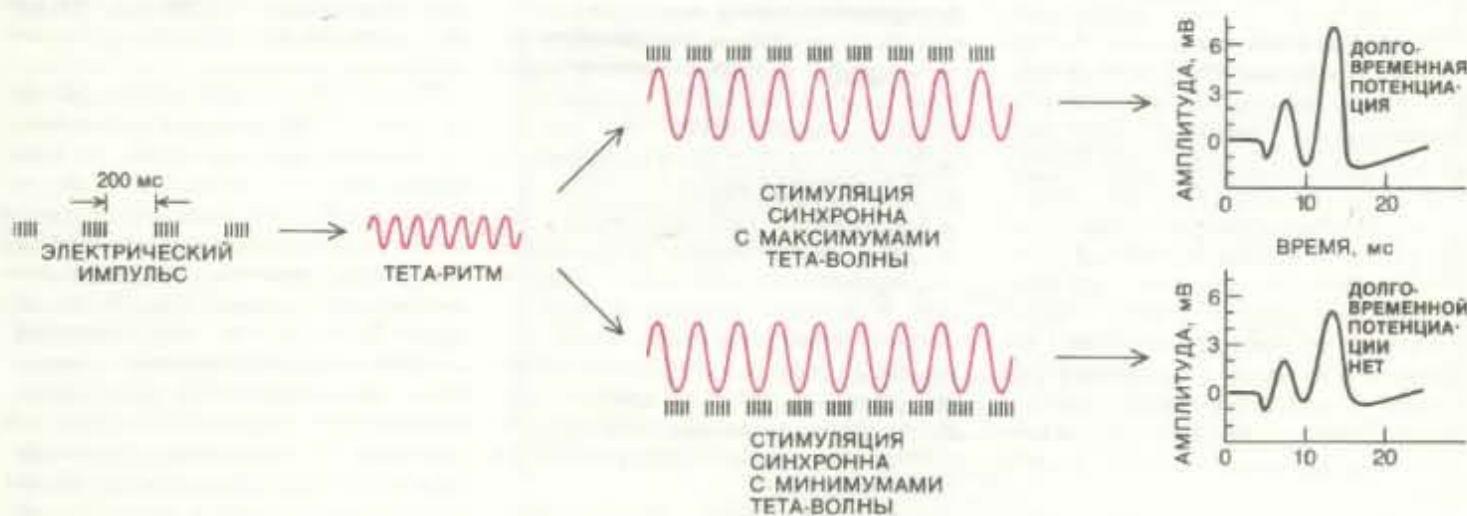
Ехидна имеет обширную, покрытую извилинами префронтальную кору, размеры которой относительно остальной части головного мозга у этого животного больше, чем у прочих млекопитающих, в том числе у человека. По моему мнению, такая огромная префронтальная кора нужна ехидне потому, что этой структуре приходится выполнять двойную работу: с одной стороны, должна быть обеспечена адекватная, основанная на прошлом опыте, реакция животного на поток новой информации, а с другой стороны, необходимо оценивать и хранить новую важную для выживания информацию, которая может понадобиться в будущем. Переработка информации во сне у ехидны невозможна, поскольку у нее нет быстрого сна с тетаритмом. (Тетаритм обнаруживается у ехидны только во время поиска пищи.) Для совершенствования работы мозга требовалось либо увеличение размеров префронтальной коры (насколько это могла позволить

вместимость черепа), либо развитие эволюционно нового мозгового механизма.

Быстрый сон и явился таким механизмом, позволившим памяти работать «на холостом ходу». Развитие быстрого сна у сумчатых и плацентарных млекопитающих сопровождалось значительным нейроанатомическим изменением: размеры префронтальной коры сильно уменьшились. Для переработки информации теперь требовался гораздо меньший объем префронтальной коры. В результате у высших млекопитающих эта область мозга получила возможность дальнейшего развития и стала обеспечивать более совершенные механизмы восприятия и познания.

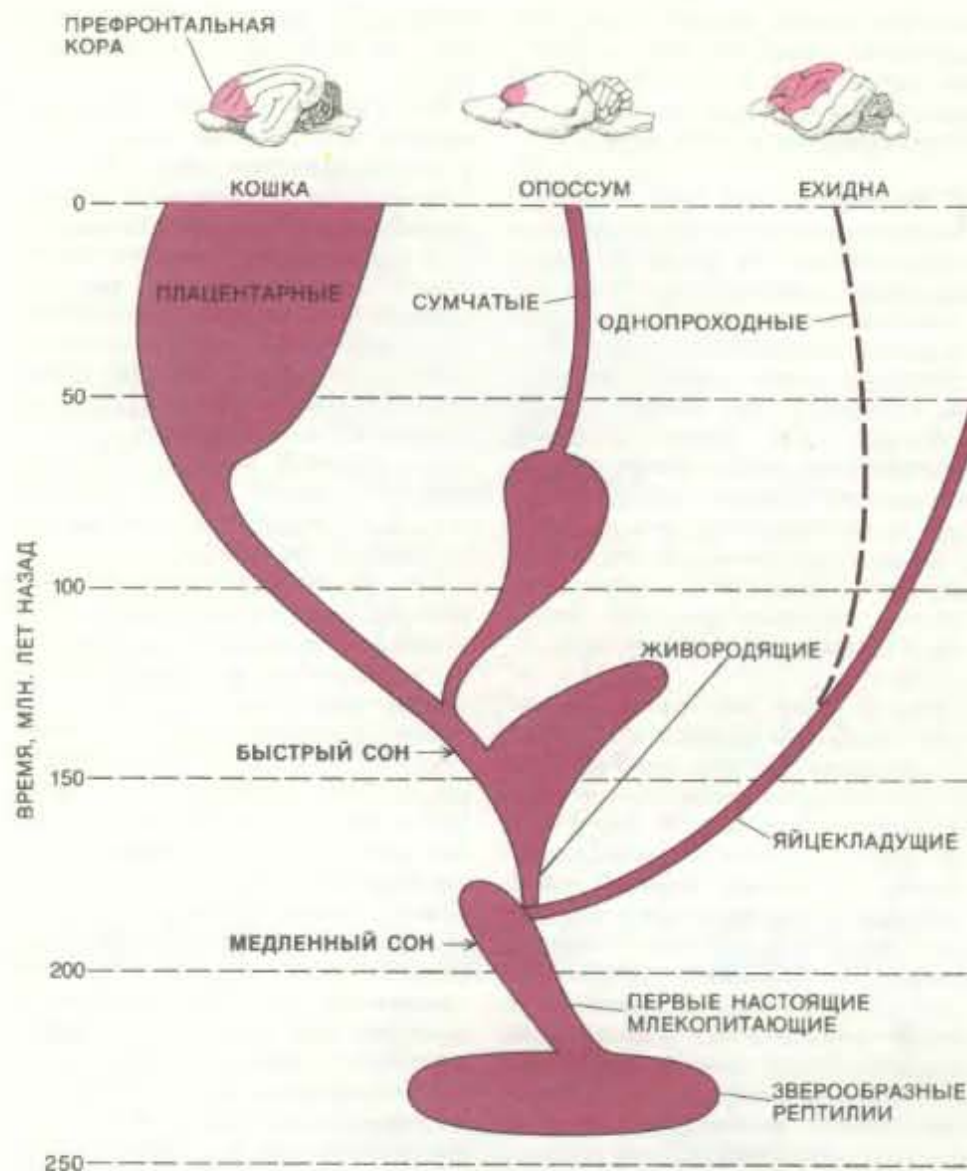
Сама природа быстрого сна подкрепляет этот вывод, сделанный на основании эволюционного материала. В течение дня для животного получение информации связано с локомоцией и движениями глаз. Повторную переработку этой информации во время быстрого сна трудно отделить от локомоции, включенной в прошлый опыт животного: такое разделение потребовало бы слишком большой реорганизации нейронных сетей мозга. И вот, чтобы сон не нарушался, локомоция подавляется путем торможения моторных нейронов. А движения глаз, поскольку они сон не нарушают, подавляются необязательно.

Быстрые движения глаз животного во время бодрствования и быстрого сна сопровождаются электрическими потенциалами, похожими на ПГО-спайки. Функция этих сигналов пока не изучена, но можно думать, что они обеспечивают готовность зрительной коры реагировать на поступающую в нее информацию в состоянии бодрствования и, по-видимому, отражают повторную обработку этой информации во время быстрого сна. Как бы то ни было, такие сигналы и ПГО-



ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ПОТЕНЦИАЦИЯ клеток-зерен гиппокампа обеспечивается тетаритмом. При электрической стимуляции она развивается в том случае, если импульсы

следуют друг за другом с таким же интервалом, как разделены две соседние волны тетаритма (200 мс), и воздействуют на клетку в моменты максимумов тетаволн.



ЭВОЛЮЦИОННОЕ ДРЕВО МЛЕКОПИТАЮЩИХ показывает дивергенцию плацентарных, сумчатых и однопроходных. У ехидны быстрый сон отсутствует и размеры префронтальной коры относительно остального мозга больше, чем у прочих млекопитающих, в том числе человека. Эта структура мозга у нее крупнее, чем у животных такой же величины, например опоссума или кошки.

спайки не нарушают сон и их в отличие от активности моторных нейронов не нужно подавлять.

**В** РЕЗУЛЬТАТЕ того, что в ходе эволюции возник быстрый сон, различные виды животных получили возможность перерабатывать жизненно важную информацию (например, о местонахождении пищи, средствах нападения или защиты и бегства), связанную с такими формами активности, во время которых возникает тета-ритм. Во время быстрого сна эта информация может извлекаться из памяти и связываться с прошлым опытом с целью выработки наиболее адекватной на ближайшее будущее поведенческой стратегии.

Хотя у приматов, включая человека, тета-ритм обнаружить не удалось, эта форма мозговой активности у животных все-таки проясняет происхож-

дение сновидений у людей. Возможно, сновидения отражают некий унаследованный человеком от более низко организованных млекопитающих механизм памяти, который позволяет во время быстрого сна повторно обрабатывать жизненно важную для индивида информацию. Эта информация может составлять глубинную суть бессознательного.

У животных, поскольку они не имеют речи, перерабатываемая во время сна информация должна быть сенсорной. У человека сновидения тоже несут сенсорную (преимущественно зрительную) окраску, что соответствует его происхождению от древних млекопитающих. Людям никогда не снятся сны в виде только словесных повествований.

Учитывая ту роль, которую быстрый сон играет в работе памяти у животных, можно полагать, что нет функциональной необходимости в

том, чтобы содержание сновидений доходило до сознания. Сознание появилось на поздних этапах эволюции — у человека. Но равным образом, нет и причин, по которым содержание сновидений не могло бы достигать сознания. А потому человек может помнить сновидения; легче всего они запоминаются, если пробуждение произошло во время или вскоре после быстрого сна.

На основании эволюционных данных, результатов нейрофизиологических исследований и психологического анализа сновидений я берусь утверждать, что сновидения человека отражают его индивидуальную стратегию выживания. Содержание сновидений, характеризующееся большой сложностью и многообразием, включает представление индивида о самом себе, его слабые и сильные стороны, страхи, претензии, сексуальную ориентацию, желания, ревнивые и любовные переживания.

Сновидения, несомненно, исполнены глубокого психологического смысла — о том еще со времен Фрейда говорят психоаналитики. Такая точка зрения находит великолепное подтверждение в исследовании, которое проводит Р. Картрайт из Пресвитерианской больницы Святого Луки в Чикаго. В этом исследовании испытуемыми являются 90 человек, расставшихся со своими супругами и находящихся в процессе развода; все они прошли медицинское обследование и психологическое тестирование для выяснения их установок и реакций на кризис в личной жизни. Испытуемых будят во время быстрого сна и просят рассказать сны, которые затем они сами интерпретируют без каких-либо наводящих вопросов со стороны, способных повлиять на интерпретацию. На сегодняшний день опрошено 70 человек; у всех содержание сновидений отражает бессознательные мысли индивида и тесно коррелирует с тем, как он пытается справиться с кризисом наяву.

Хотя тема, которую мозг «выбирает» для анализа во время ночного сна, непредсказуема, некоторые из жизненных трудностей человека (как, например, у испытуемых в работе Картрайт) столь важны для его психологического выживания, что именно они «выбираются» для переработки во время быстрого сна. Если повседневная жизнь человека протекает гладко, темы сновидений могут быть какими угодно в зависимости от склада его личности. Переплетаясь с причудливыми ассоциациями, составляющими неотъемлемую особенность быстрого сна, содержание сновидения может и не поддаваться интерпретации.

Тем не менее есть все основания по-

лагать, что у каждого человека во время сна протекают такие же когнитивные процессы, как и у испытуемых в эксперименте Картрайт. Интерпретация человеком содержания своих сновидений зависит от индивидуальной способности анализировать прямо или косвенно касающиеся его события. Такие ассоциации тесно связаны с ранним детским опытом человека.

**П**РЕДЛАГАЕМАЯ мною гипотеза объясняет и большую продолжительность быстрого сна у детей по сравнению со взрослыми. Быстрый сон у новорожденных занимает 8 часов в сутки. Цикл сна в младенческом возрасте носит беспорядочный характер. Сон протекает периодами длительностью 50—60 мин; каждый период начинается не медленным, а быстрым сном. К началу третьего года жизни доля быстрого сна сокращается до 3 ч в сутки и цикл сна становится таким же, как у взрослого человека. Затем суточная продолжительность быстрого сна постепенно уменьшается примерно до 2 ч или чуть меньше.

Не исключено, что у младенцев быстрый сон выполняет специфические функции. Согласно наиболее популярной гипотезе, он стимулирует рост нервов. Так это или иначе, я предполагаю, что приблизительно в двухлетнем возрасте, когда завершается функциональное созревание гиппокампа (после рождения развитие гиппокампа продолжается), быстрый сон начинает выполнять свою функцию переработки информации. На этом этапе развития ребенка информация, получаемая во время бодрствования и подлежащая интеграции, и составляет основной когнитивный субстрат для памяти — представление о реальном мире, в соответствии с которым будут оцениваться и интерпретироваться последующие впечатления индивида. Размещение в памяти столь объемной инфраструктуры требует дополнительного времени на быстрый сон.

Возможно Фрейд, сам того не подозревая, вскрыл своими работами глубочайшие научные истины. Бессознательное действительно существует, и сновидения являются «самым коротким путем» к его пониманию. Но характеристики бессознательного и связанных с ним мозговых процессов сильно отличаются от того, как их представлял себе Фрейд. Как я считаю, бессознательное — это не кипящий котел необузданных страстей и разрушительных желаний, а связанная и находящаяся в беспрестанной деятельности психическая структура, учитывающая всякий жизненный опыт человека и реагирующая на него

в соответствии со своей собственной схемой интерпретации. Сновидения не представляют замаскированные «жертвы» вытеснения. Своим причудливым характером они обязаны сложным ассоциациям, извлекаемым из памяти.

Изучение быстрого сна дает основание думать, что сновидения имеют биологические причины и смысл. Переработанный вариант гипотезы «активации—синтеза», предложенной Хобсоном и Маккарли, признает за сновидениями глубокое психологическое содержание. В своем нынешнем урезанном виде, однако, эта гипотеза, предполагающая беспорядочную активацию мозгового ствола, мало что может объяснить или предсказать.

Гипотеза Крика и Митчисона наделает сновидения специфической функцией отрицательного научения, но она касается только фантазмагорических, а не сюжетных сновидений. Поэтому, прежде чем давать оценку этой гипотезе, следовало бы обдумать, как ее положения соотносятся с обработкой информации во время быстрого сна у низших млекопитающих. Кроме

того, согласно точке зрения Крика и Митчисона, отрицательное научение достигается при беспорядочной импульсации нейронов гиппокампа. Однако, как выяснилось в моих экспериментах, нейроны гиппокампа, осуществляющие пространственное кодирование, разряжаются избирательно, что указывает на упорядоченную работу памяти.

Дальнейшие исследования, надо надеяться, постепенно прояснят смысл сновидений. Для этого в первую очередь необходимо узнать, приведет ли к ухудшению памяти только отсутствие тета-ритма в быстрой фазе сна. Тот факт, что у приматов тета-ритм не выявляется, возможно, связан с тем, что у этих животных обоняние уступило место доминирующему сенсорному входу зрению. Не исключено, что в гиппокампе у приматов действует какой-то эквивалентный нервной механизм, периодически активирующий рецепторы NMDA. Проверка этих предположений позволила бы понять главные закономерности работы памяти и нейрофизиологические основы человеческой психики.

## Книги издательства „Мир“

### БИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ МЛЕКОПИТАЮЩИХ. МЕТОДЫ

Перевод с английского  
Под ред. М. Манк

В методическом руководстве, созданном авторитетными авторами из Великобритании и США, освещена вся совокупность подходов, применяемых при изучении ранних эмбрионов млекопитающих (в том числе и человека). Книга относится к зарекомендовавшей себя серии «Методы», издаваемой «ИРЛ Пресс».

В руководстве описаны следующие методы: содержание различных линий мышей; манипуляции с эмбрионами и их культивирование; получение химер; анализ мейотических и митоти-

ческих хромосом; анализ активности ферментов; оценка изменения состава белков на первых этапах раннего эмбрионального развития; создание кДНК-библиотек, выделение иРНК и клонирование кДНК; получение трансгенных животных; методы длительного сохранения ооцитов и эмбрионов мыши; получение ооцитов человека и оплодотворение in vitro; культивирование ранних эмбрионов человека.

Для эмбриологов, молекулярных биологов, студентов-биологов старших курсов.

1990, 30 л. Цена 4 р. 80 к.

Эту книгу вы можете приобрести в магазинах научно-технической литературы.



# Теория узлов и статистическая механика

Математические теории, разработанные для нужд квантовой механики, постепенно раскрывают взаимосвязь между этими двумя столь далекими друг от друга дисциплинами

ВОГАН Ф.Р. ДЖОНС

В 1984 г. я случайно наткнулся на ряд методов, связывающих два на первый взгляд очень далеких друг от друга направления математики и физики: теорию узлов и статистическую механику. Статистическая механика изучает системы, состоящие из чрезвычайно большого числа компонентов. К этой дисциплине, как правило, не имеют отношения малые системы вроде узлов и зацеплений, которые обычно изучаются теорией узлов. В то же время в теории узлов даже самые малые системы могут обладать довольно тонкими свойствами.

Тем не менее некоторые алгебраические соотношения, используемые для расчета моделей в статистической механике, служили ключом к описанию одного математического свойства узлов, известного как полиномиальный инвариант. Эта связь, вначале малозаметная, породила затем значительный поток идей. Появление такой «общей почвы» довольно характерно для современного этапа развития физики и математики, когда идеи, относящиеся к различным областям, взаимодействуют и приводят к неожиданным результатам.

Фактически открытие связи между теорией узлов и статистической механикой произошло благодаря теории, тесно связанной с математическим аппаратом квантовой физики. Эта теория, известная как алгебры фон Неймана, отличается понятием непрерывной размерности. Обычно размерность пространства — целое положительное число, скажем 2, 3 или 11, но у алгебр фон Неймана столь же возможны такие размерности, как  $\sqrt{2}$  или  $\pi$ . Эта допустимость произвольной вещественной размерности играет ключевую роль в сопряжении теории узлов и статистической механики.

Кроме того, узловые инварианты были вскоре обнаружены в квантовой теории поля. Эдвард Виттен из Института перспективных исследований в Принстоне (шт. Нью-Джерси) показал, что «топологическая» квантовая теория поля позволяет естественным

способом выражать новые идеи, касающиеся узлов. У этого доказательства в свою очередь есть не лишнее красота обобщение, относящееся к инвариантам узлов в более сложных трехмерных пространствах, называемых трехмерными многообразиями; в них само пространство может содержать дырки и петли.

Новая теория узлов уже оказалась полезной в другой совершенно независимой области. Специалисты по молекулярной биологии установили, что двойные спирали ДНК в ходе биологических процессов рекомбинации и репликации связываются в узлы и зацепляющиеся петли. Механизм распутывания таких узлов, имеющий место в клетках, поразительно напоминает простейший математический метод порождения новых полиномиальных инвариантов.

С НЕЗАПАМЯТНЫХ времен узлы использовались как в практических, так и в декоративных целях. Моряки для своих нужд использовали сложные узлы, иногда носящие не менее сложные названия. Математики впервые заинтересовались узлами лишь в XIX в. Так, лорд Кельвин попытался составить периодическую таблицу элементов, исходя из предположения, что атомы в действительности являются завязанными в узлы вихрями «эфира». (Хотя эта попытка оказалась безуспешной, она тем не менее вдохновила Пинтера Дж. Тэйта на создание первых таблиц узлов, в которых узлы располагались в определенном порядке в зависимости от их сложности.)

С этого времени теория узлов обрела статус самостоятельного раздела математики. Одно из привлекательных достоинств этой науки заключается в доступности ее основных предметов исследования: достаточно взять любую бечевку и соединить ее концы. Получится вполне подходящая модель того, что в математике называется «гладкой замкнутой кривой без самопересечения». Более об-

щий случай узла, называемый зацеплением, может состоять из нескольких петель. Два узла или зацепления считаются тождественными, если их можно сделать в точности подобными друг другу, деформируя бечевку, но не разрезая ее.

Рассмотрим простую петлю из бечевки, лежащую на плоской поверхности. Сразу очевидны две важные особенности теории узлов. Во-первых, узлы можно описать двумерными (планарными) диаграммами. Во-вторых, различить два узла очень трудно. В то же время совсем не очевидно, что какие-либо два узла различны, и даже не всегда ясно, завязана ли вообще данная петля из бечевки в узел. Чтобы доказать любое такое утверждение, необходимо рассмотреть все возможные деформации узла в трехмерном пространстве. Отыскание математических методов, позволяющих различать неодинаковые узлы, а также отличать узлы от простых (незавязанных) петель, стало одной из важнейших проблем теории узлов.

В 20-х годах К. Рейдемейстер существенно упростил изучение узлов, введя небольшой набор двумерных «ходов» (элементарных операций), применимых к диаграммам узлов. Эти операции не меняют узел, и любые две диаграммы одного узла можно перевести одну в другую, применив последовательность «ходов» Рейдемейстера. Хотя эти ходы делают эквивалентность узлов двумерной задачей, их можно применять бесконечным количеством способов, так что основную задачу ни в коей мере нельзя считать решенной.

Самые старые и наиболее результативные методы теории узлов не оперируют двумерными диаграммами и ходами Рейдемейстера, по крайней мере теоретически; вместо них используются топологические преобразования. В соответствии с этими методами анализ начинается с того, что узел удаляют из обычного трехмерного пространства, чтобы полу-

чить то, что называют дополнением (или внешностью) узла. Затем это дополнение подвергают произвольной непрерывной деформации. Топологические свойства дополнения в результате дают то, что называют инвариантами узла, а именно математические выражения, зависящие только от самого узла, а не от какого-либо его изображения (см. Neuwirth L. The Theory of Knots, "Scientific American", 1979, June).

Самый известный инвариант — это многочлен Александера, открытый американским математиком Джеймсом Александером в 1928 г. Этот многочлен обозначается  $\Delta_A(t)$  и строится в соответствии с числом пересечений каждого вида, имеющихся на диаграмме данного узла. Например, простому узлу типа «трилистник» соответствует многочлен Александера  $\Delta_A(t) = t - 1 - 1/t$ . По-разному деформированным вариантам одного и того же узла отвечает один и тот же многочлен Александера; узлы с разными многочленами различны. В то же время два узла с одним и тем же многочленом Александера необязательно эквивалентны. Для многочлена Александера неотличимы, например, прямой узел и «бабий» узел. За последние 60 лет специалисты по теории узлов разработали много других инвариантов, но многие задачи теории узлов до сих пор остаются нерешенными.

ТЕПЛЫМ весенним утром в мае 1984 г. я сел в поезд нью-йоркского метро и отправился в Колумбийский университет на встречу с Джоан С. Бирман, специалистом по теории «кос» (которые можно считать весьма специальным видом узлов). Работая над алгебрами фон Неймана, я с удивлением обнаружил выражения, очень напоминающие алгебраические соотношения, которые отражают некоторые топологические

УЗЛЫ И ЗАЦЕПЛЕНИЯ варьируют от простых до необычайно сложных. (Узел, изображенный сверху, заимствован из ирландской книги "Book of Kells", датируемой VIII в.) Левый и правый трилистники суть простейшие заузленные замкнутые кривые. До открытия многочлена Джонса их было непросто различить математически; то же можно сказать о прямом и бабьем узлах. Зацепление Хопфа — это простейшая конфигурация, содержащая две зацепленные петли; петли зацепления Уайтхеда не зацеплены, хотя их и нельзя расцепить. Борромеевы кольца также обладают необычным свойством: все три петли зацеплены, но если перерезать любую из них, две другие расцепятся.



ПРЯМОЙ УЗЕЛ



БАБИЙ УЗЕЛ



ЛЕВЫЙ ТРИЛИСТНИК



ЗАЦЕПЛЕНИЕ УАЙТХЕДА



ЗАЦЕПЛЕНИЕ ХОПФА

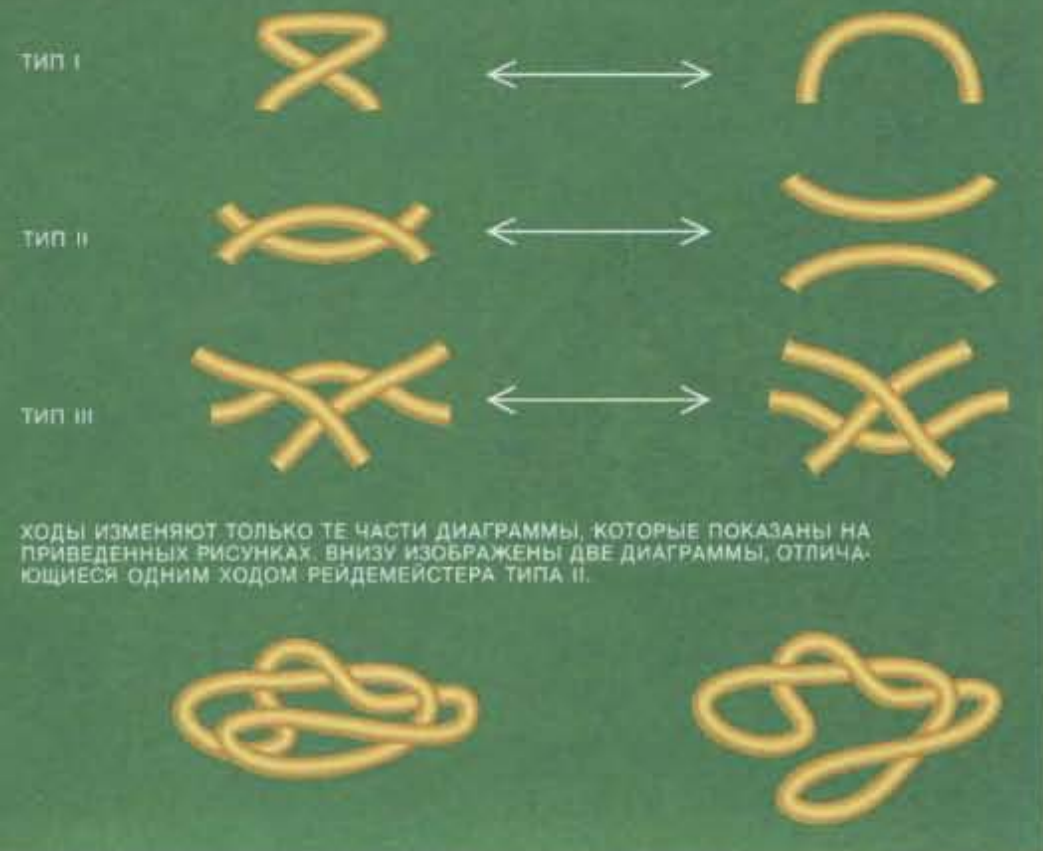


ПРАВЫЙ ТРИЛИСТНИК



БОРРОМЕЕВЫ КОЛЬЦА





ХОДЫ ИЗМЕНЯЮТ ТОЛЬКО ТЕ ЧАСТИ ДИАГРАММЫ, КОТОРЫЕ ПОКАЗАНЫ НА ПРИВЕДЕННЫХ РИСУНКАХ. ВНИЗУ ИЗОБРАЖЕНЫ ДВЕ ДИАГРАММЫ, ОТЛИЧАЮЩИЕСЯ ОДНИМ ХОДОМ РЕЙДЕМЕЙСТЕРА ТИПА II.

ХОДЫ РЕЙДЕМЕЙСТЕРА упрощают исследование узлов. Два узла тождественны тогда и только тогда, когда их диаграммы можно сделать одинаковыми с помощью некоторой последовательности таких ходов.

отношения между косами. Я был полон надежд, что методы, которыми я тогда пользовался, окажутся полезными в теории узлов, и даже надеялся, что мне удастся вывести некоторые новые факты, относящиеся к многочлену Александера.

После продолжительных обсуждений этих идей с Бирман я отправился домой несколько разочарованный. Создалось впечатление, будто мои идеи не имели никакого отношения ни к многочлену Александера, ни к чему-либо другому в теории узлов.

Но в одну из ночей на следующей неделе я, сидя в постели, вновь погрузился в вычисления. Плодотворным оказался подход куда более простой по сравнению с тем, который я пытался применить до этого. У меня получился некий полиномиальный инвариант узлов. Скорее всего это был все тот же многочлен Александера в какой-то новой форме, хотя такая связь сама по себе была бы чрезвычайно интересна для исследований в области статистической механики. Или же это мог быть какой-то новый многочлен — неожиданное развитие теории узлов. Это был редкий случай беспроигрышной ситуации.

Правильным оказалось второе предположение. Я назвал этот новый инвариант зацеплений  $V(t)$  и вскоре понял, что он действительно облада-

ет некоторым поверхностным сходством с многочленом Александера. Оба этих многочлена,  $V(t)$  и  $\Delta(t)$ , можно вычислить при помощи соотношения клубка (см. текст на с. 47), изобретенного английским математиком Дж. Конвеем.

Сходство между  $V(t)$  и  $\Delta(t)$  побудило несколько групп исследователей разработать многочлен от двух переменных, называемый ныне HOMFLY (акроним, составленный из инициалов шести из восьми исследователей, открывших этот многочлен), который содержит информацию, заключенную в  $\Delta$  и в  $V$ , а также некоторую дополнительную информацию. На этом, однако, сходство между  $V$  и  $\Delta$  кончается. Все попытки интерпретации  $V$  в рамках того же топологического подхода, что и  $\Delta$ , оказались безуспешными. Более того, до сих пор неизвестно, существует ли нетривиальный узел, для которого значение  $V$  такое же, что и для простой незаузленной петли. Напротив, узлы, для которых значение многочлена Александера равно 1 (т. е. значению многочлена Александера для простой петли), были найдены еще в 1934 г.

ПОКА ИЗ ТОГО, что изложено выше, не ясно, как можно было бы связать теорию узлов со статистической механикой. Эта связь не лежит на

поверхности; нужно сначала объяснить, что представляет собой статистическая механика и для чего она нужна. А для этого в свою очередь необходимо начать с классической механики.

В классической механике систему частиц можно описать, задав координаты и импульсы каждой частицы в определенный момент времени. Тогда все последующее развитие системы будет определяться физическими законами. Но поскольку один грамм газа водорода содержит примерно  $3 \times 10^{23}$  молекул, то было бы неразумно пытаться задать координаты и импульсы всех молекул этого газа. Кроме того, изменение системы вследствие удаления нескольких молекул было бы совершенно незаметным для наблюдателя, оценивающего поведение системы как целого.

Для статистической механики представляют интерес лишь те величины, которые оказываются нечувствительными к микроскопическим изменениям, например средняя энергия (температура) совокупности молекул. Если представить себе большую систему, которая создается добавлением к ней атомов по одному, то это те величины, которые стремятся к определенному пределу при увеличении размера системы до бесконечности.

Хотя это выглядит вполне невинно, рассмотрение коллективного поведения приводит к некоторым парадоксам. Одним из самых очевидных представляется парадокс необратимости. Законы движения не изменятся при изменении направления времени на обратное. Скажем, упругое соударение шара с препятствием выглядит одинаковым независимо от того, бежит ли время вперед или назад. А теперь представьте систему шаров, сталкивающихся друг с другом в отсутствие трения на прямоугольном столе и ограниченных перегородкой, разделяющей стол пополам. Если перегородку убрать, то шары быстро рассредоточатся по всему столу и никогда не смогут снова собраться на той половине, в которой были вначале. Сам факт рассмотрения системы, содержащей большое число частиц, похоже, придает времени определенное направление.

Другим сюрпризом, который преподносит большие системы, служит существование фазовых переходов. Лед тает, а вода кипит. Величины вроде давления, которые для малых систем можно определить как гладкие функции параметров, обнаруживают самопроизвольные скачки. И вновь, одно лишь рассмотрение систем из многих частиц делает эти гладкие функции разрывными.

## ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНВАРИАНТОВ УЗЛОВ

Инварианты узлов — это математические выражения, описывающие определенные свойства узлов. Такое название отражает независимость этих выражений от того, каким образом тот или иной узел растянут, сжат или скручен. Однако путь от веревочной петли до выражения, содержащего степени  $t$ , непрост. Как для данного узла найти какой-нибудь инвариант, скажем многочлен Александера или Джонса? Простейший способ — это воспользоваться соотношением клубка, изобретенным английским математиком Джоном Гортоном Конвеем. (Еще будучи школьником, Конвей пытался написать компьютерную программу для вычисления многочлена Александера, но обнаружил, что соотношение клубка работает столь успешно, что никакой программы не требуется.) Другой способ, «модель состояний» Кауфмана, примечателен своим изяществом и первыми намеками на связь со статистической механикой.

### СООТНОШЕНИЕ КЛУБКА

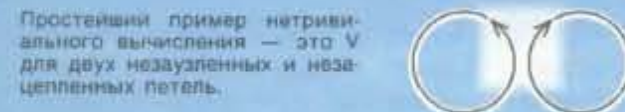
Чтобы вывести соотношение клубка, нужно начать с трех ориентированных зацеплений (подобных узлам объектов, которые могут содержать более одной петли, или компоненты), совпадающих всюду, кроме окрестности одного пересечения.



В этой окрестности зацепления отличаются друг от друга так, как здесь показано. Соотношение клубка утверждает, что

$$(1/t)V_{L_+} - tV_{L_-} = (\sqrt{t} - 1/\sqrt{t})V_{L_0}$$

Кроме того,  $V$  и  $\Delta$  незаузленной петли нормируются так, чтобы они равнялись 1. Эти два факта позволяют вычислить указанные инварианты для любого зацепления.



У этого «зацепления» есть только одна область, в которой в принципе возможно пересечение. Вот три соответствующих зацепления, входящие в соотношение клубка.



$L_+$  и  $L_-$  не заузлены, так что их многочлены равны 1. Поэтому соотношение клубка упрощается и сводится к

$$1/t - t = (\sqrt{t} - 1/\sqrt{t})V_{L_0}$$

Разделив обе части этого равенства на  $(\sqrt{t} - 1/\sqrt{t})$ , получим

$$V_{L_0} = -(\sqrt{t} + 1/\sqrt{t})$$

Этот процесс несколько труднее осуществить для более сложного зацепления, такого, как трилистник. Снова нужно построить набор зацеплений, отличающихся лишь в окрестности одного пересечения.



Соотношение клубка даст выражение для  $V_+$  через  $V_{++}$ .

$$(1/t)V_{L_+} - t = (\sqrt{t} - 1/\sqrt{t})V_{H_+}$$

Чтобы вычислить  $V_{H_+}$ , нужно построить новый набор зацеплений:



$L_+$  (зацепление Хопфа)  $L_-$  (две петли)  $L_0$  (незаузленная петля)

Применив соотношение клубка к этому набору, получим

$$(1/t)V_{H_+} + t(\sqrt{t} + 1/\sqrt{t}) = (\sqrt{t} - 1/\sqrt{t})$$

и наконец  $V_{H_+} = -\sqrt{t}(1+t^2)$

Подставляя это значение обратно в соотношение клубка для трилистника, получим

$$V_L = t + t^3 - t^4$$

### МОДЕЛЬ СОСТОЯНИЙ

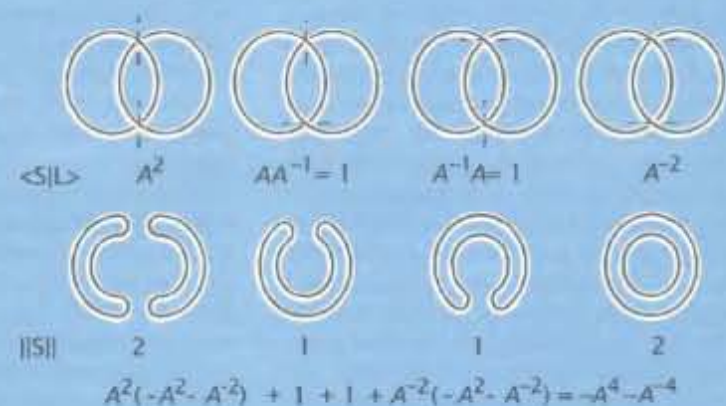
Модель состояний, предложенная Кауфманом, устраняет все пересечения данного зацепления, заменяя его набором несвязанных между собой окружностей. Каждое пересечение может находиться в одном из двух состояний, определяющих, каким образом оно будет устранено. Любая возможная комбинация состояний пересечений определяет состояние всего зацепления.



Затем Кауфман определяет для данного зацепления «скобочный многочлен» как сумму по всем состояниям этого зацепления.

$$\langle L \rangle = \sum_S \langle S|L \rangle (-A^2 - A^{-2})^{|S|} - 1$$

$\langle S|L \rangle$  обозначает произведение всех  $A$  и  $1/A$  на пересечениях, а  $|S|$  — число окружностей на полученной диаграмме. Например, скобочный многочлен зацепления Хопфа равен  $(-A^2 - A^{-2})$ . Возможны следующие состояния:



Чтобы получить  $V(t)$  из скобочного многочлена, положим  $A^2 = t$  и умножим скобочный многочлен на подходящую степень  $A^2$ .

$$-A^4 - A^{-4} = A^{-6}(-A^2(1+A^8)) = A^{-6}(-\sqrt{t}(1+t^2)) = A^{-6}V_H(t)$$

Фазовые переходы демонстрируют любопытное качественное поведение, и поэтому для того, чтобы их понять, физики разработали абстрактно определенные системы — модели, для которых макроскопические величины вроде давления или теплоемкости можно в явном виде вычислить как функции от параметров, например от температуры.

Даже в простых случаях макроскопические величины поддаются вычислению с большим трудом. Поэтому в моделях не стремятся сохранить реалистические детали. Простейшая модель — это модель Изинга, разрешимая в двумерном случае, которая состоит из системы «спинов», размещенных некоторым упорядоченным образом. (Спины — это чисто математические величины; они не обязаны иметь какой-либо физический смысл.) Каждый спин взаимодействует только со своими ближайшими соседями. «Состояние» системы определяется заданием значения +1 или -1 для каждого спина. Энергия состояния характеризуется как сумма энергий, определяемых взаимодействием между ближайшими соседями.

Для больших систем многие интересующие нас величины можно получить из так называемой статистической суммы  $Z$ , которая определяется как сумма по всем состояниям от экспоненты, в показателе степени которой стоит взятая со знаком минус энергия состояния. Модель Изинга обладает огромным числом состояний, и поэтому вычисление такой суммы служит источником трудностей при решении этой модели. Даже компьютерные вычисления возможны лишь для малых решеток. Тем не менее были предложены остроумные математические методы. Норвежский математик Ларс Онзагер нашел решение двумерной модели Изинга на квадратной решетке в 1944 г.; впервые полученная им формула показала существование фазового перехода в этой модели.

Один из важных результатов работы Онзагера известен как соотношение звезда—треугольник. Для модели Изинга, определенной на специальной паре графов, соотношение звезда—треугольник утверждает, что статистические суммы должны отличаться лишь постоянным множителем, если значения спинов на ребрах графов фиксированы (см. текст на цветном поле сверху). Название соотношения обязано тому факту, что один граф имеет форму треугольника, а другой — звезды.

Р. Бакстер из Австралийского национального университета разработал решение модели Изинга, целиком

## СВЯЗЬ МЕЖДУ ТЕОРИЕЙ УЗЛОВ И СТАТИСТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКОЙ

Связь между этими двумя дисциплинами, столь далекими друг от друга (одна имеет дело с крупными агрегатами частиц, индивидуальное поведение которых очень просто, а другая — в основном с малыми системами, проявляющими весьма сложные качественные особенности поведения), на первый взгляд проще всего проследить, отталкиваясь от статистической механики. Чтобы смоделировать такие природные явления, как плавление или кипение, физики обратились к спиновым моделям — упрощенным представлениям скопления частиц, в которых частицы изображаются точками, расположенными в узлах решетки. Каждая точка обладает определенным «спином» и взаимодействует со своим ближайшим соседом в соответствии с энергетической функцией, зависящей от этих двух спинов. «Статистическая сумма» модели имеет вид

$$\sum_{\text{состояния}} e^{-E(\text{состояние})/kT} \quad (k — \text{постоянная Больцмана}).$$

Соотношение «звезда—треугольник», справедливое лишь для некоторых типов спиновых моделей (в том числе для модели Изинга и для модели Поттса с  $Q$  состояниями), утверждает, что статистические суммы спиновых моделей, определенных на двух приведенных ниже графах, пропорциональны друг другу.

$$e^{-\{E(A, B) + E(A, C) + E(B, C)\}/kT} = R \sum_{D} e^{-\{E(A, D) + E(B, D) + E(C, D)\}/kT}$$

Это верно и для так называемых вертексных моделей, в которых спины приписываются каждому ребру графа, а энергия вычисляется в соответствии со значениями спинов четырех ребер, сходящихся в данной вершине (вертексе). Для вертексной модели соотношение «звезда—треугольник» выражается соотношением Янга-Бакстера:

$$\sum_{BSY} e^{-\frac{E(A, B, X, Y) + E(R, S, B, C) + E(Y, Z, S, T)}{kT}} = \sum_{BSY} e^{-\frac{E(A, B, S, T) + E(X, Y, R, S) + E(B, C, Y, Z)}{kT}}$$

основанное на следствиях из этого соотношения. Одна из сильных сторон метода Бакстера заключается в том, что он допускает обобщения. Модель Изинга можно обобщить, позволив спином принимать и другие значения, кроме +1 или -1. Такая модель называется спиновой, и она определяется набором энергий, соответствующих взаимодействиям между ближайшими соседями для всех возможных комбинаций значений спинов.

В общем случае спиновая модель не удовлетворяет соотношению звезда—треугольник. Чтобы применить результаты работы Бакстера, нужно подобрать наборы энергий взаимодействия, удовлетворяющие уравнениям звезда—треугольник, и решить модели, определяемые этими наборами энергий. Простейшее решение — это так называемая автодуальная модель Поттса с  $Q$  состояниями. Эта модель допускает  $Q$  возможных спиновых состояний вместо двух, разрешенных моделью Изинга, и соседи взаимодействуют только тогда, когда их спины совпадают. (Эта модель впервые была решена, хотя и другим методом, Невиллем Темперли, рабо-

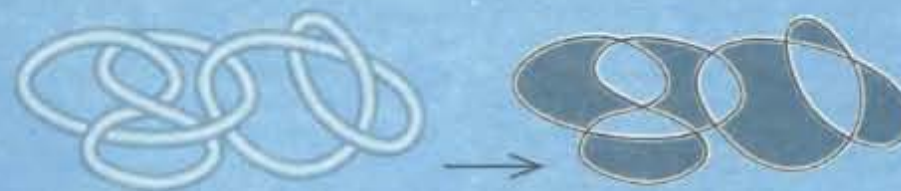
тавшим тогда в Университете Сванси-Уэльс, и Эллиотом Либом из Принстонского университета.)

**КАКОЙ МОЖЕТ БЫТЬ** связь между теорией узлов и моделями статистической физики? Первый шаг в установлении этой связи — раскрасить области диаграммы зацепления (плоского чертежа узла) в шахматном порядке. Из такой раскрашенной диаграммы можно получить граф, если закрашенные области рассматривать как вершины, а пересечения — как ребра. Затем ребрам можно приписать знаки в соответствии с относительной ориентацией пересечения и шахматной раскраски. (На рисунке вверху показана эта процедура.) Ход Рейдемейстера типа III на этой диаграмме немедленно дает соотношение звезда—треугольник!

Ход, не изменяющий узла, не меняет также статистической суммы модели Изинга, полученной из диаграммы этого узла. Данное наблюдение делает вполне естественным исследование статистических сумм спиновых моделей, определенных на графе, который был получен из шахматной

## ОТ УЗЛОВ К ГРАФАМ

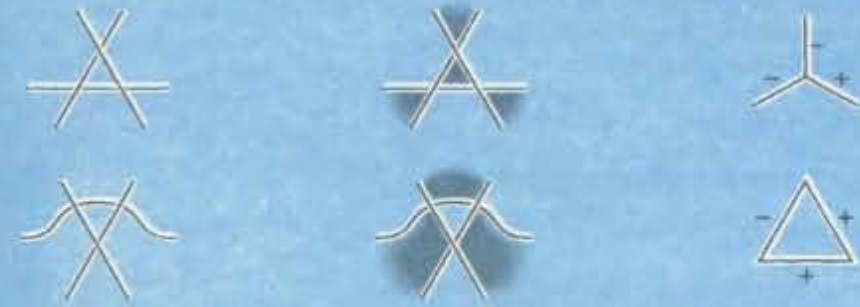
Чтобы перейти от спиновых моделей и статистической механики к теории узлов, нужно превратить узлы в графы. Сначала раскрасим диаграмму узла (или зацепления) в шахматном порядке.



Чтобы извлечь из раскрашенной диаграммы граф, сопоставим закрашенным областям вершины, а пересечениям между ними — ребра, соединяющие соответствующие вершины. Пометим ребра знаками + + и - - в зависимости от относительной ориентации пересечения и закрашенных областей:



Применение хода Рейдемейстера типа III к графу узла немедленно дает соотношение «звезда—треугольник»:



раскраски некоторого зацепления с целью выяснить, не описывают ли эти суммы также инварианты зацепления.

Статистическая сумма зависит лишь от суммы по всем возможным состояниям энергетической функции спиновой модели. Это значит, что каждое состояние определяет спины всех вершин графа и тем самым энергию взаимодействий между ними. Чтобы вычислить статистическую сумму, нужно приписать каждому ребру графа экспоненту от энергии взаимодействия вершин, соединенных этим ребром. Этот процесс затем повторяется для всех возможных состояний. (Чтобы учесть знаки пересечений, нужно постулировать две энергетические функции для взаимодействия между смежными вершинами, одну положительную и одну отрицательную.)

Теперь возникает другой вопрос: каким условиям должны удовлетворять эти две энергетические функции, чтобы статистическая сумма была инвариантом зацепления? (Это значит, что значение статистической суммы не должно изменяться при

применении к диаграмме зацепления хода Рейдемейстера.) Лучший ответ на этот вопрос можно получить, возвратившись к статистической механике: энергетические функции моделей, удовлетворяющих соотношениям звезда—треугольник (и другим соотношениям, соответствующим другим ходам Рейдемейстера), дадут статистические суммы, также являющиеся инвариантами зацепления. Модель Изинга, например, дает инвариант, известный специалистам по теории узлов как  $arf$ , или инвариант Кервера.

Еще более значимым является факт, что модель Поттса с  $Q$  состояниями дает некий инвариант для каждого  $Q$ , т. е. для каждого числа допустимых спиновых состояний. В сущности это и есть многочлен  $V(t)$ .  $Q$  и  $t$  связаны соотношением  $Q = 2 + t + t^{-1}$ . (В этом легко убедиться, проверив клубковое соотношение.)

Этот фокус с шахматной раскраской действительно устанавливает связь между статистической механикой и теорией узлов, но весьма замысловатым способом. Соотношение звезда—треугольник возникло в ста-

тистической механике как способ решения моделей. В теории узлов оно появилось как необходимое условие топологической инвариантности. Эти две причины могли бы показаться не имеющими абсолютно никакого отношения друг к другу, а связь эта чисто случайной, если бы не настойчивость, с которой она возникает вновь и вновь.

**ДРУГИЕ** спиновые модели, отличные от модели Изинга и Поттса, дают другие инварианты узлов, известные математикам. Более того, другие модели оказываются еще сильнее, если учесть порожаемые ими инварианты теории узлов. Вертесные модели, например, основаны на том, что спины размещаются на ребрах графа, а энергии взаимодействия исходят из его вершин. Используя вертексные модели и столь удачно названные квантовые группы (системы симметрий более сложные, чем геометрические симметрии обычного пространства), можно построить великое множество полиномиальных инвариантов, вполне достаточное, чтобы определить целиком многочлен от двух переменных HOMFLY и еще один такой многочлен, называемый многочленом Кауфмана.

Итак, хотя причины пока загадочны, свидетельства в пользу связи между теорией узлов и статистической механикой довольно весомы. Самые большие надежды на лучшее понимание этого соответствия сулит теория поля — математическая картина мира, в которой каждой точке пространства приписывается значение некоторой переменной. (Например, в движущейся жидкости ее скорость является полем; в каждой точке пространства направление и величина скорости указываются вектором.)

В теории поля существует следующий мощный подход: строить поле как предел полей, определенных на дискретной решетке, при стремлении к нулю шага решетки. В этом случае статистическая механика, в частности модели Изинга, также применимы к теории поля. Действительно, тщательный анализ математической модели показывает, что непрерывный предел двумерной модели Изинга дает одномерную квантовую теорию поля. (Квантовые теории поля — это полевые теории, в которых переменными служат операторы, действующие на квантовые состояния, а не классические скалярные и векторные величины.)

Некоторые математики и физики пытались объяснить теоретико-узловую природу моделей статистической механики, рассматривая их по-

ведение в континуальном пределе. Хотя их надежды пока не оправдались, Виттен показал, что язык квантовой теории поля обеспечивает по крайней мере рамки для определения инвариантов теории узлов, рассмотренных в данной статье.

Виттен доказывает, что инварианты должны существовать в любом трехмерном пространстве, и в этом суть его работы. Существует много трехмерных пространств, называемых трехмерными многообразиями, кроме знакомого нам пространства, в котором мы живем (см. Тёрстон У., Уикс Дж. Математика трехмерных многообразий. «В мире науки», 1984, № 9). Трехмерный тор (имеется в виду трехмерная гиперповерхность в четырехмерном пространстве — *Перев.*), например, строится растягиванием трехмерного куба и склеиванием его нижней грани с верхней, левой с

правой и задней с передней, так что частица, покидающая куб через его левую грань, немедленно возвращается в него справа. (Эту операцию на самом деле нельзя проделать в трехмерном пространстве.)

Фактически теория Виттена утверждает, что инварианты зацепления существуют в произвольном трехмерном многообразии даже для зацепления, вообще не имеющего компонент. Это означает, что инварианты содержат информацию не только о зацеплениях, но и о самих трехмерных многообразиях. Многие математики и физики активно исследуют эти новые перспективы, которые могут установить связи между теорией узлов и другими областями научных знаний, которые кажутся еще более далекими от нее, чем (как мы думали всего шесть лет назад) статистическая механика.

## Наука и общество

### Лампа в миллион ватт

ЧТО БЫ вы сделали с самой яркой в мире лампой? Ну, скажем, могли бы расплавить автомобиль с ее помощью. Это как раз то, что хотели сделать продюсеры шоу «David Letterman», когда узнали, что компания Vortek Industries из Ванкувера планирует создать лампу мощностью примерно в 1 МВт, способную превра-

тить легковой автомобиль в гору шлака.

Г. Олбэч, президент этой компании, отверг предложение продюсеров из соображений безопасности. Однако вряд ли его удивила эта идея — он уже знал, что основное коммерческое применение его суперламп связано с получением тепла, а не света. Когда Олбэч и его коллеги задумали создать такую лампу больше десяти лет назад в Университете Британской Колум-

бии, они представляли ее в виде мощного прожектора, но их первая продукция тогда, в 1980 г., не нашла покупателя. «Просто не было необходимости освещать площадь в 8 га одной лампой», — вспоминал Олбэч, рассказывая о первых шагах своей компании. Кстати, их последняя модель может освещать площадь в 20 га.

По схеме Vortek с встроенной системой охлаждения в принципе можно построить лампы мультимегаваттной мощности. В кварцевой трубке находятся две концентрические спирали: по одной поступает ионизированный аргон, благодаря которому между анодом и катодом возникает электрическая дуга, а по более широкой — деионизированная и потому непроводящая электричество вода под таким давлением, что она не может закипеть. Вода отводит тепло, которое в противном случае создавало бы резкий перепад температур между внутренней и внешней поверхностями трубки, что привело бы к ее взрыву. Аргон в центре трубки вращается так быстро, что он не может мерцать и излучает ровный свет. Электроды из сплава на основе вольфрама охлаждаются водой изнутри, которая смывает также и отколовшиеся частицы электродов с внутренней поверхности трубки. Таким образом кварцевая трубка остается все время прозрачной.

Лампы Vortek — это мощнейшие источники тепла. Предметы, помещенные на расстояние в ширину ладони от 300-киловаттной лампы с трубкой длиной 11 см, нагреваются до температуры 3000 °С, что составляет приблизительно половину температуры на поверхности Солнца и четверть температуры самой электрической дуги. Дуга излучает 120 кВт световой энергии, т. е. ее КПД составляет 40% — в 8 раз выше, чем у лазера на углекислом газе, который применяется в промышленности для термообработки и испытаний нагревом.

Одними из потребителей продукции компании Vortek являются производители полупроводниковых приборов, использующие лампы для отжига кремния, в процессе чего устраняются дефекты кристаллической решетки, возникающие в кремниевых подложках при фотолитографии. Лампа идеально подходит для отжига, так как точно дозированное количество тепла от нее позволяет довести все кристаллы на подложке до одной и той же температуры и выдерживать ее одинаковое время. Первоначально Vortek монтировала свои лампы в дуговые печи, выпускаемые компанией Eaton, но после того, как это сотрудничество было прервано, Vortek нача-

ла поставлять лампы непосредственно потребителям, среди которых — фирмы IBM, Siemens и Motorola.

Кроме того, изготовители лопастей авиационных винтов и различных деталей для автомобилей используют лампы для упрочнения только тех поверхностей, которые будут подвержены износу, с тем чтобы весь остальной материал оставался достаточно гибким. Лампы Vortek имеют преимущество перед лазерами в этом случае, поскольку, во-первых, упрочнение поверхности происходит в 5 раз быстрее и, во-вторых, тепло лампы образует четкий поверхностный слой, а лазер воздействует на промежуточный слой, находящийся под поверхностью детали. Более того, упрочнение с помощью лампы Vortek характеризуется точностью, достаточной для получения на сельскохозяйственных орудиях последовательности мягких и твердых слоев — известный эффект заострения края по мере того, как он стачивается почвой. Аэрокосмические компании применяют лампы для испытаний новых материалов на нагрев. НАСА использовало лампы для моделирования воздействия солнечной радиации на корабль типа шаттл. На базе ВВС Райт-Паттерсон были соединены две 300-киловаттные лампы для испытаний обшивки предложенного аэрокосмического самолета; сотрудники базы подписали контракт с компанией Vortek о повышении мощности ламп вдвое, т. е. до 1 МВт.

Зачем же «втискивать» всю мощность в одну или две дуги, когда можно получить то же самое от нескольких более слабых? Причина кроется в законах оптики: невозможно сконцентрировать весь свет от близкого источника в пятно, меньшее по размерам, чем сам источник. Излучение лазера на углекислом газе с высокой когерентностью можно сфокусировать более точно. Однако для нагревания больших предметов предпочтительнее воспользоваться лампой Vortek, потому что, во-первых, ее использование обходится дешевле и, во-вторых, металл лучше поглощает белый свет лампы, нежели излучение лазера с большей длиной волны.

Исследователи из Национальной лаборатории им. Лоуренса в Ливермор обнаружили, что лампы идеально подходят в качестве средства накачки для высокомошных лазеров. Л. Запата, физик из Отделения лазерных систем, утверждает, что он со своими сотрудниками «поддерживает» дугу постоянным током 10—20 ампер, постоянно «подстегивая» ее импульсами 400—500 ампер длительностью около миллисекунды. Вспышки лампы вызывают соответствующие

импульсы в лазере на алюмоитриевом гранате с примесью неодима, обладающие энергией, достаточной для проникновения в сталь. Этот эффект можно применять, в частности, для сверления каналов системы охлаждения в реактивных турбинах, а также специальных отверстий в крыльях для поддержания ламинарного обтекающего потока, который в противном случае становится турбулентным.

Как утверждает Запата, его группе не нужны самые яркие лампы Vortek, им нужны более мощные, которые компания только еще планирует выпускать. Мультимегаваттные лампы для накачки лазеров могли бы найти применение в военных целях только в отвергнутой ныне программе «Звездных войн», но даже там они были бы слишком тяжелыми и хрупкими для того, чтобы использовать их в боевой орбитальной станции. Так кому же может понадобиться эта чудовищной силы лампа? «Некоторые подразделения министерства обороны заинтересованы в источнике мощностью 5—10 МВт, — утверждает Олбэч. — Он нужен им для высокотемпературных испытаний и некоторых производственных процессов».

### Упорные страсти

ВО ВСЯКОЙ области науки найдет кто-нибудь, несмотря ни на что упорствующий в своей точке зрения. В области изучения медоносных пчел, являющихся бесконечно привлекательным воплощением понятия организованного коллектива, — есть две такие однозлые фигуры — А. Уэинер из Калифорнийского университета в Санта-Барбара и П. Уэллс из Западного Колледжа в Лос-Анджелесе. Вот уже четверть века они настаивают на том, что нет никаких доказательств информационной роли «танца», который исполняют в улье вернувшиеся с богатым взятком рабочие пчелы, чтобы сообщить своим собратьям координаты источника пищи. По мнению Уэинера и Уэллса, пчелы ориентируются только с помощью обоняния.

Практически все биологи, знакомые с исследованиями поведения пчел, не согласны с этой точкой зрения. Многочисленные эксперименты — причем некоторые из них были поставлены специально, чтобы найти ответ на возражения Уэинера и Уэллса — убедительно подтвердили, что у пчел действительно существует «язык танца», который был открыт в 40-е годы знаменитым энтомологом Карлом фон Фришем. «Эта проблема

давным-давно решена, — сказал Ч. Михнер из Канзасского университета. — Я не знаю ни одного специалиста, который думал бы иначе».

Однако двое инакомыслящих после десятилетнего молчания возобновили нападки на идею языка танца в книге под названием «Анатомия спора: проблема «языка» у пчел» (Wenner A., Wells P. «Anatomy of a Controversy: The Question of a «Language» Among Bees», Columbia University Press). В этой работе Уэллс и Уэинер не представили никаких новых экспериментальных данных, которые бы свидетельствовали против информационной роли пчелиного танца. Вместо этого они рассматривают историю своих возражений, пытаясь показать, что их мнение отвергалось по мотивам не научным, а поллитическим и социальным.

А пока Уэинер и Уэллс писали свой решающий труд, другие специалисты продолжали исследования. Недавно группе ученых удалось добиться выдающегося успеха: создана пчеларобот и показано, что ее «танец» может направлять настоящих пчел в то или иное место (см. статью: Пчелиная танцплощадка, «В мире науки», 1989, №8, с. 81). Авторы книги успели лишь включить в нее приложение с обсуждением этих экспериментов, но их обсуждение опять-таки сводится к обвинению в методических недочетах, в частности в том, что не принимались во внимание ветер и другие факторы.

Однако один из создателей пчеларобота — В. Кирхнер из Вюрцбургского университета — сообщил, что уже проведены эксперименты, отвечающие на возражения Уэинера и Уэллса. В зависимости от танца искусственной пчелы живые пчелы летели то в одном направлении, то в противоположном, хотя ветер не менялся.

Тем не менее Уэинер упорствует в неверии и сомневается в чистоте эксперимента. Более того, он заявляет, что, сколько бы ни было получено экспериментальных данных «за» информационную роль танца пчел, это ничего не значит, так как имеется слишком много фактов «против».

Уэинер ожидает, что его с Уэллсом книга оживит дискуссию о языке танца у пчел, которая станет, как он полагает, «величайшим спором XX века». Дж. Гоулд из Принстонского университета, работы которого служат излюбленной мишенью уэинеровской критики, заметил по этому поводу: «Вот было бы здорово — подумать только, сколько публикаций можно будет сделать! Только я что-то сомневаюсь, что это произойдет».



# Древнеримский мельничный комплекс

*Большинство историков считают, что у древних римлян отсутствовала технология механизированного производства.*

*По их мнению, главным препятствием на пути к ее созданию была доступность дешевого рабского труда.*

*Результаты исследований в Барбегале (Франция),*

*где сохранились остатки древнеримского мельничного комплекса, свидетельствуют об ином*

А. ТРЕВОР ХОДЖ

ИЗ ПОСЕЩАЮЩИХ город Арль, что на юге Франции, лишь немногие заезжают в деревню Фонвиль, расположенную в 19 км к северо-востоку от этого города. Но и из них редко кто находит время, чтобы, свернув у этой деревни на проселочную дорогу, доехать до местечка Барбегаль и осмотреть там одно из величайших технических сооружений древних римлян — большую мукомольную мельницу.

Древнее сооружение в Барбегале — это хорошо сохранившийся пример того, что, как написано во всех учебниках, никогда не существовало. Имеется в виду построенная римлянами крупная мельница, а вернее мельничный комплекс, оснащенный механическими приводами и рассчитанный на крупномасштабное производство. Даже в руинах мельница выглядит впечатляюще. До недавнего времени археологов интересовали преимущественно архитектурные памятники, такие, как храмы, «технические» же памятники, например мельницы, они чаще всего игнорировали. И хотя для изучения остатков древнеримской мельницы в Барбегале не нужно было производить раскопки, это сооружение привлекло к себе внимание ученых лишь после того, как оно было исследовано французским археологом Фернандом Бенон, опубликовавшим свои результаты в 1940 г.

Результаты исследования упомянутого мельничного комплекса имеют особое значение прежде всего потому, что они ставят под сомнение так называемую «технологическую теорию» упадка Римской империи. Согласно этой теории, доступность дешевого рабского труда помешала древним римлянам создать механиз-

мы, которые позволили бы заменить человека и без которых невозможно крупномасштабное производство. Мельничный комплекс в Барбегале был построен скорее всего в IV в. н. э. Жернова его мельниц приводились в движение с помощью 16 водяных колес, располагавшихся вдоль склона холма двумя параллельными рядами (в каждом ряду — по восемь колес). Стекая вниз каскадами, вода вращала колеса и потом попадала в дренажный канал, а оттуда — в болото, находившееся в 500 м от холма.

Расположение водяных колес мельницы свидетельствует об изобретательности людей, построивших ее. В средние века и в более раннее время мельницы редко строили в непосредственной близости друг от друга вдоль одной реки, здесь же они располагались одна за другой, и в целом это был настоящий производственный комплекс. Заслуживает высокой оценки и то, что, используя не одно, а много водяных колес строители решили тем самым проблему передачи энергии многим рабочим органам — жерновам. Одно водяное колесо не смогло бы приводить в движение много жерновов из-за большого трения, возникающего в передаточном механизме. Поэтому на мельнице каждый жернов был соединен через привод со «своим» водяным колесом.

Того, кто спроектировал этот комплекс, можно по праву назвать великим конструктором. Кто был этот человек? На кладбище в Арле на одной из могильных плит, возраст которой примерно одинаков с возрастом мельницы, сохранилась надпись, свидетельствующая о том, что в ней захоронен некий Квинт Кандидий Бе-

нигнус, известный в округе гидравлик, который был «как никто умен, и которого никто не сумел превзойти в строительстве механизмов и акведуков». Хотя убедительных свидетельств, подтверждающих, что именно этот человек сконструировал или построил комплекс, нет, хочется думать, что так оно и было.

С высоты холма, с противоположной его стороны, открывается вид на неглубокую долину, через которую римляне построили арочный акведук. По этому акведуку вода поступала на мельницы. Рядом с ним проходил другой акведук, который не сразу заметно, поскольку его слегка заслоняет первый. Близ горной гряды второй акведук резко поворачивает на запад. По нему в город Арелате (римское название Арля), находившийся примерно в 17 км от Барбегали, поступала питьевая вода. Первый (восточный) акведук, пройдя через специально прорытую ложбину, подводил воду непосредственно к мельницам.

Понятно, что восточный акведук снабжал мельницу водой, однако связь между ним и вторым (западным) акведуком еще не вполне ясна. Согласно результатам последнего исследования, в этой местности, судя по всему, был сначала построен акведук, предназначенный для подачи воды в город. Спустя довольно длительное время его перестали использовать с этой целью либо из-за того, что вода стала плохой, либо из-за отложений на стенках водовода карбоната кальция, уменьшивших поступление воды (явление весьма распространенное в акведуках). Именно в этот период, как полагают исследователи, и был построен новый акведук, старый же стали использовать ис-

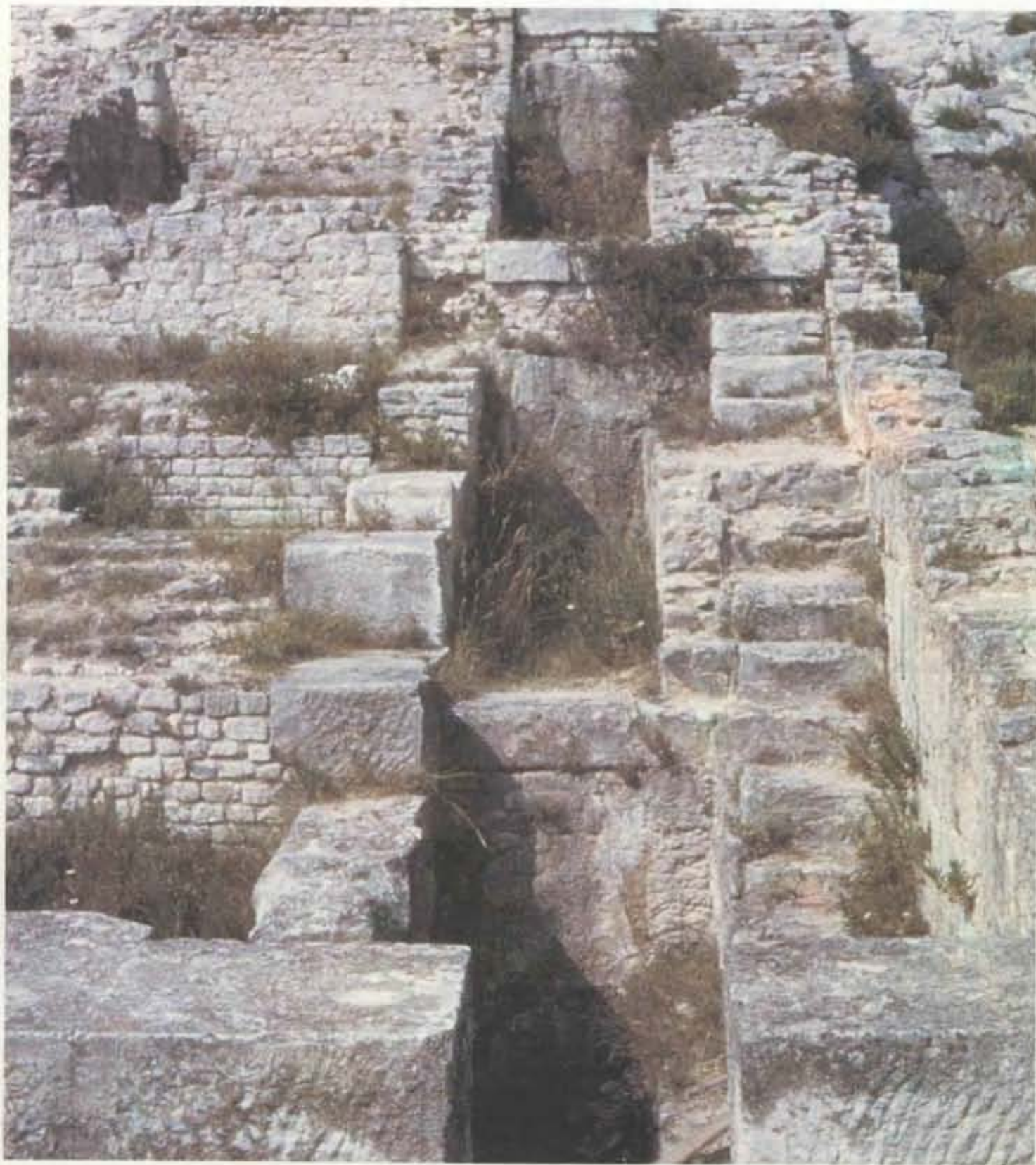
ключительно для «передачи энергии». Таким образом, мельничный комплекс был сооружен с той целью, чтобы использовать воду, все еще поступающую по акведуку (в количестве, достаточном для его промышленного применения), как источник энергии.

На выходе из ложбины акведука делится на два рукава в виде буквы Y.

Прежде считалось, что в треугольнике, ограниченном буквой Y, находился головной резервуар, обеспечивавший равномерный поток воды, однако это предположение сейчас представляется маловероятным. Мельничный комплекс располагался на склоне холма, на прямоугольном участке размером 42 × 20 м и состоял из двух рядов

мельниц. Каждое водяное колесо имело кирпичное ограждение, называемое колесным отсеком; эти отсеки примыкали друг к другу и располагались ступенчато вдоль склона холма.

Полностью восстановить конструкцию мельничного комплекса весьма сложно. Во всех его частях остатки стен возвышаются на метр — полто-



ОСТАТКИ ДРЕВНЕРИМСКОГО МЕЛЬНИЧНОГО КОМПЛЕКСА на склоне холма близ Барбегали (Южная Франция). Вода, поступающая по акведуку, приводила в движение 16

водяных колес. Из античных производственных комплексов, известных на сегодняшний день, этот самый крупный.



МЕЛЬНИЧНЫЙ КОМПЛЕКС близ Барбегалья был построен в IV в. рядом с портовым городом Арлем (слева) на трассе акведука, который когда-то снабжал город водой (справа). Мельницы комплекса производили муку в количестве, достаточном, чтобы прокормить 12 500 человек, живших в то время в Арле.

ра, не более. Кроме того, значительная часть конструкции была деревянной и давно разрушилась. В связи с этим реставраторам во многом приходится полагаться на собственное воображение, чтобы хотя бы приблизительно воссоздать вид комплекса. Существует и еще одна, чисто техническая проблема: уклон от вершины холма до его основания составляет в среднем  $30^\circ$ , однако для того чтобы вода, текущая по склону холма, могла приводить в движение восемь колес, расположенных друг за другом, этот склон должен быть намного более крутым. В поисках решения этой проблемы было предложено несколько наиболее возможных конструктивных вариантов. Например, верхняя часть мельничного комплекса могла располагаться на более высоком уровне за счет надстройки ее фунда-

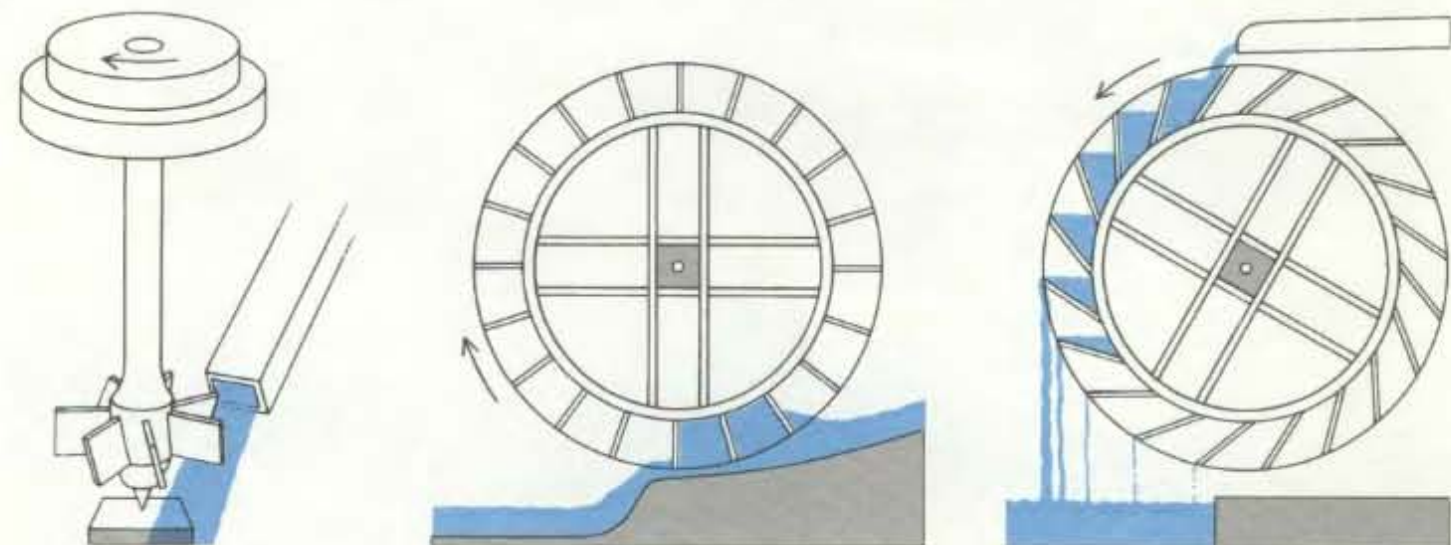
мента, а нижняя часть — в основании холма, что позволяло увеличить перепад высот. Хотя предполагаемое размещение водяных колес не соответствует расположению последних трех мельниц (см. верхний рисунок на с. 56), пока еще никто не объяснил, каким образом древним римлянам удалось добиться необходимого гидравлического градиента при сравнительно небольшом уклоне.

Диаметр водяных колес составлял 2,1 м, а ширина — 0,7 м. Каждое из них крепилось на оси, располагавшейся поперек колесного отсека и выходившей на мельницу через отверстие в стене (два таких отверстия можно различить и сейчас). На мельнице горизонтальная ось соединялась посредством зубчатых колес с вертикальной осью, которая приводила в движение базальтовый жернов диа-

метром 0,9 м, находившийся на втором этаже. Такая конструкция была очень распространенной и характерной для других римских мельниц. Однако пока неясно, каким образом на мельничном комплексе в Барбегале удалось добиться сравнительно высокой скорости вращения жерновов и тем самым высокой производительности? Было ли это достигнуто за счет применения передаточного механизма особой конструкции (см. нижний рисунок на с. 56)?

ОТ ОТВЕТОВ на эти вопросы зависит решение, пожалуй, самой большой загадки, связанной с мельничным комплексом: какова была его мощность и производительность? Хотя скорость вращения жерновов неизвестна, приблизительные расчеты могут дать представление о порядке интересующих нас величин.

Самая последняя оценка сделана в 1983 г. Робертом Х. Дж. Селлином из Бристольского университета. Предположив, что скорость течения воды в акведуке составляла 1 м/с (т. е. расход был равен  $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ ), скорость вращения водяного колеса — 10 об/мин, а КПД — 65%, Селлин подсчитал, что одно колесо могло развивать мощность около 2 кВт, или 2,5 л. с. Как заметил Джон Лэнделс, ученый из Великобритании, «если прибегнуть к современному сравнению, небольшой мотоциклетный двигатель ( $250 \text{ см}^3$ ) развивает примерно ту же мощность». Этой мощности хватало бы для того, чтобы через передаточный механизм вращать жернов со скоростью 30 об/мин и достичь тем самым производительности 24 кг муки в сутки, или 9 т муки в день, для всего комплекса. Даже допустив 50%-ный



КОНСТРУКЦИИ ВОДЯНЫХ КОЛЕС в порядке возрастания их сложности и КПД. Норвежское колесо (слева) напрямую соединялось с жерновом. Колеса подливное (в цент-

ре) и верхнебойное (справа) работали с механизмом передачи. Верхнебойное колесо требовало сооружения расположенного вверху водостока.

простой, связанный с задержками в поставке зерна, осмотром и наладкой механизмов, понижением уровня воды, поломками, перерывами в работе и другими причинами, Селлин подсчитал, что комплекс все равно должен был производить «4,5 т муки в день, чтобы прокормить 12 500 человек из расчета 350 г муки в день на человека. Это вполне соответствует оценкам численности населения Арля в IV в. н. э.»

Расчеты, выполненные Селлином, позволяют решить один из спорных вопросов. Действительно, если исходить из прежних, более высоких оценок, то непонятно, почему комплекс производил больше муки, чем требовалось местному населению. Обычно это объясняли тем, что Арль представлял собой крепость легионеров, которую Барбегаль снабжал мукой. Однако, как известно, ни один из многочисленных гарнизонов на территории Римской империи не прибегал к такому способу обеспечения. Более низкая оценка, полученная Селлином, устраняет это затруднение и может служить подтверждением тому, что построенные комплекс преследовали цель использовать возможности проходящего поблизости акведука.

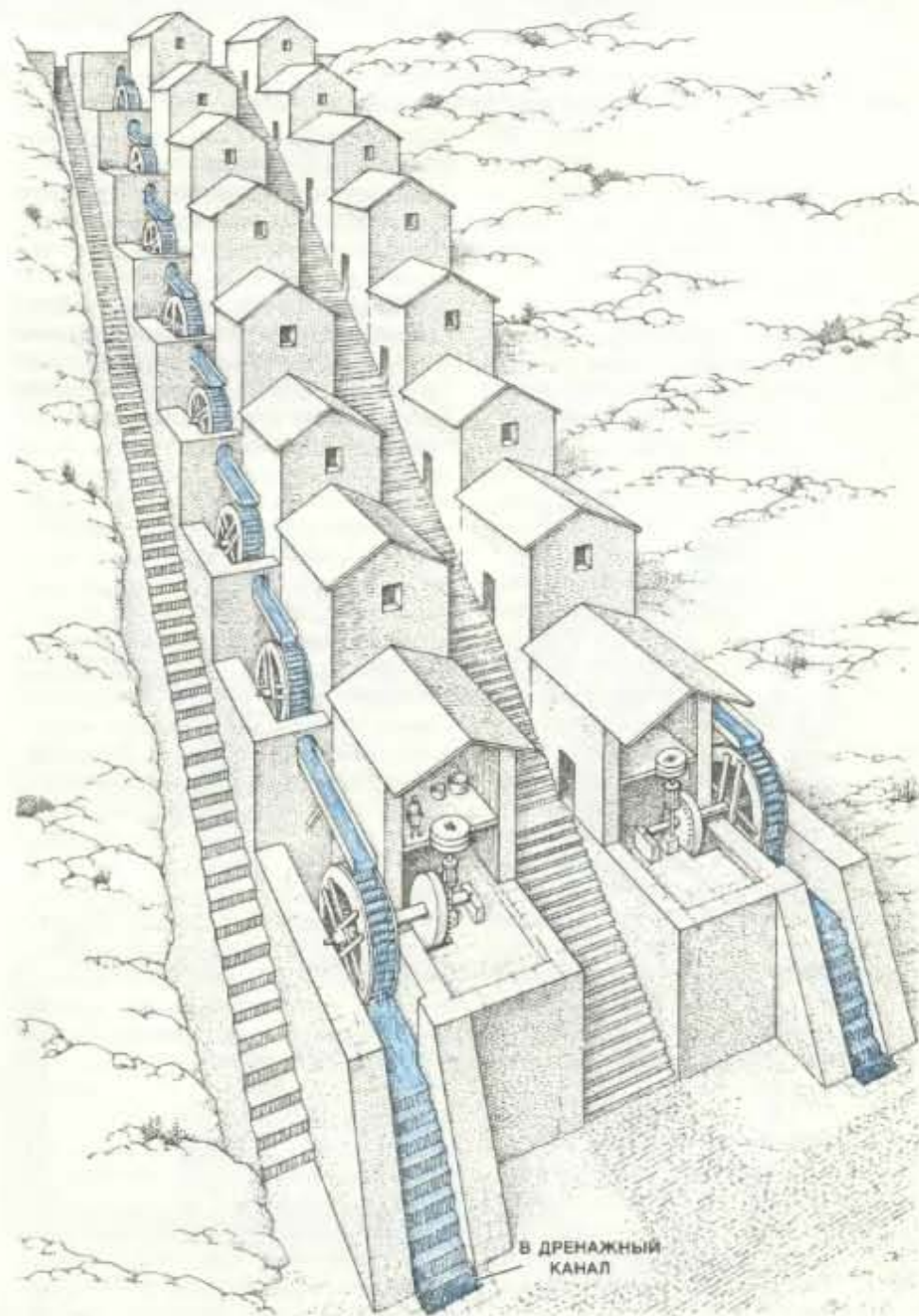
Какова была конструкция мельниц этого комплекса? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо установить, какой тип водяного колеса там использовался. Известно, что в античную эпоху применяли три типа водяных колес (см. рисунок на с. 54), простейшее из них — норвежское колесо, которое работало в горизонтальном положении. Отсутствие механизма передачи (колесо и жернов укреплялись на одной вертикальной оси) упрощало конструкцию и облегчало строительство мельницы, однако жернов вращался слишком медленно, со скоростью водяного колеса, и производительность мельницы была небольшой. Этот тип водяного колеса и сейчас еще распространен в Китае.

Другие два типа водяных колес работают в вертикальном положении и отличаются друг от друга местом приложения к ним силы — снизу (подливное колесо) или сверху (верхнебойное колесо). В первом случае нижняя часть колеса погружена в поток, приводящий это колесо в движение. Во втором — колесо вращается под действием падающей сверху воды. В обоих случаях с помощью деревянных зубчатых колес (например, таких, которые использовались в Барбегале) вращение передается вертикальной оси. Из последних двух конструкций больший КПД имеет верхнебойное колесо. Однако в тех

местах, где вода в избытке, высокий КПД не всегда является большим преимуществом. Кроме того, в связи с тем что верхнебойные водяные колеса требуют сооружения мельничного пруда и приподнятого желоба, установка колес этого типа обходится дороже.

В эволюции водяного колеса можно выделить три этапа: норвежское колесо, подливное колесо, верхнебойное колесо. В связи с этим ранее считалось, что внедрение в данной местности колеса того или иного типа происходило в том же хронологическом порядке. Однако, как показал

Н. А. Ф. Смит из Имперского колледжа науки и техники в Лондоне, этот процесс происходил независимо, в соответствии с местными потребностями и традициями, причем на большей части территории Римской империи горизонтальные водяные колеса если и использовались, то очень редко. На мельницах Барбегалья водяные колеса, несомненно, были вертикальными. Но были ли они подливными или верхнебойными? Хотя, как полагают исследователи, там мог использоваться каждый из этих типов колес, второй из них наиболее вероятен хотя бы потому, что, обладая



ВЕРХНЕБОЙНЫЕ КОЛЕСА, имеющие наибольший КПД из трех основных типов водяных колес, приводили в движение жернова мельничного комплекса, который предположительно выглядел так, как показано на этом рисунке.



**ПРЕДПОЛАГАЕМОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ** водяных колес мельниц. Для достижения необходимого перепада высот колеса, вероятно, располагались ниже уровня земли в основании холма.

более высоким КПД, ему было достаточно того относительно небольшого количества воды, которое мог обеспечить акведук.

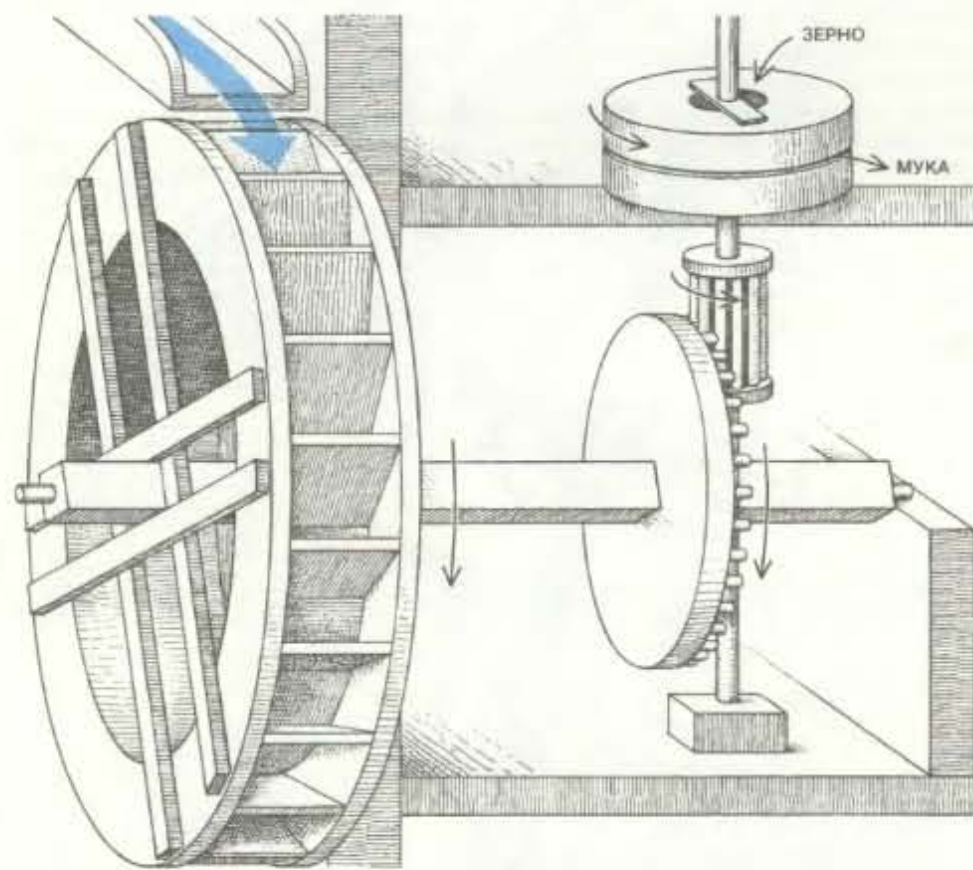
**РЕШЕНИЕ** технических загадок Барбегале следует искать в более широком контексте социальной роли техники. Согласно традиционному и глубокоукоренившемуся представле-

нию, древние римляне знали о достоинствах водяного колеса, однако использовали его очень мало, поскольку труд рабов обходился дешевле.

Вопрос об использовании водяного колеса в античную эпоху так или иначе связан с одним из величайших парадоксов того времени: в обществе, подарившем миру величайших мыслителей, наблюдалось то, что можно

назвать техническим застоєм. Широко распространена точка зрения, что технологии, основанные на превращении энергии, не находили должного применения в античном мире. Действительно, древние греки и римляне не могли использовать энергию пара, поскольку это было связано с обработкой металлов, что было им технологически недоступно. Почему же они пренебрегали доступными им источниками энергии? Зная, что можно использовать силу ветра, пример тому — паруса, они тем не менее никогда не строили ветряные мельницы. Не находили широкого применения у них и водяные колеса.

Результаты последних исследований заставляют усомниться в общепринятой точке зрения. На самом деле водяные колеса не были столь редки в античности. Прежде исследователи целиком полагались на археологические данные. Водяные колеса, построенные древними римлянами, находили очень редко, а потому утвердилось представление, что они не были распространены. Более тщательный анализ письменных источников и археологических данных показывает, что водяные колеса начали находить широкое применение в Римской империи во II в. н. э. Это подкрепляется как новыми археологическими находками, так и не менее убедительными аргументами на основе аналогий. Например, если учитывать только дошедшие до нас археологические свидетельства, то в XI в. в Англии едва насчитывалось десятка полтора мельниц, однако, судя по земельной описи Англии, произведенной Вильгельмом Завоевателем в 1086 г., там было по крайней мере 5 624 мельницы. Если предположить,



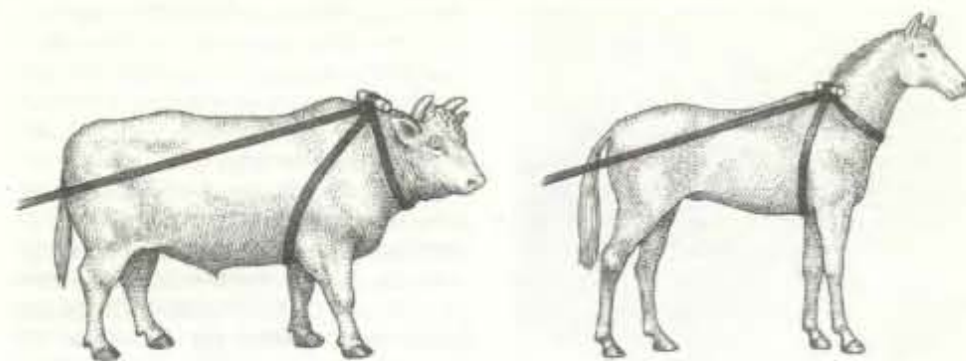
**МЕХАНИЗМ ПЕРЕДАЧИ** служил для того, чтобы передавать вращение от водяного колеса (верхнебойного или подливного) жернову. Высокая скорость вращения жернова достигалась, вероятно, за счет использования зубчатого колеса большого размера.

что отношение между действительным и обнаруженным числом мельниц примерно одинаково для всего античного мира, то некоторые из общепринятых объяснений «нехватки» водяных колес выглядят неубедительными.

Считается, что в Средиземноморье, в частности в Италии, было мало рек, достаточно полноводных для мельниц. Однако не следует забывать то, что римские строители были более всего известны своими искусственными сооружениями, предназначенными для непрерывной подачи воды, в частности акведуками. Последние с успехом могли использоваться для подведения воды к мельницам, особенно к таким, где, как и в Барбегале, применялись верхнебойные водяные колеса. Конечно, здесь можно возразить, что все это потребовало бы слишком больших расходов, однако следует учитывать и то, что мельницы не потребляют и не загрязняют воду, поэтому они могли располагаться в любой части акведука, по которому вода подавалась в город, без нарушения его нормальной работы. Вероятно, именно такие мельницы были построены на склоне холма в Джаникулуме, в пригороде Рима. Был ли это единичный случай или же остатки других подобных мельниц были попросту не замечены, поскольку никто не ожидал обнаружить их? Определенно существовало много акведуков, в которых вода стекала каскадами на том участке, где имелся довольно большой уклон и где поэтому можно было бы легко построить мельницу. Правда, это не всегда было экономически выгодно, поскольку такой участок мог находиться в труднодоступном месте или далеко от городских рынков.

**КОНЕЧНО,** нельзя отрицать того, что древние римляне использовали водяные мельницы не столь широко, как могли бы. Чем это обусловлено? Согласно традиционному представлению («технологической теории» упадка Римской империи), у древних римлян отсутствовали экономические стимулы для технического развития в период расширения империи, и ко времени установления ее границ они утратили свою техническую мощь. Считается, что основную роль здесь сыграло рабство.

На мой взгляд, в этом вопросе не следует придавать слишком большое значение рабству. Доступность дешевой рабочей силы, будь то рабы или свободные люди, действительно вряд ли стимулирует развитие механизмов, способных заменить труд человека. Однако использование рабского



**РИМСКАЯ УПРЯЖЬ**, предназначавшаяся для волов (слева), не была пригодна для лошадей, если груз был тяжелым: ремни упряжи могли бы задушить лошадей. Транспортировка грузов на волах была очень медленной и дорогой, в связи с чем, как полагает автор, затраты на массовое производство не могли окупиться при отсутствии других, более дешевых средств транспортировки продукции.

труда часто обходилось дороже, чем принято считать, особенно, если учесть высокие капитальные затраты при непродолжительном «сроке службы» (в результате изнурительного труда) и большие затраты на содержание рабов.

Использование рабского труда могло быть экономически выгодным в том случае, если рабов на рынке было достаточно много, чтобы средняя цена на них оставалась небольшой. В период экспансии Римской империи ее внутренний рынок не испытывал недостатка в рабах за счет военнопленных. Но как только в первом столетии установились границы империи, поставка рабов на рынок резко сократилась, а затем, когда варварские племена начали одерживать победы, и вовсе прекратилась, вследствие чего стоимость рабочей силы возросла. Таким образом, Рим оказался в положении некоторых современных предприятий, которые стоят перед выбором: либо продолжать расти, либо разориться.

Однако существует и более непосредственная, чисто техническая причина, почему водяное колесо, а вместе с ним и такие сооружения, как мельничный комплекс в Барбегале, не получили распространения в древнюю эпоху. Причина эта заключалась в отсутствии подходящей упряжи для лошадей.

Использование лошадей в качестве тягловых животных было весьма ограниченным из-за отсутствия подков, к тому же существовавшая в то время упряжь была далеко не совершенной. Если груз был слишком тяжелым, то ремни упряжи могли попросту задушить лошадь. Поэтому для перевозки тяжелых грузов, даже по отличным римским дорогам, лошади не подходили. В качестве тягловых животных использовались в ос-

новном волах, которые, несмотря на их силу, передвигались слишком медленно.

Перевозка грузов на волах на расстоянии свыше 15—20 миль обходилась слишком дорого, поскольку на это уходило самое меньшее несколько дней. Отсутствие быстрых средств доставки продукции на рынок делало почти невозможным крупномасштабное производство, поскольку из-за больших транспортных расходов затраты на само производство не окупались. А поскольку не было массового производства, то не было и стимула механизировать ручной труд.

Механизмы, приводимые в движение водой, окупались лишь при наличии поблизости рынка сбыта и достаточного количества дешевой воды. Поставка продукции на рынки, которые находились далеко, могла осуществляться лишь в тех случаях, если мельницы и другие предприятия находились вблизи речных или морских портов (баржи и морские суда были наиболее дешевыми транспортными средствами в античную эпоху). У поэта IV в. Авсония встречается описание одного из таких предприятий — завода по распиливанию мрамора на реке Руз, притоке реки Мозель, близ города Трир. То было одно из немногих предприятий, использовавших энергию воды, где производилась не мука, а другая продукция.

Уникален ли в таком случае мельничный комплекс в Барбегале? Не совсем: известны два других мельничных комплекса, хотя и далеко уступающих ему по своим размерам. Один из них находится на западе Туниса на реке Меджерда, где в начале второго столетия был сооружен мост-дамба. Комплекс, располагавшийся в береговом устье, состоял из трех горизонтальных водяных колес, установлен-

ных не последовательно, как в Барбегале, а параллельно. Колеса находились в цилиндрических камерах, известных как шлюзы. Другой комплекс находится в Израиле на реке Крокдайл близ древнего города Кесари, на полпути между Хайфой и Тель-Авивом. В нем использовались два горизонтальных колеса, установленных в шлюзах. Ни один из этих комплексов (единственных известных аналогов комплекса в Барбегале) не был полностью исследован.

Удивительно, что древнее сооружение в Барбегале, расположенное в густонаселенном районе современной развитой страны и не требовавшее раскопок, оставалось в забвении в течение столетий. Этот факт, несо-

мненно, должен послужить уроком. Другие древнеримские сооружения, подобные мельничному комплексу в Барбегале, но расположенные в отдаленных уголках бывшей Римской империи, ждут своего часа. Если крупное сооружение, построенное римлянами, оставалось незамеченным во Франции до 1940 г., то можно представить, какие грандиозные открытия ожидают археологов в Ираке или Северной Африке, где в песках пустынь погребены целые города Римской империи. В ходе их раскопок, возможно, будут обнаружены древние технические сооружения, исследование которых позволит вписать новые страницы в историю техники, экономики и культуры.

## Наука и общество

### «Жидкое небо»

**БЕРНАРД** Ерк превзошел самого Уильяма Блейка. Этот английский поэт и мистик XVIII в. мог видеть «огромный мир» только «в зерне песка». Ерк, физик из AT&T Bell Laboratories, видит целую Вселенную в капле жидкого кристалла. Ерк использует жидкий кристалл, широко применяющийся в индикаторных устройствах электронных часов и кальку-

ляторов, чтобы моделировать космические «дефекты», которые могли бы служить зародышами галактик.

Жидкий кристалл состоит из длинных палочкообразных органических молекул. Обычно молекулы ориентированы произвольно, хаотично, как в жидкости, но, если приложить к ним давление, они подвергнутся фазовому переходу—выстроятся в одном направлении параллельно друг другу, как молекулы воды, когда она замерзает с образованием кристаллов льда.

Как отмечает Ерк, уравнения, описывающие этот фазовый переход, очень похожи на уравнения, моделирующие фазовый переход в ранней Вселенной. Некоторые космологи предположили, что после такого фазового перехода во Вселенной могли

остаться массивные дефекты, похожие на дефекты кристаллической структуры в ледяном панцире замерзшего пруда.

Предлагались разные космологические дефекты, в том числе космические струны, которые могут простираются через всю Вселенную; магнитные монополи, имеющие сферическую форму; текстуры, которые иногда описываются как узлы во Вселенной. Согласно теории, эти образования могут быть так массивны, что должны притягивать к себе вещество в количествах, достаточных для образования галактик и даже их скоплений.

Ни одно из этих гипотетических образований не обнаружено, но в 1985 г. Войцех Зурек из Лос-Аламосской национальной лаборатории предположил, что космические струны можно моделировать в жидком гелии. Однако никто не решился тут же проверить гипотезу Зурека, поскольку для экспериментов с жидким гелием требуется дорогостоящая холодильная установка и осторожность в работе.

Недавно Ерк, специалист по оптике, всегда интересовавшийся проблемами космологии, пришел к выводу, что жидкий кристалл может также служить моделью Вселенной. В июне Ерк построил аппарат, состоящий из ячейки жидкого кристалла, рычага для приложения давления, микроскопа и видеокамеры. На видеозображении этого образца, подвергнутого фазовому переходу, видно, что он покрыт перекрещивающимися линиями, а составляющие их молекулы «топорщатся», как мех на хвосте обезьяны. Эти линии имитируют космические струны. Некоторые более толстые линии урезаны почти до размеров точки — это имитация магнитных монополей.

По мнению Нейла Терока, космолога из Принстонского университета, соавтора Ерка, аналогия между жидким кристаллом и Вселенной несовершенна. Жидкий кристалл не может моделировать расширение Вселенной, и его дефекты гасятся трением; они в отличие от космических струн не могут вибрировать со скоростью, близкой к скорости света в вакууме. Однако Терок считает, что эксперимент Ерка поможет теоретикам более наглядно, а не просто в виде математических формул представить себе космические струны, монополи и текстуры.

Действительно, эксперименты, хотя и предварительные, уже принесли ряд сюрпризов. Терок думал, что магнитные монополи должны выглядеть как шарики, а не как укороченные струны. И хотя он ожидал, что текстуры в жидком кристалле должны

возникнуть в виде трубочек, в предварительных экспериментах они не были обнаружены. Последующие эксперименты показали, что текстуры должны быстро вырождаться в пары монополей. «Мы осознали, что еще далеки от уровня понимания, на который рассчитывали», — добавляет Ерк. Возможно, чтение Блейка снова поможет.

### Световой узор

**ЕСЛИ** вы скрестите позитронные пучки, — предупреждал д-р Э. Спенглер своих коллег, направляющих их на содержимое живой клетки, — жизнь в той форме, которая вам известна, мгновенно прекратится и каждая молекула распадется со скоростью света». Скрещивание пучков было роковой ошибкой в фильме «Ghost Busters», однако оказалось неоценимым методом в Институте им. Роуланда в Кембридже (шт. Массачусетс). Скрещивая лазерные пучки, М. Бёрнс, Ж.-М. Фурнье и Е. Головченко получили такое распределение интенсивности света, которое организует микроскопические частицы в неизвестные до сих пор кристаллы.

Эти исследователи направляли от двух до пяти лазерных пучков на дно стеклянного сосуда, наполненного водой и пластмассовыми шариками микронного размера. Лазерные пучки, интенсивность которых была примерно такой, как у обычной лампы накаливания, интерферировали друг с другом, в результате чего в сосуде возникало некоторое распределение светлых и темных зон. Шарик уходил из темных зон и «захватывался» светлыми зонами. Полученную таким образом оптическую среду эти ученые назвали оптическим материалом.

В отличие от большинства кристаллов, связи в которых определяются химическими свойствами (обменом и распределением электронов), оптический материал сохраняет целостность под действием света (за счет обмена и распределения фотонов). По этой причине кристаллы со световой связью «можно рассматривать как новый вид материалов», сообщили авторы открытия в августовском номере журнала «Science».

Идея об удержании частиц световыми полями впервые была проверена экспериментально А. Ашкином из Bell Laboratories. Через двадцать лет Бёрнс, Фурнье и Головченко осуществили удержание частиц в гораздо большем масштабе, изменяя геометрию картины интерференции света. Два интерферирующих лазерных пучка могут собирать шарики в цепи; три —

создавать гексагональную «картину».

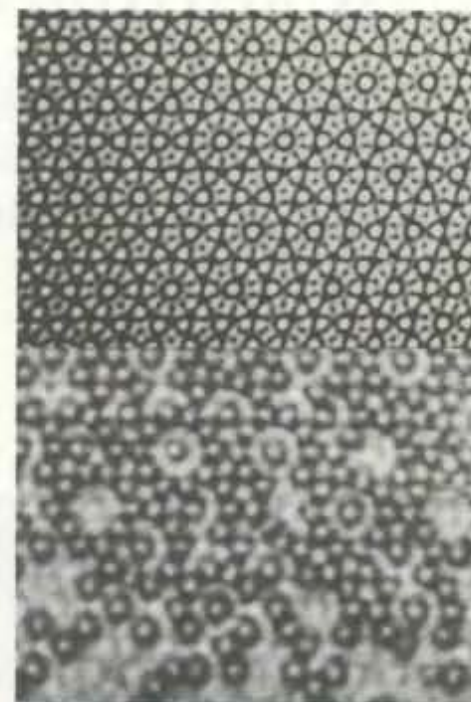
Результат действия пяти пучков — квазикристалл, занимающий промежуточное положение между упорядоченными кристаллами и разупорядоченными стеклами. Квазикристалл, полученный роуландской группой, состоит из пентагональных ячеек, вполне регулярных по форме, однако нерегулярно расположенных относительно друг друга.

Такой оптический материал сохраняется, пока поддерживается требуемое распределение интенсивности света — и никто не стучит по установке. Оптические силы, обеспечивающие целостность квазикристалла, в 100 раз больше, чем силы, действующие на шарики со стороны жидкости и вызывающие их хаотическое движение в воде (явление, известное как броуновское движение). По выражению Бёрнса, шарик, удерживаемый в большой, светлой области, движется подобно «мраморному шару в салатнице».

Если в светлую область попадает несколько шариков, они связываются вместе, образуя собственную кристаллическую структуру — эффект, неожиданный для Бёрнса и его коллег. Сила связи обуславливается довольно сложным распределением интенсивности света, которое возникает, когда свет, рассеянный шариками, интерферирует с лазерным светом, не испытываям рассеяния. Такая сила связи примерно в 10—20 раз слабее сил, вызываемых не возмущенным шариками распределением интенсивности света.

В некоторых отношениях силы связи в оптическом материале совершенно отличны от сил в обычных кристаллах. Во-первых, они действуют на расстояниях, во много раз превышающих диаметр шарика, тогда как атомные силы в обычных кристаллах являются короткодействующими. Во-вторых, под влиянием оптических сил частицы могут располагаться только на определенных (дискретных) расстояниях друг от друга. В-третьих, источник оптических сил находится вне кристалла. «Комбинация различных характеристик оптической силы вместе с управлением извне позволяет манипулировать оптическим материалом», — отмечает Бёрнс.

До сих пор исследователи смогли создать кристаллы, состоящие из бусинок полистирола, шариков диоксида титана и даже бактерий Escherichia coli. Теоретически данному методу доступен любой материал при условии, что он рассеивает свет. На практике, как сказал Бёрнс, когда одна сторона шарика поглощает гораздо больше света, чем другая, шарики



КВАЗИКРИСТАЛЛ (внизу) образуется, когда пластмассовые шарики микронного размера удерживаются в световом поле, созданном при интерференции пяти лазерных пучков (вверху).

превращаются в «неуправляемые, миниатюрные ракеты, вращающиеся вокруг своей оси».

Бёрнс, который называет себя «лазерным жонглером», заявил, что он и его коллеги близки к получению трехмерных кристаллов, состоящих из тысяч шариков. Роуландская группа пытается также применить свой метод для манипулирования отдельными атомами. Во многих лабораториях исследователям удалось изолировать отдельные атомы в электромагнитных ловушках и охладить их, замедлив их движение. Если бы в такую систему можно было ввести интенсивное световое поле, то удалось бы определить структуру оптического кристалла, атом за атомом.

Поскольку структура оптического материала изменяется под воздействием света лазера, и поскольку она в свою очередь может влиять на само оптическое излучение, Бёрнс полагает, что оптические материалы можно было бы использовать в переключателях или соединителях оптических компьютеров. Оптический материал можно было бы также превратить в устойчивый кристалл, отвердив жидкую среду. Такие кристаллы могли бы служить в качестве оптических фильтров или сеток для выращивания биологических тканей человека. Может оказаться, что, скрещивая световые пучки, можно осуществить «сборку» живых систем в той форме, какая нам известна, со скоростью света.

\* Имеются в виду следующие строки Уильяма Блейка:  
В одном мгновенье видеть вечность,  
Огромный мир — в зерне песка,  
В единой горсти — бесконечность  
И небо — в чашечке цветка.  
Перевод С. Я. Маршака — Прим. перев.



«КОСМИЧЕСКИЕ СТРУНЫ», возникающие в ячейке жидкого кристалла, шириной около 3 мм. Эксперименты проводились в AT&T Bell Laboratories. Фото Б. Ерка и И. Шуанга.

# Механика крыльев насекомых

Тончайшие детали устройства крыла насекомых говорят об их поразительной приспособленности к высшему пилотажу, с которым достижения нашей техники не идут ни в какое сравнение

РОБИН ДЖ. ВУТТОН

СРЕДИ известных летательных аппаратов самые скоростные и маневренные относятся, пожалуй, к классу насекомых. И пусть у многих из них техника полета относительно проста, зато другие — благодаря сочетанию небольшой массы, совершенной нейросенсорной регуляции и сложной мускулатуры — демонстрируют поистине фантастические фигуры высшего пилотажа. Например, самая заурядная комнатная муха способна мгновенно остановиться в быстром полете, зависнуть, перевернуться вокруг оси тела, пролететь вверх ногами, сделать петлю, перекувырнуться и сесть на потолок — и все это за доли секунды. По-своему, и, видимо, не в меньшей степени замечательны стрекозы, мухи-журчалки, златоглазки — ведь большая подвижность порождает рост разнообразия организмов. Сейчас мы все больше убеждаемся: искусство полета насекомых и разнообразие его типов есть следствие всевозможных тонких вариаций конструкции крыла. Однако вопрос о том, каким образом характеристики крыла соотносятся с особенностями самого полета, лишь совсем недавно из области домыслов попал в поле строгого научного исследования.

Помню, как еще в 60-е годы, будучи студентом-старшекурсником, я был страшно разочарован, обнаружив, что даже по прекрасно сохранившимся ископаемым остаткам крыльев насекомых, которые мне довелось изучать, можно сделать лишь самые скромные выводы. Я отлично понимал, что крылья — нечто неизмеримо большее, нежели абстрактный узор жилок на перепонке, фигурирующий в большинстве описаний. Каждое крыло представлялось мне изящным миниатюрным произведением инженерного искусства, всегда в точности соответствующего своему функциональному назначению.

Еще я уяснил, что понимание связи между конструкцией крыла и особенностями полета конкретных насекомых позволит решить многие важные проблемы их эволюции. У примитивных крылатых насекомых было, ско-

рее всего, две не соединенных между собой пары крыльев — как у нынешних стрекоз и саранчи. Но у многих современных групп — скажем, у клопов (*Hemiptera*), бабочек и перепончатокрылых (ос) — передние крылья работают в унисон с задними, или даже скреплены с ними и функционируют как единая составная несущая плоскость. Бывает, что задние крылья редуцируются до маленьких головчатых придатков (так происходит у двукрылых), а то и вовсе исчезают (у некоторых поденок). Передние крылья могут утолщаться, преобразуясь в защитные панцири — как у жуков и уховерток, а у веерокрылых и ряда палочников от них остались только рудименты. У всех этих групп, а также у большинства прямокрылых, тараканов, веснянок и ручейников задние крылья намного шире передних, а у перепончатокрылых, тлей и многих бабочек — как раз наоборот. У трипсов, некоторых крохотных жучков и наездников крылья с виду напоминают перья; каждое состоит из центрального стержня, окруженного бахромой густо сидящих волосков. Есть два семейства бабочек, у которых крыловая пластинка имеет глубокий вырез между продольными жилками, так что по бокам груди торчат как бы веера из перьев.

Кроме перечисленных особенностей, существуют еще различия в форме крыла, его рельефе и фактуре поверхности, и особенно в расположении и густоте несущих жилок. Весь этот комплекс признаков — суший клад для систематиков, более полутора столетий пользующихся им для идентификации насекомых. Палеонтологу просто необходимо хорошо разбираться в строении крыла, потому что многие ископаемые насекомые дошли до нас лишь в виде остатков крыльев, и даже когда сохраняется отпечаток всего организма, четче бывает видна именно структура крыла, и ее легче всего интерпретировать. И тем не менее до самого последнего времени функциональный смысл большинства особенностей крыла (а значит, и эволюции его структуры) оставался практически непонятым.

Вот, например, отпечаток переднего крыла крупного цикадоподобного насекомого, найденный в Испании, в породе возрастом 130 млн. лет (см. рисунок на с. 62). На нем четко видна форма крыла и расположение жилок. Примерно на расстоянии трети длины от основания крыло пересекает изогнутая складка (узловая линия). Подобное образование есть и у современных цикад; оно позволяет крыловой пластинке перегибаться вниз — но зачем понадобилось цикадам такая структура? У ископаемого крыла фактура поверхности по разные стороны складки заметно различается: ближе к основанию — гладкая, от складки до вершины — ямчатая. Близ основания крыло сгибалось вдоль еще одной линии, имеющейся почти у всех насекомых. Она известна под названием клавальной борозды и отделяет заднюю лопасть крыла, именуемую клавусом (на отпечатке клавус почти оторван). В чем же смысл этих особенностей?

Если мы сравним этот образец с другими ископаемыми, сразу возникнут новые вопросы. В австралийских отложениях давностью 220 млн. лет найдено хорошо сохранившееся крыло представителя того же семейства, к которому принадлежал и образец из Испании; во многом крылья сходны, но есть и очень существенное различие. Контур более древнего австралийского крыла почти овальный, а испанского — близок к треугольному. У более древнего крыла клавус шире, а поперечная складка находится дальше от корня. Хотя в обоих случаях основание крыла поддерживает каркас в виде трехзубой вилки из мощных жилок, комбинации этих жилок различны.

ЧЕМ ЖЕ объяснить все эти различия? Замена овальной формы на треугольную, по всей видимости, сопутствовала редукции заднего крыла.

ЗЛАТОГЛАЗКА (*Chrysopa carnea*) взлетает с листа (снимок с тремя вспышками). Видно, что крылья машут не синхронно, имеют прогиб и закручиваются вдоль оси.

Все изменения должны отражать перемены в типе и механике полета. Рассматривая эти отпечатки в 60-е годы, я мог выделить определенные тенденции в эволюции структур, имевшие, как казалось, аналогию в истории других — современных и вымерших — групп насекомых, но в то время никакого объяснения этим тенденциям я еще не находил. По сути дела, все, что я мог сделать — это сравнить ископаемых с нынешними насекомыми, в основном бабочками, имеющими примерно такую же форму

крыльев, и сделать предварительный вывод о сходстве полета вымерших форм с соответствующими современными. В то время о полете бабочек было известно мало, а о зависимости между механикой их полета и устройством крыла — и вовсе ничего.

В 70-е годы некоторые разработки как технического, так и теоретического плана, наконец-то дали возможность глубокого подхода к рассмотрению вопросов конструкции крыла. Новая аппаратура, прежде всего сканирующий электронный микроскоп,

позволила проникнуть в гораздо более тонкие морфологические структуры, чем были доступны нам прежде. Высокоскоростная киносъемка в комплексе с микрокомпьютером дала возможность снимать и проводить количественный анализ параметров свободного полета насекомых в лабораторных садках. Так была впервые получена подробная информация о поведении крыла в полете. Пионерами в данной области стали Т. Уэйс-Фох, Г. Раннелс и Ч. Эллингтон из Кембриджского университета, а так-







ИСКОПАЕМОЕ ПЕРЕДНЕЕ КРЫЛО цикады, найденной в Испании в отложениях возрастом 130 млн. лет. На нем можно разглядеть множество деталей, в том числе опорные жилки и линию сгиба, по которой разорвалась мембрана (вверху). Реконструкция (внизу слева) показывает ряд эволюционных изменений, в том числе несущих жилок (выделено цветом), по сравнению с более древним крылом из Австралии (внизу справа). Серым цветом показана возможная форма задних крыльев.

же С. Дальтон — фотограф из Сассекса, сделавший потрясающие по четкости снимки летящих насекомых. Кроме того, ученые теперь смогли толковать движения крыльев и изменения их формы с точки зрения аэродинамики; первыми применили данный подход Уэйс-Фох и Эллингтон.

В последующие годы исследование конструкции крыла стало основной темой работ группы А. К. Бродского в Ленинградском университете, моей лаборатории в Эксетерском университете и ряда других научных учреждений. Применяя различные, но взаимодополняющие подходы, мы изучили полет и функциональную морфологию крыла многих насекомых, выявили некоторые общие закономерности. Техническое совершенство крыла оказалось поразительным и превзошло все наши ожидания.

**ТИПИЧНОЕ** крыло насекомого представляет собой крепкую упругую и гибкую перепонку, поддерживаемую достаточно жесткими продольными или веерообразными жилками — как правило, трубчатого сече-

ния, с гемолимфой (кровью) и воздухоносными трахеями внутри, — соединенными между собой поперечными жилками. Детали ультраструктуры перепонки (мембраны) пока слабо изучены, но механические ее свойства, в особенности прочность и легкость, удивительны даже для так называемой «кутикулы» насекомых — и без того превосходного природного материала. У некоторых насекомых мембрана крыла имеет толщину всего в микрон или около того и при этом выдерживает воздействие больших подъемных сил, возникающих при полете.

Как ни прочна мембрана, крылья насекомых снабжены дополнительными структурами для повышения жесткости и редко бывают совершенно плоскими. В ряде групп, таких как стрекозы, поденки и прямокрылые (кузнечики, сверчки, саранчовые) крылья сильно гофрированы, и продольные стволы жилок идут то по гребню, то по дну складки (см. рисунок на с. 63). Многочисленные поперечные жилки придают конструкции сходство с решетчатыми фермами ин-

женерных сооружений, где силы, стремящиеся согнуть конструкцию, превращаются в силы растяжения и сжатия отдельных элементов (звеньев). При таких поперечных соединениях достигается гораздо большая прочность и жесткость на единицу массы, чем у конструкций, лишенных поперечных связей. Д. Ньюман, студентом работавший в моей лаборатории, показал, что описанный эффект действительно имеет место в крыльях некоторых стрекоз, а сама мембрана, как мы обнаружили, при всей своей гибкости может способствовать поддержанию формы крыла, работая как «распаянная кожа». Иными словами, перепонка не дает каркасу из жилок деформироваться — примерно так же, как натянутый холст придает дополнительную жесткость раме.

Другие крылья, более плоские, работают преимущественно как свободносущие балки (консоли). Жилки сопротивляются изгибу под действием аэродинамических сил и инерции, и часто в основании имеют большее сечение, постепенно утончаясь к вершине — типичная особенность всех консольных конструкций. Но независимо от того, похоже ли крыло на фермы или балочные структуры, у него есть две важнейшие особенности, весьма непривычные с инженерной точки зрения.

**ВО-ПЕРВЫХ**, крыло совершает машущие движения, то есть регулярно ускоряется и замедляется, накапливая и теряя кинетическую энергию. Следовательно, здесь истончение крыла к вершине обретает особую важность, ибо центр масс крыла должен размещаться как можно ближе к основанию, чтобы свести к минимуму затраты на изменения кинетической энергии и удержать внутренние напряжения в допустимых пределах. Утончаясь, крыло делается к вершине менее жестким, но поскольку насекомые часто сталкиваются с различными препятствиями и другими особями, крылья, как правило, реагируют на соударения не жестким противостоянием, а податливо отгибаются и затем расправляются, принимая прежний вид — словно тростник под порывами ветра. Скоростные съемки Ньюмана показывают, как вершина гофрированного крыла стрекозы без всякого ущерба уплощается и отгибается, натываясь на стенки садка, и успевает полностью прийти в нормальное положение еще до начала следующего полувзмаха.

Во-вторых (что, как мы выяснили, для насекомых принципиально важно), крылья способны сильно деформироваться во время полета. Хотя

крылья птиц и летучих мышей также меняют конфигурацию, не надо забывать, что крылья позвоночных, будучи видоизмененными передними конечностями, имеют собственную мускулатуру, позволяющую им сгибаться в локте, запястье, сочленениях кисти. У насекомых же мышцы не идут дальше самого основания крыла, поэтому всякое активное изменение формы крыла практически исключено.

В технике подобные деформирующиеся в полете несущие плоскости — случай редкий. Самый известный пример — это паруса; у крыльев насекомых и впрямь много общего с парусами. Те и другие представляют собой гибкую перепонку, поддерживаемую жесткими стержнями. В обоих случаях степень влияния аэродинамических сил на форму мембраны будет определяться эластичностью мембраны, упругими силами в несущих стержнях и регулируемыми силами, прикладываемыми насекомым (или командой) к основанию плоскости. В случае крыльев надо принять во внимание и силы инерции, возникающие в результате машущих движений. Корабли же толкает вперед не активное помахивание парусами; для этого понадобилась бы совершенно иная конструкция парусов.

Детальные исследования позволяют выявить множество черт крыла, делающих аналогию с парусами еще более глубокой. В любом крыле можно обнаружить жесткие участки, явно

предназначенные служить крылу опорой и ограничивать его деформации. Такие участки состоят из мощных жилок, или часто пучка продольных стволов, связанных между собой сильными поперечными жилками, а иногда и утолщенной мембраной в трехмерный лонжерон — «мачту» и «гафель» крыла.

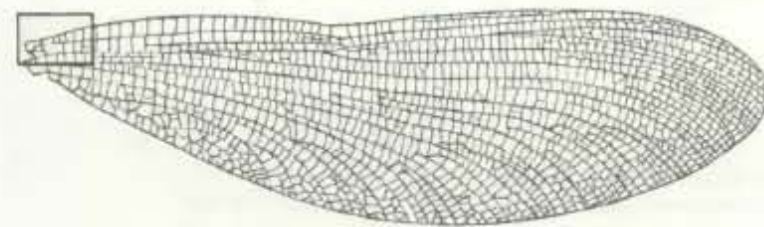
Анализ других участков показывает, что они приспособлены скорее для сильных деформаций. Здесь поперечные жилки уплощены, сужены, разбиты на колечки (подобно местам сгиба пластиковых соломинок для коктейля) или подвижно соединены с продольными жилками. Когда эту тонкую и гибкую часть крыла рассматривают под электронным микроскопом, иногда выявляются мелкие складочные мембраны, придающие ей локальную растяжимость. Подобные участки можно сравнить с тканью парусов, а жилки здесь аналогичны реям, с помощью которых можно менять в нужном месте профиль парусов (в нашем случае — крыльев насекомого). Есть кое-какие косвенные данные, указывающие на то, что крыло насекомых (как и парусное вооружение наиболее совершенных яхт) в разных местах характеризуется различной структурой и свойствами мембраны.

Однако дальнейшее сравнение может завести нас чересчур далеко. Крылья насекомых — устройство куда более сложное, тонкое и интерес-

ное, чем паруса. Так, у многих представителей линии перегиба могут проходить поперек крыла, как у упомянувшихся нами ископаемых цикад. На крыле есть и гасители толчков, противовесы, противоразрывные устройства и множество других простейших, но удивительно эффективных приспособлений, повышающих аэродинамическую эффективность крыла.

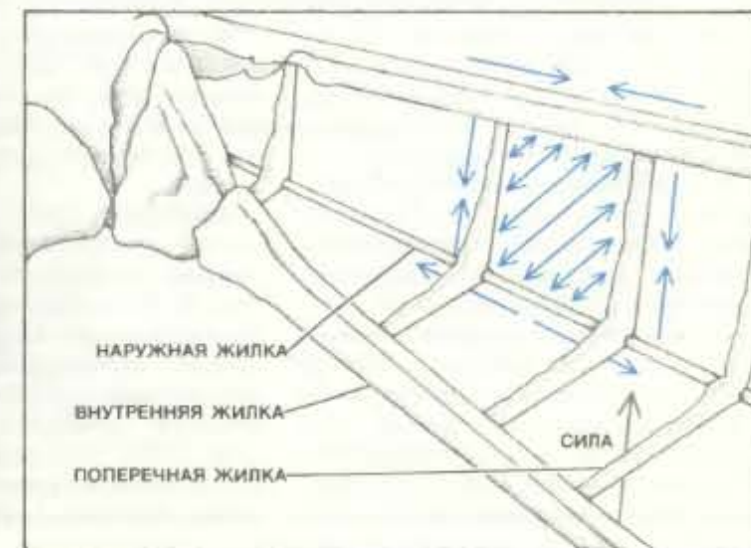
**КРЫЛЬЯ** насекомых развивались в соответствии с требованиями особого типа полета, не похожего на полет остальных групп животных. В отличие от большинства птиц, насекомые чрезвычайно редко прибегают к парению; чтобы удержаться в воздухе, нужна сила, которую насекомые могут развить лишь махая крыльями. Чтобы эта сила возникла, насекомому приходится ускорять воздух — строго вниз при зависании или вертикальном подъеме, либо вниз и назад, когда надо двигаться вперед. В каждый отдельный момент махательного цикла силы меняются, но в целом они должны давать четко выраженную вертикальную составляющую, противодействующую силе тяжести.

Чтобы этого достичь, насекомому мало простого поднимания и опускания крыла с определенной частотой. Если махать крыльями, не закручивая крыловую пластинку, насекомое будет получать импульс вперед, но вертикальные силы при махе вверх и махе вниз будут взаимно уравновешивать-

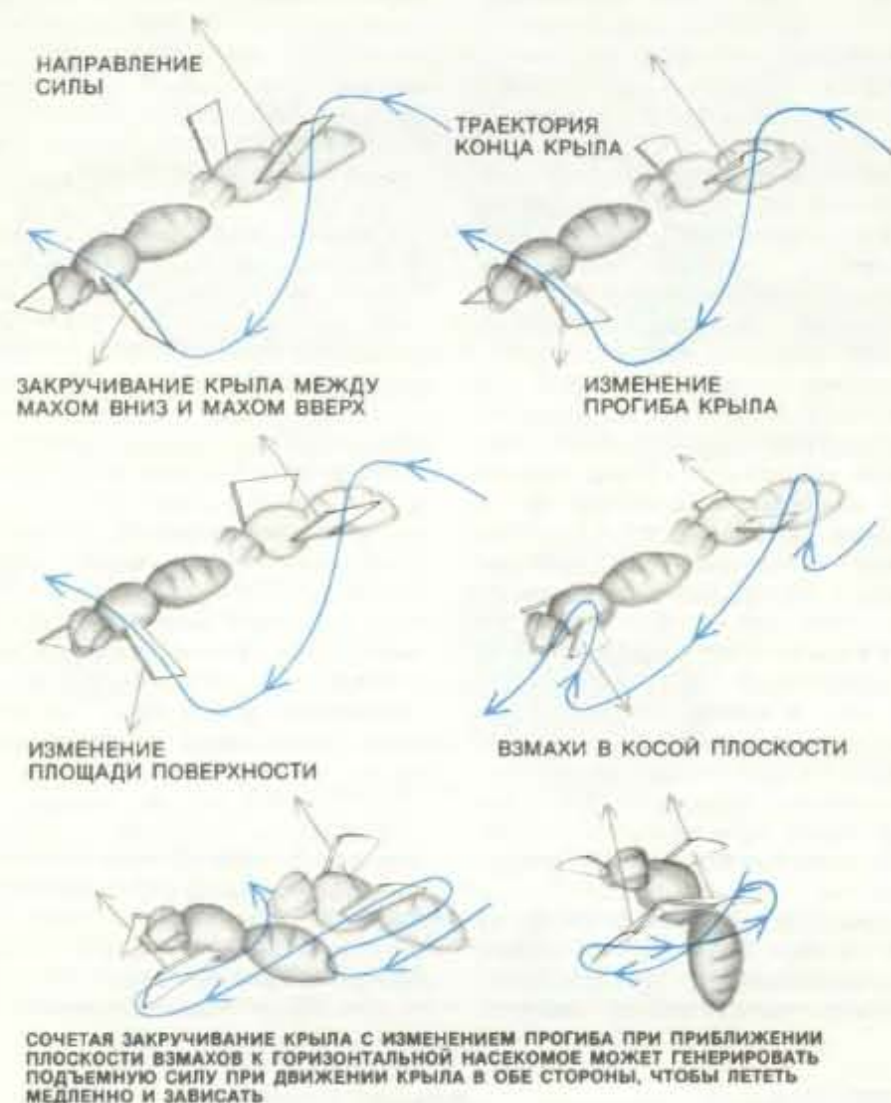


### КРЫЛО СТРЕКОЗЫ (*Calopteryx splendens*)

НАРУЖНЫЕ ЖИЛКИ ГОФРИРОВАННЫХ КРЫЛЬЕВ НА ДЕЙСТВИЕ СИЛЫ ОТВЕЧАЮТ РАСТЯЖЕНИЕМ, ВНУТРЕННИЕ И ПОПЕРЕЧНЫЕ — СЖАТИЕМ, А МЕМБРАНА МЕЖДУ НИМИ РАБОТАЕТ НА СДВИГ И СПОСОБСТВУЕТ УКРЕПЛЕНИЮ КОНСТРУКЦИИ, СВЯЗЫВАЯ ЭЛЕМЕНТЫ ПО ДИАГОНАЛИ.



## КАК НАСЕКОМЫЕ ГЕНЕРИРУЮТ ПОДЪЕМНУЮ СИЛУ



ваться. В смысле опоры крылья будут работать просто как при планировании. Для устойчивого полета в неподвижном воздухе крылья должны в течение махового цикла менять свое направление и конфигурацию так, чтобы развиваемая в итоге сила, направленная вверх, оказалась больше силы, направленной вниз. Насекомые могут достигать этого разными способами, и стремятся одновременно пользоваться сразу несколькими.

Во-первых, крыло способно закручиваться вдоль продольной оси, так что во время взмаха угол атаки может меняться. Большинство насекомых, возможно, активно покачивает крыловую пластинку посредством мышц, отходящих от ее основания. Иногда могут подключаться инерционные и аэродинамические силы; в отдельных случаях они полностью управляют закручиванием крыла между полувзмахами. Аэродинамические силы, место

приложения которых обычно лежит позади оси закручивания (линии, вокруг которой крыло вращается естественным образом), стремятся придать плоскости винтообразную форму во время ее движения в воздухе — примерно так же, как изгибают лопасть пропеллера для усиления воздушной струи. Опять-таки, закручивающее действие аэродинамических сил на парус хорошо знакомо всякому, кто правил маленькой парусной лодкой.

Во-вторых, может меняться прогиб крыла — выпуклость его поперечного сечения (от ведущего края к свободному). В аэродинамической трубе небольшая выгнутая вверх пластинка создает большую подъемную силу, чем плоская, и насекомые, по всей видимости, пользуются этим эффектом. Скоростная съемка и отдельные фотографии летящих насекомых чаще всего показывают, что на определен-

ных участках траектории крыло прогибается вверх.

В-третьих, насекомые способны изменять площадь крыла, испытывающую воздействие сил. У меня есть данные, что, скажем, некоторые бабочки меняют общую поверхность несущей плоскости, регулируя степень перекрытия задних крыльев передними. Саранчи сокращают площадь заднего крыла при махе вверх за счет частичного веерообразного складывания.

В-четвертых, асимметрия сил возникает, когда взмахи крыла осуществляются в косоугольной плоскости, благодаря чему при полете вперед крыло быстрее перемещается по отношению к воздуху в фазе опускания, и медленнее — в фазе подъема. Поскольку само сочленение между крылом и грудью насекомых расположено по большей части наискосок, косоугольный взмах предусмотрен уже самим строением тела. У стрекоз вся грудь сильно завалена назад. Но при необходимости насекомые могут еще более приблизить плоскость взмаха к горизонтали, принимая близкое к вертикали положение оси тела. И в самом деле, наиболее виртуозные летуны — такие как равнокрылые стрекозы, пчелы, осы и многие ночные бабочки, а также медленно летающие тли и комары, стараются сочетать почти горизонтальные взмахи с заметным закручиванием крыловой пластинки, так что между махом вверх и махом вниз крыло практически полностью переворачивается. Таким образом, и прогиб крыла меняется на обратный — как у паруса при перемене галса.

**ВСЕ ЭТИ** механизмы без труда объясняет классическая аэродинамика, но у насекомых припасены для нас еще кое-какие сюрпризы. В 1973 г. Уэйс-Фох, работавший с наездником (*Encarsia formosa*) описал новый механизм получения подъемной силы: насекомое плотно захлопывает крылья в верхней точке взмаха, а затем разводит их, начиная с переднего края. Воздух протекает между крыльями через их передний край, создавая завихрение вокруг крыльев в момент их раздвижения и, следовательно, максимальную подъемную силу в момент полного разведения их в стороны. Как и другие механизмы полета насекомых, обнаруженные позднее, данный способ основан на неустойчивых потоках, порождаемых движениями крыльев, и не имеет никаких аналогий с движением летательных аппаратов, созданных человеком. Особенно широко распространены среди насекомых, по-видимому, еще три механизма, сопряженные с деформациями

крыльев (при упомянутом выше типе полета деформации используются не всегда).

Два из этих механизмов описал Эллинтон. Первый состоит в том, что крылья в верхней точке взмаха соприкасаются всей поверхностью, а затем постепенно разводятся в стороны по мере опускания. При втором механизме крылья сильно сближаются сверху, однако не соприкасаются (в кратковременный контакт приходит лишь задняя часть крыльев), после чего разводятся в стороны, когда ведущий (передний) край крыла идет вниз и наружу. Ученые пока не полностью разобрались с этими механизмами полета, однако Эллинтон, К. Бетс из Эксетерского университета, Дж. Брекенбери из Кембриджского университета, Бродский и я зарегистрировали тот или иной из этих типов полета у златоглазок, бабочек, клопов, прямокрылых, богомолов и палочников. У всех перечисленных насекомых широкие, гибкие крылья, что и требуется для постепенного разведения их в стороны: крылья равномерно выгибаются вдоль продольных радиальных жилок, расходящихся от основания крыла (я назвал это «радиальным прогибом»).

Третий механизм был кратко упомянут Уэйс-Фохом, более подробно описан в работах А. Р. Энно из Йоркского университета, Бродским и Й. М. Цанкером из Тюбингенского университета, и, по-видимому, используется многими представителями самых разных групп насекомых в конце маха крыльев вниз. Когда движение крыла замедляется, оно резко перегибается вниз по линии поперечного сгиба, а затем закручивается в момент подъема при быстром распрямлении. Благодаря этому внешняя часть крыла стремительно ускоряется, что, вероятно, порождает значительную подъемную силу.

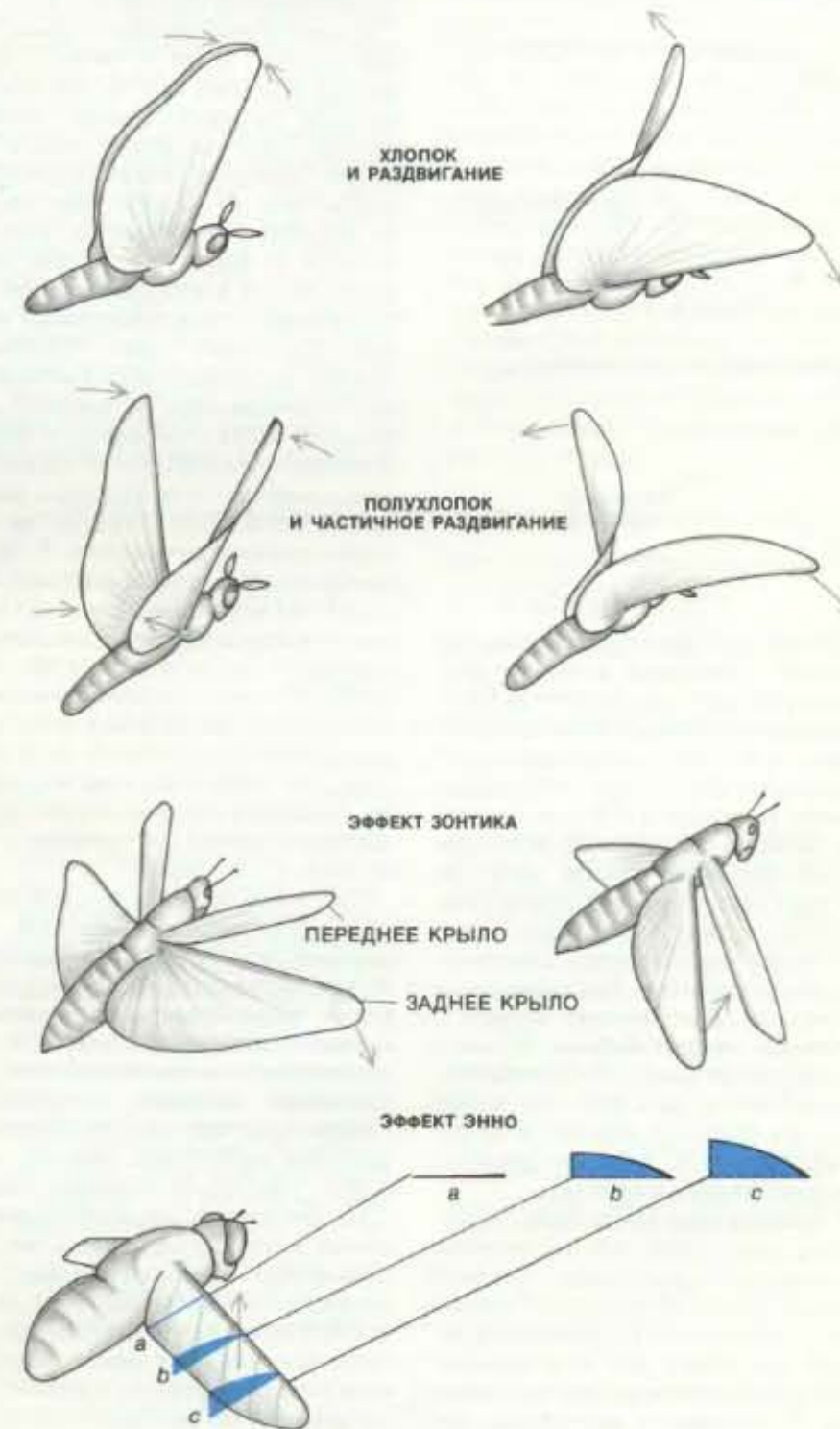
Набор этих механизмов позволяет объяснить всевозможные деформации крыла, выявляемые скоростной кинематической летящих насекомых: появление, изменение и смена прогиба на обратный; скручивание; расширение и сокращение площади крыла; радиальный прогиб и поперечный перегиб крыловой пластинки. Можно рассмотреть деформации, разделив крылья на три важнейших типа (см. рисунок на с. 66). Разумеется, этими типами не исчерпывается все разнообразие крыльев, да и границы между ними не всегда можно провести, поскольку у некоторых насекомых крылья сочетают признаки разных типов. Тем не менее, все типы распространены весьма широко и, вероятно, независимо возникали у разных групп.

Для крыльев типа А характерно наличие сильно развитых опорных участков спереди и сзади, простирающихся порой через все основание крыла. Деформирующаяся часть крыла лежит между опорными участками и при этом ее часто пересекает поперек складка (линия сгиба), позволяющая крылу легко перегибаться лишь при давлении сверху, подобно тому, как дверь на петлях открывается только в одну сторону. В полете мышцы, расположенные в основании крыла, при-

дают переднему и заднему «лонжеронам» определенное положение друг относительно друга (а следовательно, и лежащей между ними части крыла). Таким образом мускулатура активно регулирует ориентацию и в какой-то мере профиль деформирующейся части крыла на протяжении всего цикла машущих движений.

Детали этого процесса Х. К. Пфау из Университета Майнца изучил на саранчовых, но и у других известных форм с крыльями типа А он протека-

## АЭРОДИНАМИКА НАСЕКОМЫХ



## ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КРЫЛЬЕВ

ТИП А

(ВЕСНЯНКИ, СКОРПИОННИЦЫ, ПРЯМОКРЫЛЫЕ)



ТИП В

(ЗАДНИЕ КРЫЛЬЯ КУЗНЕЧИКОВ И ТАРАКАНОВ)



ТИП С

(МУХИ, СТРЕКОЗЫ)



ет задачу. Скоростная съемка показывает, что эта граница часто позволяет внешней части крыла закручиваться гораздо сильнее внутренней (базальной) и благодаря этому генерировать определенную силу, противодействующую силе тяжести, не только при опускании крыла, но и во время взмаха вверх. Чем больше доля крыла, лежащая по ту сторону линии перегиба, тем, очевидно, возникает больше возможностей для более значительного закручивания; во всяком случае, увеличение пропорции между дистальной (деформируемой) и базальной (недеформируемой) частями — широко распространенная тенденция в эволюции крыльев подобного типа.

К типу В принадлежат только задние крылья. Судя по всему, такие крылья возникли из крыльев типа А; область, соответствующая клавише крыльев типа А, превратилась в широкий, мягкий и гибкий складывающийся веер на заднем крае крыла, поддерживаемый жилками, расходящимися от корня крыла. Для таких крыльев, как и для крыльев типа А, характерен сильно укрепленный ведущий (передний) край. Подобные крылья, способные лишь к небольшому закручиванию, встречаются по большей части у насекомых с весьма ограниченным набором летных режимов, а именно у прямокрылых, палочников, богомолов, большинства веснянок, многих ручейников. В то же время подобное крыло идеально подходит для продольного прогиба («радиальный прогиб») при схлопывании (сведении) крыльев в верхней точке взмаха и их постепенном разведении, как это имеет место в двух описанных выше механизмах полета. Уже показано, что некоторые сверчки, саранчи, богомолы и клопы широко применяют эти приемы при переходе от маха вверх к маху вниз.

Есть и еще один гениальный трюк, возможно, весьма обычный для крыльев типа В, но пока надежно зарегистрированный мною лишь на саранче. Веерообразные задние крылья саранчи гофрированы, а складки поддерживаются многочисленными продольными жилками, идущими по гребню и по дну каждой складки. В покое вся конструкция собирается подобно обычному дамскому вееру. При махе вниз крыло выбрасывается вперед и складки расправляются, раздвигая веер. Крыло продолжает расправляться, и тут происходит то же, что случается при раскрытии зонтика: внешний край крыла направляется немного внутрь, сжимая продольные жилки, которые от этого прогибаются подобно спицам зонтика.

«Эффект зонтика» имеет два основ-

ных следствия. Во-первых, происходит фиксация свободного (заднего) края крыла, что предохраняет его от дрожания в набегающем воздушном потоке. Во-вторых, образуется легкий прогиб крыла, из-за чего несущая плоскость работает с большей отдачей. При махе вверх крыло просто-напросто частично отводится назад, площадь складывающегося веера сильно сокращается, прогиб исчезает, и создается столь необходимая для устойчивого полета асимметрия сил.

Для крыльев типа С, как и для предшествующего типа, характерен сильно укрепленный ведущий (передний) край и мягкий, гибкий свободный (задний). Однако, в отличие от крыльев типа В, данный тип приспособлен для закручивания всей крыловой пластинки, так что подъемная сила генерируется как при опускании, так и при подъеме крыла. Скручивание крыла открывает пути к медленному или даже стоящему полету (зависанию). Большинство форм с наиболее совершенным полетом и медленно летающие насекомые имеют крылья этой категории. Самые выдающиеся представители насекомых с крыльями типа С — мухи и стрекозы; тех и других мы много изучали в нашей лаборатории. Оказалось, что их крылья — настоящие миниатюрные шедевры технической изобретательности.

Будь крылья этого типа простыми гибкими перепонками, закрепленными только на переднем крае, они просто трепались бы по ветру как флажки, стремясь выправиться параллельно воздушному потоку и не создавая никаких полезных сил. Естественно, в природе ничего подобного не происходит: отсутствие у крыльев жесткой опоры сзади дало возможность развиться целому набору изящных внутренних механизмов, автоматически поддерживающему оптимальный прогиб и угол атаки в непосредственной зависимости от аэродинамической нагрузки.

Лет 16 назад Р. Норберг из Гётеборгского университета (Швеция) впервые обратил внимание, что крылья этого типа особенно нуждаются в защите от колебаний по ветру. Он показал, что птеростигма (заполненная жидкостью, часто выделяющаяся пигментацией полость недалеко от вершины переднего края крыла многих насекомых) у стрекоз (а может быть, и у многих других форм) действует как противовес, гасящий колебания крыла.

Энно, изучавший мух, обнаружил еще несколько таких механизмов. Во всех этих приспособлениях использо-

вано то обстоятельство, что лонжерон переднего края, несмотря на сопротивление изгибу, способен к некоторому закручиванию. От этого лонжерона отходят несколько жилок, направленных косо назад и к кончику крыла. Энно показал, что аэродинамическая сила, действующая на крыло позади оси закручивания и стремящаяся придать ему форму обычной лопасти пропеллера, закручивает передний лонжерон и приподнимает косые жилки, что автоматически создает прогнутый профиль крыла. Более того, сами косые жилки тоже оказываются закрученными вокруг своей оси, как если бы они были искривлены (у многих стрекоз так оно и есть), их концы отклоняются вниз, тем самым опуская и поддерживая задний край крыла, за счет чего прогиб последнего еще более усиливается. Энно и Ньютон открыли в крыле стрекоз и другие механизмы, основанные на простой системе рычагов, опускающей задний край крыла, когда аэродинамическое давление поднимает жилки в середине крыла. Все эти механизмы работают независимо от того, действуют ли на крыло силы с вентральной (брюшной) стороны, как при опускании, или с дорсальной (спинной), когда крыло перекачивается полностью для взмаха вверх. Таким образом, они идеально подходят насекомым, которые переворачивают крыло и обращают прогиб в другую сторону.

Крылья мух и стрекоз не имеют сцепления, но примерно такие же результаты получены и при изучении насекомых, имеющих небольшие гибкие задние крылья, жестко сцепленные с задним краем редуцированного клавиша — видоизмененного переднего крыла типа А с разросшейся дистальной областью (перепончатокрылые, бабочки-бражники, некоторые клопы). Как и крылья типа С, составные плоскости, образованные подобным способом, имеют жесткую опору по переднему краю и гибкий задний край. Они могут закручиваться почти по всей длине, чему способствует, как правило, небольшой поперечный перегиб. Обладатели таких крыльев — по большей части летуны-виртуозы высокого класса.

Что же можно в свете вышеизложенного сказать насчет тех ископаемых цикад, что так заинтриговали меня в бытность студентом-старшекурсником? Связь между конструкцией крыла и совершенством полета в значительной степени проявилась. У более древней формы из Австралии крыло относится к классическому типу А с его хорошо выра-

женным поперечным изгибом, который, возможно, позволял крылу при подъеме вверх хотя бы немного закручиваться и придавал полету определенную маневренность. Однако, ширина переднего крыла и не столь крупное, но очень широкое заднее крыло напоминают нам дневных (и ряд ширококрылых ночных) бабочек, использующих иные, не совсем пока понятные механизмы.

С большей уверенностью можно судить о более позднем насекомом, отпечатки которого были найдены в Испании. По разные стороны линии поперечного перегиба текстура крыла различна и показывает деление на опорную и деформируемую зоны. Смещение основных опорных элементов крыла к переднему краю сопровождается тем, что крыло приобретает треугольную форму. Эти изменения, наряду с редуцией клавиша и косым расположением линии перегиба и уменьшением заднего крыла явно повторяют эволюционные тенденции и внешний вид крыльев многих ос, бражников, тлей и поденок. Все перечисленные насекомые часто прибегают к медленному, почти зависающему полету, который обеспечивается биением сцепленных крыльев в горизонтальной плоскости с сильным вы-

ворачиванием крыловой пластинки. Цикада из Испании была хорошо приспособлена к полету совершенно иного типа, абсолютно недоступного австралийской цикаде.

Чем лучше мы понимаем работу крыльев насекомого, тем большее восхищение вызывает тонкость и изящество их конструкции. Аналогии с парусами кажутся теперь не слишком уместными. Крылья могут быть представлены теперь как система гибких несущих плоскостей, в определенном смысле занимающей промежуточное положение между конструкциями и механизмами, как их понимают инженеры. Конструкциями принято называть то, что по замыслу должно как можно меньше деформироваться; механизмы же проектируют так, чтобы их части двигались неким заранее намеченным образом. В строении крыла насекомых присутствуют одновременно оба эти принципа: здесь используются материалы с самыми разными упругими свойствами, остроумно соединенные с таким расчетом, чтобы в ответ на определенные силы возникали соответствующие деформации и воздух использовался бы с наибольшей отдачей. Ничего подобного человеческая мысль пока не создала.

## Вниманию читателей!

### КРАСОТА И МОЗГ. БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭСТЕТИКИ

Под ред. И. Ренчлера, Б. Хериберга, Д. Эпстайна.  
Перевод с английского

В книге международного коллектива авторов (ФРГ, США, Канада, Япония, Италия, Швейцария) рассматриваются нейрофизиологические основы эстетики: роль временной организации мозговых процессов в формировании эмоциональных реакций на поэзию, музыку, танец; зрительное восприятие и зависимость эстетической оценки от некоторых параметров зрительного изображения; значение латерализации функций левого и правого полушария для художественного творчества. По данным изучения папуасов Новой Гвинеи рассмат-

риваются биологическое и эстетическое значение декорирования тела человека и другие вопросы.

Для нейрофизиологов, антропологов, психологов, искусствоведов.

Академик П.В. Симонов: «Книга представляет собой коллекцию работ, в которых предпринята попытка рассмотреть некоторые проблемы эстетики, опираясь на последние достижения нейрофизиологии. По сути дела, речь идет о возникновении новой научной дисциплины, которая в предисловии редакторов книги названа нейроэстетикой».

1992 г. 23 л. Цена 4 р. 60 к.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической книги после поступления аннотированного плана издательства на 1992 г.



# ВНИЗ ПО ШКАЛЕ РАЗМЕРНОСТЕЙ

Элизабет Керноран

МИНИАТЮРНЫЕ ЛАЗЕРЫ, ИЗЛУЧАЮЩИЕ С ПОВЕРХНОСТИ, высотой 6 мкм и диаметром в основании 1 мкм, состоят каждый более чем из 30 зеркальных пар арсенида алюминия и арсенида галлия. Свет испускается и усиливается квантовой ямой, расположенной в середине стопки. Зеркала захватывают свет и создают многократные отражения внутри стопки.

Эти лазеры изготавливаются путем протравливания слоистой полупроводниковой пластины ионным пучком с применением вспомогательных химических методов. Прежде чем можно будет испытать показанные на рисунке устройства, эти структуры должны пройти дополнительную обработку, включая введение тонких металлических контактов в верхнюю часть каждого лазера. Микролазеры, созданные в Bell Communications Research, могут испускать пучок инфракрасного света мощностью несколько милливатт через прозрачную подложку в их основании.

Кусочки материалов, в которых движение электронов ограничивается в области с числом измерений меньше трех, могут стать основой для следующего поколения электронных и оптических устройств.

Поздний вечер в пятницу в Ред-Бэнке (шт. Нью-Джерси). Стих шум в большинстве коридоров фирмы Bell Communications Research (Bellcore). В большой лаборатории, оставшись в одиночестве, молодая женщина изучает кривые, светящиеся флуоресцирующим зеленым светом на экране компьютера. Позади сине-зеленый луч света из аргонового лазера зигзагом проходит через систему линз на столе и исчезает во входном отверстии цилиндра из нержавеющей стали, куда из окутанной паром и обледеневшей трубы подается жидкий гелий. Там, внутри камеры, охлажденной до температуры ниже 5 К, луч попадает прямо в цель: микроскопическую крупинку, расположенную в центре плоского черного квадрата, который сам имеет размеры не более нескольких миллиметров. Возбуждаемая сине-зеленым светом лазера крупинка отвечает красным свечением.

Эта игра света очень интересует Марию Брэйзил, хотя и сидящую спиной к установке. Сколько света испускает крупинка? На какой длине волны? Ответы — в медленно накапливающихся данных, изображаемых в виде графиков на экране компьютера. То, что видит Брэйзил, обрадует ее коллег: крупинка испускает свет точно на заранее предсказанной частоте.

Созданный в Bellcore миниатюрный, меньше песчинки, излучатель красного света — предвестник новой эры электронных и оптических материалов, а точнее «квантовых» устройств. За последние несколько лет технология наблюдения и манипулирования веществом на атомном уровне развивалась поразительными темпами. В апреле этого года исследователи из Алмаденского исследовательского центра корпорации IBM в Сан-Хосе (шт. Калифорния), используя растровый туннельный микроскоп, даже выложили название своей компании из атомов ксенона.

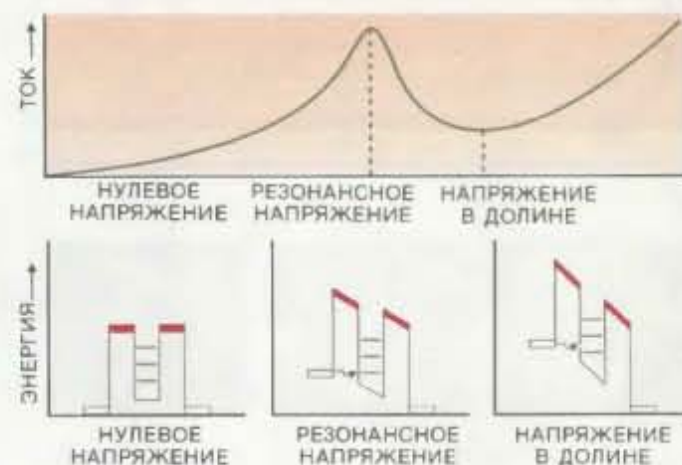
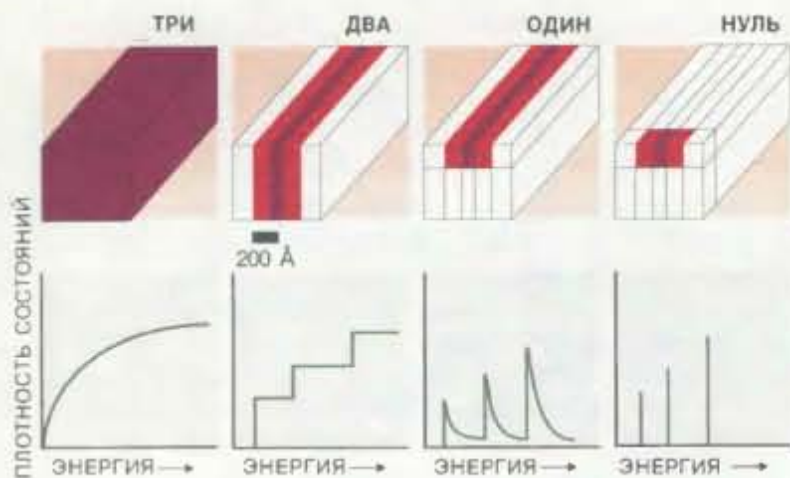
Хотя перенос отдельных атомов все еще остается не более чем лабораторным экспериментом, укладка тончайших пленок из атомов стала серьезным делом. Точно управляя структурой и составом слоев материалов толщиной в один—два атома, ученые могут заранее задавать нужные электронные характеристики соединений. «Вы словно держите руки на пульте управления природой», — говорит Марк Рид, профессор электротехники из Йельского университета.

Красная крупинка в Bellcore, например, представляет собой сложную башню из слоев полупроводников: селенида и теллурида цинка. Толщина каждого слоя не больше 20 Å — несколько сот тысячных толщины волоса. Поскольку толщина этих волокон меньше характеристической длины волны электрона, последние захватываются ими.

## УМЕНЬШЕНИЕ РАЗМЕРНОСТИ

Размерностные свойства материала можно уменьшить, расположив его между двумя слоями другого материала, имеющего электроны с большей энергией. Эта операция приводит к изменению плотности электронных состояний или определенных энергетических уровней, которые будут заполнены поступающими электронами (слева).

Ток, проводимый устройством с квантовой ямой, показанной зелеными энергетическими уровнями (справа), достигает пика, когда энергетический уровень поступающих электронов совпадает или резонирует с каким-либо уровнем квантовой ямы. При более высоких или низких напряжениях через устройство протекает небольшой ток.



Удерживаемые в этих слоях электроны теряют одну степень свободы: тонкие плоскости в светоизлучателе Bellcore имеют для них только два измерения. Можно и дальше уменьшать «размерность» материала. Узкая полоска, вырезанная из плоскости, становится одномерным проводом. Нарезание одномерного провода приводит к предельному уменьшению: нульмерным точкам.

Уменьшая число измерений материала, вы заставляете электроны переходить в другие энергетические состояния. Создание материалов, где электроны находятся в этих необычных энергетических состояниях, составляет суть исследований по созданию квантовых устройств. Управляя физическими размерами структуры, исследователи могут определенным образом изменять энергию электронов. Этим способом можно в буквальном смысле выбирать нужные электронные свойства или как бы настраивать их. Чем меньше размерность, тем точнее настройка. Нульмерная, или квантовая, точка рассматривается как аналог атомов, сконструированных на заказ.

Эта современная алхимия открывает путь для создания электронных и оптических устройств, принципиально отличающихся от существующих. Вместо простых двоичных электронных переключателей типа «выкл-вкл», используемых сейчас в компьютерах, разработчики надеются изготовить устройства на переключателях с большим числом состояний и соединить их так, чтобы они работали параллельно. Такие устройства могли бы обеспечить более мощные формы

компьютерной логики и стать строительными элементами интегральных схем очень малых размеров и исключительно высокого быстродействия. Некоторые исследователи даже говорят с энтузиазмом о «суперкомпьютере на одном кристалле».

Другой целью являются высокоэффективные миниатюрные лазеры, которые могли бы передавать по волоконно-оптическим сетям значительно больше данных, чем сейчас. Такие «пожарные шланги» могли бы перекачивать колоссальные объемы видео-, компьютерных и телекоммуникационных услуг и данных на рабочие места и в дома. А объединение таких электронных устройств и лазеров помогло бы реализовать давнюю мечту: изготовить электронно-оптические схемы, объединяющие электроны и фотоны, как более мощные и быстродействующие компоненты для компьютеров и телекоммуникационных сетей.

Bellcore далеко не одинока в своем поиске квантовых устройств. Национальный научный фонд США финансирует исследовательский центр Калифорнийского университета в Санта-Барбаре, занимающийся проблемами квантового удержания (конфайнмента). Среди других фундаментальных вклад в эту область внесли IBM и AT&T Bell Laboratories. Больших успехов достигли также исследователи в Германии, Великобритании, Франции и, конечно, Японии. Ключевой вопрос, с которым сталкиваются все поголовно, — это как ввести новые материалы — квантовые ямы, провода и точки — в рабочие устройства.

## Нарезание размерностей

На полу кабинета Лероя Чанга в Исследовательском центре им. Уотсона фирмы IBM в Йорктаун-Хейтсе (шт. Нью-Йорк) лежит стопка аккуратно уложенных рядов манильской пенки, отдаленно напоминающая матрицы слоев атомов, с которыми он и его коллеги — Лео Есаки и Рафаэль Цу — начали работать с конца 60-х годов. Их цель: построить структуры, которые бы захватывали электроны в средах с ограниченной размерностью. «Заприте электрон в двух измерениях, — говорит Чанг, — и все изменится».

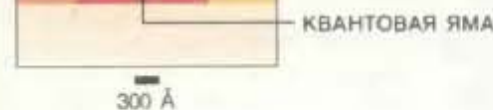
Материалы, которые естественным образом удерживают электроны, давно занимали умы ученых. Графит — электропроводящий органический материал — состоит из стопок двумерных листов атомов углерода. В высокотемпературных керамических сверхпроводниках, таких, как оксид лантана—меди, двумерные плоскости атомов меди и кислорода перемежаются плоскостями других атомов (см. статью: Р. Кава. Сверхпроводящие керамики. «В мире науки», 1990, № 10).

Чтобы построить материал с меньшей размерностью, исследователи должны обратиться к квантовой механике. В любом трехмерном (объемном) полупроводнике в результате приложения электрического поля электроны занимают сплошной спектр состояний с различной энергией. Поэтому исследователи не могут воспользоваться каким-либо определенным энергетическим уровнем: они должны брать то, что имеется.

## ДВА ИЗМЕРЕНИЯ: КВАНТОВАЯ ЯМА

Включение одиночной квантовой ямы (слева) в лазерный диод (справа), построенный в Spectra Diode Laboratories, повышает КПД лазера. Внешние легированные слои инжектируют в квантовую яму электроны (отрицательные заряды) и дырки

(положительные заряды), которые там рекомбинируют и испускают фотоны (кванты света). Поскольку квантовая яма содержит меньше алюминия, чем окружающие слои, она является материалом с более узкой запрещенной зоной.



- АРСЕНИД ГАЛЛИЯ
- АРСЕНИД АЛЮМИНИЯ-ГАЛЛИЯ
- ОТРИЦАТЕЛЬНО ЛЕГИРОВАННЫЙ АРСЕНИД АЛЮМИНИЯ-ГАЛЛИЯ
- ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЛЕГИРОВАННЫЙ АРСЕНИД АЛЮМИНИЯ-ГАЛЛИЯ

В квантовомеханической теории электроны трактуются и как частицы, и как волны. При сжатии одной стороны трехмерного куба до толщины, не превышающей длины волны электрона, последний удерживается в двумерной плоскости. В двух измерениях так называемая плотность электронных состояний (энергетические уровни, которые могут занимать электроны) квантуется. Электроны переходят с одного энергетического уровня на другой скачкообразно. Изучая, какая толщина слоя какой энергетический уровень порождает, исследователи могут проектировать точные электронные характеристики материала.

На самом деле электроны задерживаются не физическими барьерами: вместо них приходится воздвигать барьеры из энергии. Подобно воде, стекающей с холма, электроны стремятся в области с низкой энергией. Поэтому для захвата электронов надо поместить материал, содержащий низкоэнергетические электроны, между двумя слоями материалов с высокоэнергетическими электронами.

Энергия электронов описывается зонной теорией. Валентные, или внешние, электроны каждого атома заполняют определенные энергетические зоны. Атомы металлов имеют лишь небольшое число валентных электронов низкой энергии и легко обмениваются этими электронами. Поэтому металлы являются хорошими проводниками.

Полупроводники и диэлектрики имеют больше валентных электронов и плохо проводят ток. Передача по-

лупроводнику небольшого количества энергии приводит к тому, что некоторые валентные электроны переходят на уровень с большей энергией — в так называемую «зону проводимости» — и материал начинает проводить ток. Энергия, необходимая для переноса электрона из одной зоны в другую, равна ширине запрещенной зоны, т. е. разности уровней энергии валентной зоны и зоны проводимости. Поскольку для возникновения проводимости полупроводники нуждаются в слегка различных количествах дополнительной энергии, у одних полупроводников запрещенные зоны более широкие, а у других более узкие. Изоляторы, требующие огромной энергии для перевода валентных электронов в зону с более высокой энергией, имеют наиболее широкие запрещенные зоны.

Основываясь на этих идеях, исследователи из IBM и AT&T попытались доказать, что они могут запереть электроны. Исаки, Цу и Чанг начали с того, что рассмотрели чередование нескольких слоев арсенида галлия со слоями арсенида алюминия—галлия — соединения с более широкой запрещенной зоной. У сотрудников AT&T цель была проще: поместить тонкий слой материала с узкой запрещенной зоной между двумя слоями материалов с более широкой запрещенной зоной, создав тем самым квантовую яму.

Усилия обеих групп омрачались бесчисленными техническими проблемами. Прежде всего, как уложить ровный слой материала толщиной всего в несколько атомов? «Нам при-

шлось самим построить вакуумную систему для осаждения тонких слоев», — вспоминает, вздыхая, Чанг. Столь же хлопотными были контроль за загрязнением подложки и выравнивание кристаллических решеток материалов.

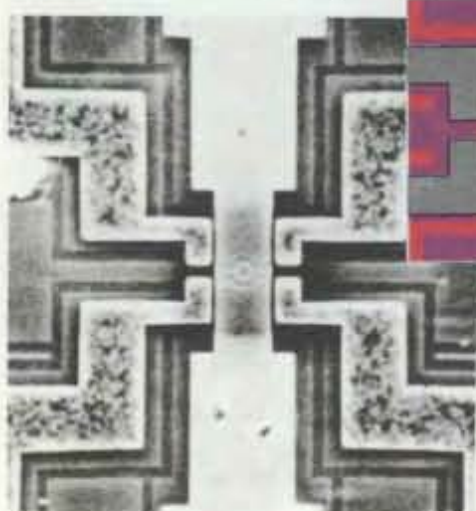
В 1974 г., однако, исследователей ждал успех. Сотрудники IBM продемонстрировали материалы, имевшие заранее предсказанные ступенчатые энергетические уровни, характерные для квантового удержания. Реймонд Дингл и его коллеги из Bell Laboratories в Мюррей-Хилл (шт. Нью-Джерси) построили одиночную квантовую яму, направили на нее свет лазера и обнаружили, что новый материал поглощает свет на разных, но предсказанных частотах — дополнительное указание на квантовое удержание. Вскоре после того Есаки и Чанг построили первое реальное устройство на квантовой яме — резонансный туннельный диод.

## Баллистические транзисторы

Некоторые исследователи подошли к использованию уменьшенной размерности с другой стороны, занявшись двумерными электронными газами (2МЭГ), в которых электроны захватываются на горизонтальной границе раздела между слоем материала с малой шириной запрещенной зо-

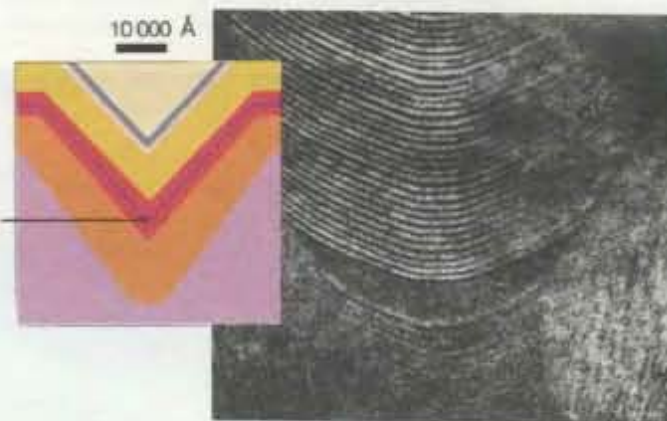
## ОДНО ИЗМЕРЕНИЕ: КВАНТОВЫЙ ПРОВОД

Прозрачный слой металла покрывает виток квантового провода, сделанного в фирме IBM, который используется для проведения электрических измерений в магнитном поле (слева). Квантовые провода, изготовленные в Bellcore, формируются в нижней точке V-образного желоба в составном полупроводнике (справа).



КВАНТОВЫЙ ПРОВОД

25 000 Å



- АРСЕНИД ГАЛЛИЯ
- АРСЕНИД АЛЮМИНИЯ-ГАЛЛИЯ
- ОТРИЦАТЕЛЬНО ЛЕГИРОВАННЫЙ АРСЕНИД ГАЛЛИЯ
- ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЛЕГИРОВАННЫЙ АРСЕНИД ГАЛЛИЯ
- ОТРИЦАТЕЛЬНО ЛЕГИРОВАННЫЙ АРСЕНИД АЛЮМИНИЯ-ГАЛЛИЯ
- ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЛЕГИРОВАННЫЙ АРСЕНИД АЛЮМИНИЯ-ГАЛЛИЯ
- МЕТАЛЛ

ны и слоем, содержащим дополнительные заряды. На этих материалах исследователи изучали сложные явления, а именно квантовый и дробный эффекты Холла (см. статью: Клаус фон Клиффинг. Квантовый эффект Холла, «В мире науки», 1986, № 6). В точно построенных 2МЭГах электроны могут пролетать относительно большие расстояния до столкновения с атомом или дефектом, что позволяет инженерам создавать «баллистические» транзисторы, т. е. транзисторы с «высокой подвижностью электронов».

Такие 2МЭГи являются основой самых быстродействующих транзисторов. (Правда, наивысшие скорости достигаются при температуре всего несколько градусов Кельвина.) В отличие от квантовых ям, в которых электроны прокладывают дорогу сквозь несколько вертикально расположенных слоев, в 2МЭГах они должны оставаться в горизонтальной плоскости. Это обстоятельство накладывает ограничение на типы устройств, которые в принципе могут быть построены.

К квантовым ямам и суперрешеткам, которые представляют собой специально сконструированные группы квантовых ям, исследователи вернулись в начале 80-х годов, вооруженные теперь уже высокоточными инструментами для их изготовления. Среди самых мощных орудий были машины для эпитаксии молекулярными пучками (ЭМП).

Сердцем современной машины для ЭМП служит камера сверхвысокого вакуума, которая позволяет исследо-

вателям осаждать на полупроводниковой подложке слой атомов толщиной всего 2 Å. К вакуумной камере, как спицы к втулке колеса, подсоединены три-четыре канала, ведущие к эффузионным ячейкам. В этих ячейках испаряются такие элементы, как галлий или алюминий, которые затем направляются по каналам на подложку. Пользуясь затворами между каналами и вакуумной камерой, ученые могут регулировать толщину осаждаемых слоев. Для выращивания на одной пластине из арсенида галлия слоев полупроводника толщиной около 8 мкм требуется в общей сложности целый день.

По сравнению со следующим шагом, однако, выращивание слоев является достаточно бесхитрым процессом. Чтобы воспользоваться квантовыми ямами, исследователи пытаются вырезать или формовать устройства, такие, как лазеры, из уложенных стопкой слоев материала. (Полупроводники, испускающие свет при подпитке их энергией света или электричества, можно использовать в качестве лазеров.)

Для этой цели старший научный сотрудник Bellcore Эдвард Клаузен приспособил машину для ионно-лучевого травления, применяя дополнительно химические методы. Используя литографический процесс, Клаузен печатает шаблон на пластине. Затем он помещает ее в устройство для травления, заполненное для ускорения травления газообразным хлором, и бомбардирует пластину ионами. Теоретически, ионы должны разрушать весь незащищенный материал, оставляя защищенную область нетронутой. На практике, однако, ионы необратимо повреждают и саму пластину.

Клаузен со своими коллегами провел массу времени в попытках вырезать микроскопические лазеры из не-

скольких квантовых ям. Эти усилия не пропали даром. В начале 1990 г. объединенная группа Bellcore и AT&T уже фигурировала в заголовках газетных статей: ученые создали путем травления почти два миллиона лазеров на площади меньше квадратного сантиметра. В отличие от обычных полупроводниковых лазеров, испускающих свет из торца, эти лазеры светят с верхней или нижней поверхности.

Включение квантовой ямы в лазер дает большое преимущество: такое устройство может давать свет очень экономно, при подпитке гораздо меньшим током, чем в обычных лазерах. Как следствие, квантовые лазеры излучают гораздо меньше избыточного тепла. Такое свойство в сочетании с малыми физическими размерами лазеров означает, что эти устройства можно плотно упаковывать вместе. Благодаря этому поверхностные излучатели, включающие квантовые ямы, могут стать компонентами электронно-оптических устройств, объединяющих лазеры и транзисторы, которые работают совместно на одном кристалле или печатной плате.

Конни Чанг-Хасани из Bellcore изучает другие способы применения таких лазеров в технике связи. На не-

## ПОЛИМЕРЫ, ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ В ОДНОМ ИЗМЕРЕНИИ

Был 1975 г., и Алан Макдайрмид, химик из Пенсильванского университета, приглашенный в Токийский технологический институт, только что прочитал там лекцию. Хозяйка позвала его на чашку зеленого чая, а затем взяла с собой в поездку. В лаборатории Хидеки Сиракавы новозеландец увидел восхитившую его серебристую пленку. «Я никогда не видел серебряного полимера, — вспоминает Макдайрмид. — А этот выглядел очень привлекательно. И я пригласил Сиракаву работать в нашей лаборатории».

Специалисты по химии полимеров не искали специально одномерных электронных систем, но нашли их в полимерных пленках Сиракавы. Эти материалы оказались новой формой полиацетилена — обычного полимера с углеродной цепью, в которой каждый атом углерода связан с атомом водорода. Как и большинство органических соединений, полиацетилен — изолятор; его атомы, связанные простыми ковалентными связями, имеют полный набор валентных электронов, не оставляющих места для дополнительных электронов, которые бы переносили ток. Но при синтезе этого материала Сиракава случайно создал полимерную пленку с полезной структурой связей между атомами, а именно чередующимися двойными и одинарными связями, и тем самым проложил дорогу электронам.

Вскоре Макдайрмид, Сиракава и вместе с ним Алан Хигер (также работавший в ту пору в Пенсильванском университете) попробовали проводить допирование полимерных пленок, добавляя или удаляя электроны. Таким способом они создали энергетические зоны между валентной зоной и зоной проводимости. В результате серебряные пленки приобрели золотистый оттенок и стали проводниками.

Впоследствии исследователи нашли семейства других электропроводящих полимеров, таких, как полианилин, который содержит атомы азота в основной цепи, и политиофен, который содержит серу (см. статью: Ричард Б. Канер, Алан Г. Макдайрмид. Электропроводящие полимеры, «В мире науки», 1988, № 4).

**МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ «ПИНЦЕТЫ».** Физические характеристики этих полимеров, а именно то, что они являются исключительно легкими проводниками, вызвали огромный интерес. Среди первых предложений по их использованию были легкая обшивка самолетов и автомобильные батареи. Поскольку добавление и удаление электронов из электропроводящих полимеров превращает их из проводников в изоляторы, из этих материалов были построены электрические аккумуляторы.

Добавление и удаление примесей изменяет также на целых 10% длину проводящих полимеров. Реймонд Бофман из Allied-Signal предвидит использование проводящих полимеров в качестве эффективного средства преобразования электрической энергии в механическую. Он и его сотрудники уже построили микроприводы, в частности микроскопические пинцеты для захвата объектов микронных размеров.

Использование возможностей, предоставляемых квазиодномерной структурой полимера, потребовало, однако, больше времени. Исследователи до сих пор гадают, как полимеры переносят заряд и как улучшить эту проводимость. Они знают, что электроны движутся вдоль полимерной цепи — одномерного провода — пока не сталкиваются с дефектом или разрывом. Поскольку электро-

ны ведут себя как волны, при этом они отражаются двукратно в направлении, обратном их движению. Если электроны продолжают отражаться назад и вперед между двумя дефектами, они создают стоячую волну. В результате заряд оказывается «прикопленным» к одной области полимера и полная проводимость полимера уменьшается.

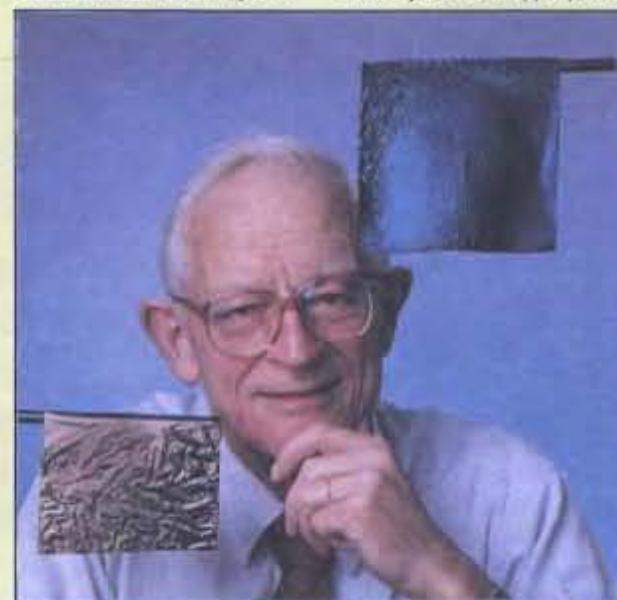
**«ПЕРЕПРЫГИВАНИЕ» МЕЖДУ ЦЕПОЧКАМИ.** Электроны могут избежать этой ловушки (при этом проводимость материала резко повышается), если они «перепрыгивают» на ближайшую полимерную цепь, прежде чем возникает стоячая волна. (Это перепрыгивание вбок и делает полимеры квазиодномерными системами.) Перепрыгивание электронов, подчеркивает Бофман, очень походило бы на туннелирование, которое осуществляют электроны, будучи запертыми в полупроводниках. Полная проводимость полимера должна зависеть от того, как далеко продвигаются электроны до столкновения с дефектами, а также от того, насколько легко они перепрыгивают от одной цепи к другой. Оба фактора связаны с концентрацией дефектов вдоль полимерной цепи.

Некоторые полимеры обнаруживают интересные оптические характеристики; они могут передавать свет от лазера. А вследствие особенностей обобществления электронов полимерами повышение интенсивности света будет приводить к изменению оптических свойств материала.

**СВЕТОВЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ.** Некоторые исследователи надеются использовать этот прием для создания полностью оптических переключателей, в которых свет используется для управления светом. Шахаб Этемад из Bellcore разрабатывает один такой полимерный переключатель на основе двух идентичных нитей полидиацилетилен, идущих параллельно друг другу в куске стекла. Линии, толщина которых не превышает длины волны передаваемого ими света, представляют собой спаренные волноводы. В результате, если пустить лазерный свет низкой интенсивности вдоль одной линии, этот свет будет осциллировать вперед-назад между этими двумя линиями.

Чтобы превратить эти волноводы в переключатель, Этемад повышает интенсивность лазерного света, что немедленно изменяет коэффициент преломления верхней линии. Это делает линии уже неидентичными, и волноводы разъединяются. С высокой точностью укорачивая линии, Этемад добивается того, чтобы в верхней линии возник свет только высокой интенсивности, а в нижней — только низкой. Время «включения» (или «выключения») одной полимерной нити равно всего лишь длительности одного фемтосекундного лазерного импульса ( $10^{-15}$  с), это намного меньше, чем у любого полупроводникового переключателя. «Я не говорю, что он будет использоваться в телефонной системе завтра», — говорит Этемад. Но по крайней мере в лаборатории переключатель ведет себя неплохо.

Как и в случае с полупроводниками, возможность улучшить проводящие и оптические свойства полимеров зависит от того, насколько легко можно будет обрабатывать материалы и насколько точно — регулировать их электрические свойства. Бофман подчеркивает: «Мечта о будущем — о легко обрабатываемых проводящих полимерах — зависит от нашей способности манипулировать дефектами и увеличивать силу взаимодействия между цепочками».

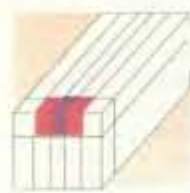


АЛАН МАКДАЙРМИД был одним из первых разработчиков электропроводящих полимеров. Допированный полианилин (справа) будет проводить ток; недопированный образец (слева) не будет.

## НУЛЬ ИЗМЕРЕНИЙ: КВАНТОВАЯ ТОЧКА

Исследователи из AT & T строят точки с помощью вакуумного процесса *in situ* (слева на этой странице). Литографически задаваемые точки, построенные в IBM, могут использоваться как конденсаторы. В этих устройствах электроны удерживаются на границе между слоями арсенида алюминия-галлия и арсенида галлия (справа на этой странице). Набор точек, созданный в Texas Instruments (слева на следующей

странице), может использоваться в качестве транзисторов. Химики изготавливают точки путем захвата кластеров атомов (таких как кадмий, показанный оранжевым цветом, и сера, показанная желтым цветом) в цеолитовых клетках, как иллюстрирует компьютерное изображение, построенное Г. Стаки из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре (справа на следующей странице).



- АРСЕНИД ГАЛЛИЯ
- АРСЕНИД АЛЮМИНИЯ-ГАЛЛИЯ
- ОТРИЦАТЕЛЬНО ЛЕГИРОВАННЫЙ АРСЕНИД ГАЛЛИЯ
- ФОСФИД ИНДИЯ
- АРСЕНИД ИНДИЯ-ГАЛЛИЯ
- МЕТАЛЛ

большом видеомониторе над ее лабораторным столом видна неподвижная картинка столбцов миниатюрных лазеров на квантовых ямах. Каждый окружен металлической контактной площадкой. Веретенообразные металлические зонды, похожие на огромных москитов, покоятся на трех из контактных площадок лазеров. Чанг-Хаснаин осторожно накачивает в зонды ток в несколько миллиампер. «Они легко могут лопнуть», — объясняет она. Результат виден на другом дисплее компьютера: это три отдельных пика света.

Данные Чанг-Хаснаин показывают, что каждый из лазеров испускает свет с разными частотами. Тщательно регулируя вращение полупроводниковой подложки в ходе процесса ЭМП, она и ее коллеги вырастили микроскопический «лес» лазеров. Поскольку каждое из устройств имеет слой слегка разной толщины, оно является уникальным. Наилучший из полученных результатов, по мнению Чанг-Хаснаин, — это матрица из 77 лазеров, каждый из которых может передавать данные на собственной частоте. По ее словам, такое объединение лазеров в волоконно-оптическую линию «было бы равносильно добавлению к системе кабельного телевидения нескольких тысяч каналов».

И все же, как предупреждает Поль Л. Гурли из Sandia National Laboratories в Альбукерке, задача объединения оптических и электронных компонентов не стала простой. Гурли, который также строит матрицы лазеров с поверхностным излучением, согласен, что эти устройства должны обладать высокой эффективностью. Но

соединение миниатюрных лазеров с оптическими волокнами потребует очень высокой точности, подчеркивает он. Кроме того, по его мнению, поскольку световые волны остаются в фазе или имеют большую длину когерентности, чем волны электронов, изготовление объединенных электронно-оптических компонентов может оказаться крайне трудным делом.

### Практические размеры

Умы других исследователей занимают более сложные проблемы, связанные с изготовлением лазеров. «Еще год назад делать их было чертовски трудно», — говорит Энн К. фон Леман, еще один член группы из Bellcore. Превращение же лабораторных прототипов в надежные приборы для массового производства потребует дополнительной весьма кропотливой работы.

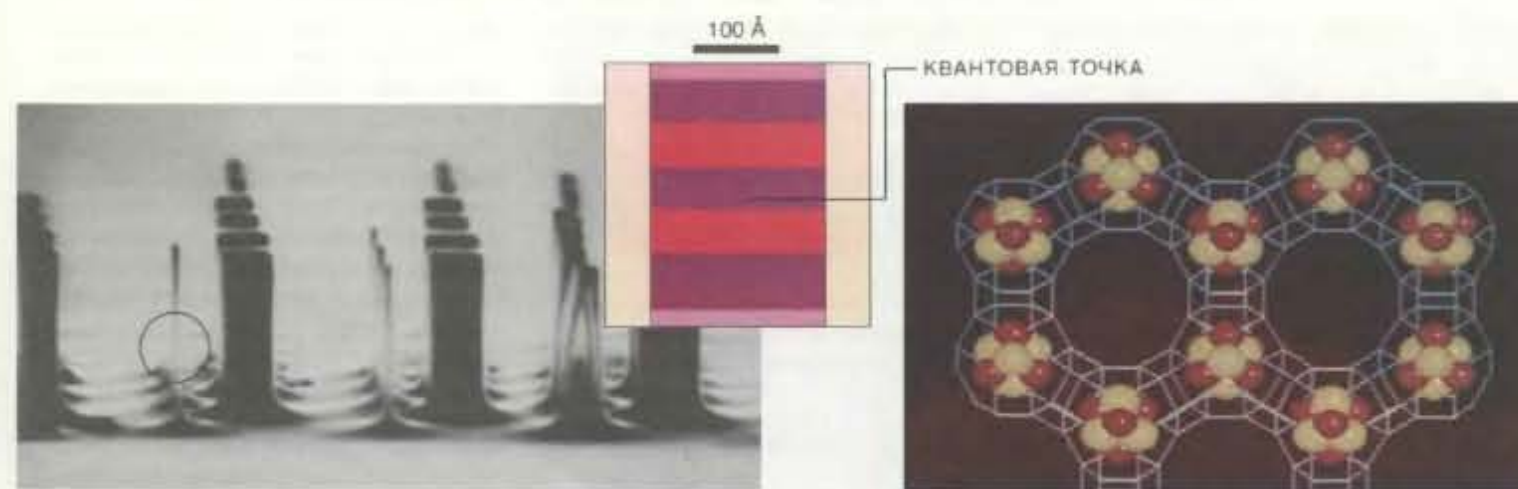
Для примера: после полутора десятков лет исследований лишь немногие лазеры на квантовых ямах дошли до рынка. Один из них — это лазер на одиночной квантовой яме, испускающий свет из торца, построенный специалистами Spectra Diod Laboratories в Сан-Хосе (шт. Калифорния). Это устройство мощностью 100 мВт может преобразовывать 60% электричества в свет — вдвое больше, чем аналогичные полупроводниковые лазеры. (Матрицы таких лазеров испускают больше света, но имеют меньшую суммарную эффективность.) Тем не менее такие лазеры должны строиться по одному.

Как и Клаузен из Bellcore, Джон Н.

Рэндалл из Texas Instruments в Далласе тратит большую часть своего времени на то, чтобы пробраться сквозь слой с квантовыми ямами. С одной существенной разницей: Рэндалл хочет делать транзисторы.

До сих пор изготовители интегральных схем процветали за счет постоянного уменьшения размеров кристаллов и построения все более миниатюрных транзисторов или переключателей. Но когда размеры схем приближаются к длине волны электрона, электроны начинают просачиваться из устройства, мешая его включению. По мнению Роберта Т. Бейта, начальника Рэндалла и директора программы квантовых работ в Texas Instruments, «первых реальных трудностей можно ждать в конце этого десятилетия», когда изготовители кристаллов начнут располагать схемы через 0,25 мкм или 2500 Å.

Рэндалл и его коллеги надеются обойти эту ловушку, используя квантовые эффекты для построения транзисторов с размерами, гораздо меньшими предельного в 2500 Å (см. статью: Роберт Т. Бейт. На пороге нового поколения транзисторов, «В мире науки», 1988, № 5). С этой целью они разрабатывают сложные устройства, являющиеся потомками первых резонансных туннельных диодов. Заслуживает упоминания одна успешная модель — BiQuaRTT, или «биполяр-



ный квантовый резонансный туннельный транзистор».

Все виды резонансных туннельных диодов и транзисторов работают по одним и тем же основным принципам, как говорит Рид, один из главных разработчиков BiQuaRTT, недавно перешедший из Texas Instruments в Йельский университет. Начнем с тонкого слоя квантовых ям, вложенного между двумя слоями равной толщины, но с большей шириной запрещенной зоны. Подадим напряжение. При большинстве значений напряжения высокие барьеры запрещенных зон не дают электронам пролететь через слой устройства, и устройство проводит небольшой ток.

Тем не менее, согласно законам квантовой механики, имеется некоторая вероятность того, что электроны могут «туннелировать» сквозь барьеры. Туннелирование можно облегчить путем подачи на устройство строго определенного напряжения. При определенных значениях напряжения энергия поступающих электронов соответствует энергетическим уровням квантовой ямы. В этом случае электроны туннелируют сквозь барьеры, и течет ток. «Это — как игра на флейте, — говорит Рид, — вы берете только те ноты, которые нужны».

Конечно, один транзистор — это не интегральная схема. (Некоторые интегральные схемы состоят из миллиона и более транзисторов.) Исследователям из Fujitsu удается соединить пять—шесть резонансных туннельных транзисторов последовательно с быстродействующими переключателями.

Ряд правительственных организаций в США финансируют несколько исследовательских групп, занимающихся разработкой более сложных схем и приборов. Среди них Texas Instruments. Ее сотрудники надеются, что примерно в течение следующих 30 месяцев BiQuaRTT сможет работать со сложной логикой и станет, таким образом, элементом схем, имеющих

на несколько порядков меньшие размеры, чем сегодняшние устройства. Кроме того, по словам Рэндалла, они хотят «воспользоваться странными характеристиками этих устройств». Поскольку туннелирование легко происходит при двух разных значениях напряжения, удалось «сделать устройство, которое выполняет переходы «выкл-вкл, выкл-вкл» при двух разных напряжениях. Теперь остается показать, что такой переключатель может заменить несколько традиционных транзисторов и что несколько BiQuaRTT'ов будут работать вместе.

Если два измерения обещают много, то одно или нуль измерений выглядят еще привлекательнее. Электроны меньше рассеиваются при движении по квантовым проводам, приобретая большую подвижность, что позволяет получить переключатели с большим быстродействием. Лазеры на квантовых проводах должны потреблять гораздо меньший ток и, таким образом, излучать меньше тепла, чем их двумерные аналоги.

### Полупроводники, похожие на проволоку

Это что касается теории. Для создания же квантовых проводов исследователи должны «оградить» материал с узкой энергетической щелью с четырех сторон барьерами с большей шириной запрещенной зоны, но достаточно тонкими, — толщиной около одной длины волны электрона, чтобы электроны могли туннелировать сквозь них по команде. Точное управление, необходимое для создания таких вертикальных стенок, осуществить сложно; это заставило некоторых исследователей прежде всего заново изучить, как создаются многослойные полупроводники.

В созданной четыре года назад Исследовательской лаборатории электронно-оптических технологий, расположенной примерно в часе езды на

северо-восток от Токио, в научном городке Цукуба, Тосиро Ису еще и еще раз просматривает черно-белую видеозапись. С января Ису регистрировал рост слоев галлия и мышьяка внутри вакуумной камеры, где происходит эпитаксия молекулярными пучками. На экране видно, как за несколько секунд образуются комки из миллионов атомов галлия, которые затем будто вливаются в существующие слои мышьяка. Ису интересуется, почему эти комки появляются в случайных местах и какое влияние они оказывают на однородность кристаллических слоев.

«Никто не знает, как на самом деле происходит эпитаксия молекулярными пучками, как объединяются слои галлия и мышьяка», — замечает Ицуо Хаяши, директор лаборатории и один из изобретателей полупроводникового лазера. По его мнению, чтобы научиться стандартным способом изготавливать такие устройства, как квантовые провода и точки, исследователи должны лучше понять, что происходит на атомном уровне во время эпитаксиального роста и травления.

Работа по созданию квантовых проводов и точек, тем не менее, продолжается. Многие исследователи проверяют те же методы, что используются для создания квантовых ям. Но поскольку квантовый провод или точка значительно меньше квантовой ямы, бомбардировка материала ионами может разрушить кристаллическую решетку.

Поэтому ищутся и другие подходы. «Вместо простого резания [протравливания полупроводника] нам надо использовать некоторые естественные свойства материала», — говорит Хаяши. Его группа пыталась регулировать края атомных слоев по мере роста материала в машине для ЭМП. Однако пока результат не достигнут.

Многие исследовательские группы проверяют другие способы. Пьер Петрофф, Артур Госсар и их коллеги из Калифорнийского университета в

Санта-Барбаре, например, выращивают квантовые провода в машине для ЭМП путем укладки элементов стопками, по одному атомному слою за один раз, на расположенных террасой ступеньках в полупроводниковой подложке. Метод дает вертикальные (а часто и наклонные) квантовые ямы размером  $50 \text{ \AA}$  по одной стороне, которые можно превратить в квантовые провода. Вся работа требует, однако, исключительной точности. Совсем недавно они пробовали непрерывно менять интервалы времени, в течение которых каждый атомный слой растет на поверхности, что-

бы получающиеся в результате слои вылезали вперед и назад, а не выстраивались в прямые или наклонные полосы. В этой «серпантинной суперрешетке» квантовые провода образуются на сгибах кривых, давая более однородные матрицы проводов, чем это позволяли первые методы.

Ведется и разработка вариантов травления. Эли Капон со своими коллегами из Bellcore создал V-образную бороздку в полупроводниковой подложке, затем осадил материал с меньшей шириной запрещенной зоны в основании V. Группа Капона даже построила лазеры, содержащие от од-

ного до трех квантовых проводов. Такие лазеры дают свет при подпитке током всего  $0,65 \text{ мА}$  при комнатной температуре.

В Штутгартском университете Б. Мэйл с коллегами нанес рисунок проводов на подложку с помощью пучков реактивных ионов, тщательно очистил эти провода химическим растворителем, а затем «захоронил» их, покрыв слоем полупроводникового материала с помощью метода осаждения, сходного с методом ЭМП и называемого эпитаксией из металлоорганической паровой фазы.

Тем не менее исследователи про-

должают спорить, дали ли эти или какие-либо другие методы отчетливое расщепление энергий электронов, которое должно характеризовать квантовый провод. Большинство этих проводов слишком толсты. Чем больше устройство, тем меньше расщепление энергии и тем труднее сказать определенно: да, это — квантовый провод.

### Нулевая зона

На конце квантовой радуги находятся квантовые точки. Их часто называют искусственными атомами, хотя они могут состоять из тысяч или сотен тысяч реальных атомов. Удерживаемые в точке, или ящике, электроны вынуждены занимать дискретные уровни энергии. Поэтому имеется возможность задавать точные энергетические уровни, подбирая конструкцию квантового ящика и варьируя прилагаемое напряжение.

На окраине центральной части Токио, среди сорняков и беспорядочно растущих деревьев, небрежно раскинулся исследовательский парк Комаба — часть Токийского университета. В скромном двухэтажном кирпичном здании, построенном 60 лет назад, находится лаборатория Ясухико Аракавы. Как это принято в японских домах, посетители, входящие в лабораторию Аракавы, снимают обувь и надевают сандалии. Но для того чтобы менять обувь, есть и другая причина: за углом коридора рядом со спартанским кабинетом Аракавы находится исключительно чистое помещение, заставленное оборудованием на 10 млн долл. для построения квантовых устройств.

В 1982 г. Аракава и его учитель Хироюки Сакаки предложили концепцию квантовых ящиков, или точек. Однако они должны еще изготовить работающий образец. «Очень трудно реализовать настоящий квантовый ящик размером  $100 \text{ \AA}$  [по всем шести сторонам], — говорит Аракава и убежденно продолжает: Изготовить настоящий лазер на квантовом ящике еще никому не удалось».

Создание квантовых точек с помощью полупроводниковой технологии похоже на упражнение по преодолению экспоненциально растущих трудностей. Сложность обработки растет «некоторым нелинейным образом». Это слова Кэтлин Каш, исследователя из Bellcore. Утверждение, что точка «работает», сразу подвергается сомнению. Кроме того, одна точка сама по себе не особенно полезна. Исследователи должны найти способ изготавливать совокупности

## ЭЛЕКТРОНЫ, ПУТЕШЕСТВУЮЩИЕ ПО ОДНОМУ

В традиционных электронных приборах ток представляет собой как бы текущую реку электронов, в которой электроны бесцельны, как молекулы воды. Сократите размерность материала, и энергия этих электронов начнет квантоваться, т. е. разделяться на дискретные значения. Однако подсчет точного числа электронов все же представляет большую проблему.

Недавно исследователи из Делфтского университета в Нидерландах, Центра ядерных исследований в Сакле во Франции, Технологического университета Чалмерса в Швеции и Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова показали, как сосчитать отдельные электроны, образующие слабый ток. Вместо квантованной энергии электронов эти и другие исследователи изучают квантованные заряды электронов.

Результаты этих работ имеют как бы две стороны: устройства, которые регистрируют отдельные электроны, могут дать и новый, высокоточный стандарт измерения тока. Со временем, используя токи, состоящие из одиночных электронов, можно было бы создать альтернативные схемы электронных приборов очень малого масштаба.

**СИНКОПИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ.** Основная конструкция одноэлектронного устройства требует центрального алюминиевого электрода длиной около  $1 \text{ мкм}$ , покрытого оксидом алюминия. С каждой стороны на эту полосу накладывается по металлическому электроду, которые образуют симметричную пару. Как подчеркивает Теодор Фултон из AT & T Bell Laboratories, который также строил одноэлектронные устройства, несмотря на малые размеры, устройство не является системой с ограниченной размерностью.

Подайте напряжение на это устройство, и оно будет вести себя как традиционный резистор. Однако при температуре около  $1 \text{ К}$  и напряжении в несколько десятых долей милливольта сопротивление резко возрастает. Через устройство не будет течь ток, поскольку энергия электронов не достаточна для зарядки центральной полосы. Увеличение напряжения примерно до  $1 \text{ мВ}$  придает электронам достаточную энергию для туннелирования из электрода, находящегося под напряжением, в центральный электрод.

Однако за один раз в полосу туннелирует только один элек-

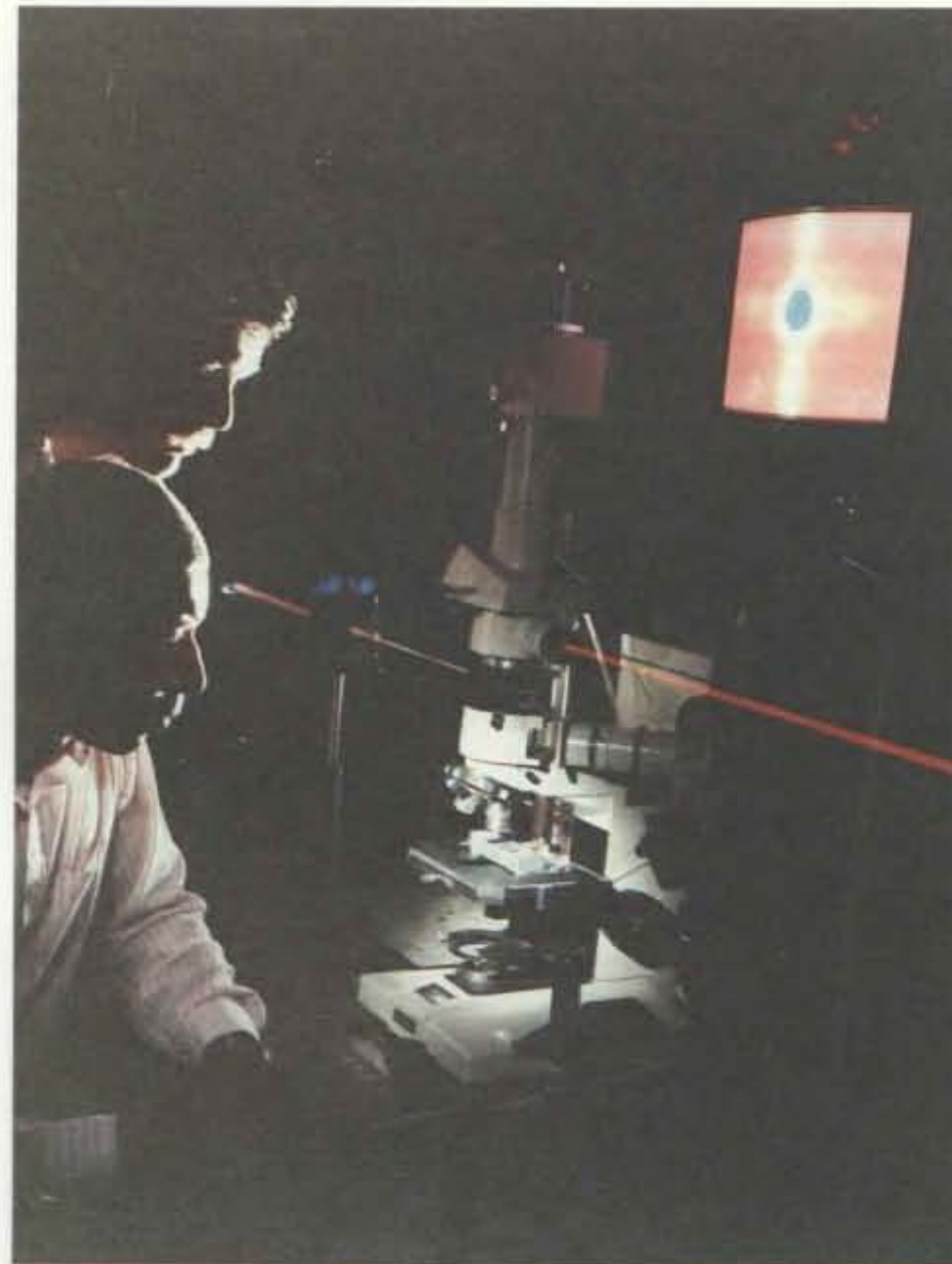
трон. Это происходит потому, что поступающий электрон заряжает полосу, увеличивая тем самым энергетический барьер, который должен преодолеть следующий электрон, чтобы достичь полосы. Когда первый электрон покидает полосу, ее заряд падает. Поток электронов становится вследствие этого синкопированным: один электрон должен покинуть центральную полосу, прежде чем другой сможет войти в нее.

**ОДИН ИЗ ТЫСЯЧИ.** Для использования этого одноэлектронного эффекта в точном стандарте для измерения тока исследователи из Делфтского университета и из Центра в Сакле синхронизировали одноэлектронный ток с радиосигналом. Сначала была построена последовательность маленьких электродов. Подсоединяя к электродам дополнительные источники напряжения, можно повышать или понижать энергетические барьеры. Затем объединяют один вторичный источник напряжения с радиосигналом, и сигнал измеряет число электронов, проходящих через прибор, по одному за цикл. «Они достигли почти такого предела, какой можно зафиксировать измерением», — говорит Фултон.

К настоящему времени исследователи зарегистрировали ток в несколько пикоампер — плюс-минус несколько фемтоампер — при частоте от 5 до 20 млн. электронов в секунду. Точность измерений составляет, следовательно, один электрон на 1000. Как отмечает Фултон, для того чтобы превзойти существующий стандарт, потребуется точность свыше  $1/10\,000\,000$ .

Затворы, построенные в Делфтском университете и в Сакле, действуют подобно простому сдвиговому регистру — электронному устройству для хранения двоичных чисел. Более того, одноэлектронные устройства могут оказаться более простыми в изготовлении, чем квантовые провода и точки; металлические затворы не зависят от сложных соединений различных составных материалов.

Однако от демонстрации физических принципов до изготовления приборов расстояние велико. До сих пор все исследования проводились при температурах около  $1 \text{ К}$ . Сохранятся ли одноэлектронные эффекты, если исследователи повысят температуру? «Я рад сообщить, что еще не знаю ответа на этот вопрос», — говорит Фултон.



В ЭТОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ, выполненном в Sandia National Laboratories, свет от криптонового ионного лазера (слева) возбуждает построенный на квантовых ямах лазер с поверхностным излучением (на столике микроскопа), который испускает инфракрасный луч (справа). (Инфракрасный луч становится видимым при прохождении через оптически активный материал.) Телевизионный монитор показывает профиль поперечного сечения луча лазера с поверхностным излучением.

точек, а затем встраивать их в устройства.

Исключительного успеха в создании квантовых точек, хотя и не подходящих пока для создания приборов, добились химики. В своем кабинете в Bell Laboratories Майкл Стейгеруолд хранит коллекцию пузырьков. Каждый из них заполнен ярко окрашенным порошком — желтым, оранжевым, красным, черным. «Это все селенид кадмия», — говорит он почти благоговейно. В каждом пузырьке находятся комки (кластеры) разного размера — по существу квантовые точки — из атомов кадмия и селенида.

Кластеры разных размеров имеют

необычные физические свойства, такие, как повышенная твердость; они могут также поглощать свет определенных частот. Желтый порошок, например, состоит из кластеров селенида кадмия диаметром примерно  $15 \text{ \AA}$  — около 100 атомных диаметров. Красные кластеры имеют поперечный размер  $40 \text{ \AA}$  (около 1200 атомов). Частота поглощаемого света указывает на ширину запрещенной зоны кластера. Чем меньше кластер, тем шире запрещенная зона, объясняет Стейгеруолд. Таким образом, изменяя размер кластеров, можно задавать энергетический уровень материала.

Для получения кластеров химика



захватывают небольшие группы атомов в оболочку или в клетки. Несколько лет назад коллега Стейгеруолда Луис Брюс обнаружил, что можно получить взвесь микроскопических кластеров селенида кадмия диаметром от 10 до 100 Å. Позднее Брюс и Стейгеруолд, химик-органик по образованию, начали заворачивать эти кластеры в пленки органических полимеров, подобные мыльным, которые высыхали и застывали вокруг атомов. Такие оболочки предохраняют атомы от рекомбинации, когда материал вынимают из раствора. Некоторые исследователи, включая Галена Стаки и его группу в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре, пытаются поместить атомные кластеры в пористые стекла или цеолиты, которые действуют подобно клетке. Другие, работая с металлами, пользуются лазерами для отщепления металлических кластеров от более крупных материалов (см. статью: Майкл А. Дункан, Деннис Х. Руврей. Микрокластеры, «В мире науки», 1990, № 2).

Однако хотя химики могут делать гораздо меньшие кластеры, или квантовые точки, чем литографы, на их пути имеется одна ловушка. «В любой группе размеры кластеров будут варьировать в среднем на 10%», — говорит Стейгеруолд. Эти отклонения слишком велики для электронных или оптических устройств, которые требуют групп идентичных кластеров. «Я не знаю надежного способа обойти эту трудность», — признает Стейгеруолд. — Есть множество способов, о которых можно мечтать, но нам потребуется дополнительное вдохновение».

Одна группа исследователей из Калифорнии надеется, что у нее есть решение. Недавно Керри Вахала, физик из Калифорнийского технологического института, вместе с коллегами, химиком и инженером, решил построить систему для разделения кластеров лазерным лучом. Группа Вахалы начнет проверять свою идею в начале следующего года, когда будет готово и заработает их оборудование. План таков: сформировать группу полупроводниковых кластеров в потоке газа, а затем сфокусировать на частичках свет лазера. Кластеры с энергетическими уровнями, резонирующими со светом лазера, будут выбиты из группы и могут быть позже осаждены на подложку. «Это весьма умозрительная схема», — признает Вахала, — но со временем и безумные вещи становятся реализуемыми».

По иному пути пошла Каш из Bellcore: она воспользовалась явлением возникновения механических на-

пряжений и сопутствующих деформаций, возникающих, когда один материал выращивается поверх другого в специальной конфигурации. «Обычно напряжения в материале нежелательны», — добавляет она. Но в данном случае она начала намеренно подвергать материалы напряжениям для создания областей с узкой запрещенной зоной и формирования тем самым квантовых точек.

Большинство специалистов, работающих в этой области, продолжают все-таки применять литографические методы, правда, модифицированные. В AT&T Хенрик Темкин делает точки из разных полупроводниковых соединений — фосфида индия и арсенида индия—галлия, излучающих на такой частоте, что излучение передается по оптическим волокнам с небольшим затуханием. Более того, благодаря проведению всех производственных операций в одной среде с высоким вакуумом — прием, впервые примененный группой Хаяши, — Темкин снижает вероятность загрязнения и получает точки лучшего качества.

В других университетах и фирмах исследователи оттачивают свое мастерство в травлении малых устройств. Среди наиболее удачливых в этой области — группы из Университета Глазго, Делфтского университета в Нидерландах и Texas Instruments.

Два года назад Рид и Рэндалл успешно построили в Texas Instruments одиночную квантовую точку. Поскольку она была изолирована от всех остальных устройств, эта точка «не была полезной, но она работала».

Включение набора точек в более крупную схему или систему остается нереализованной задачей. «Можно было бы сделать кластеры электрически активными, приводя их в контакт с проводящим полимером, — размышляет Стейгеруолд. — Это не то, что бы научная фантастика, но это дело будущего».

Рэндалл продолжает исследовать электрические соединения. «Моя самая сильная головная боль, — ворчит он, — это изготовление хороших кон-

тактов для квантовых точек». Если эта задача будет решена, он и его коллеги попробуют использовать каждую точку в наборе как вычислительный элемент. Поскольку каждая точка может иметь много энергетических состояний, она заменит несколько обычных транзисторов.

Такие точки могли бы позволить также опробовать новую схему соединения, называемую клеточным автоматом. Вместо последовательного соединения транзисторных точек каждая точка соединяется с четырьмя своими ближайшими соседями. Воздействуя на точки, расположенные по краям набора, можно будет запускать операции во внутренних точках. В результате цепь преобразуется в параллельную систему, в которой многие транзисторы работают одновременно, а не последовательно.

Хотя на современных транзисторах эта архитектура была бы неэффективной, она, как предполагает Рэндалл, может хорошо работать с квантовыми точками, которые представляют собой переключатели, имеющие более одного состояния. «Уменьшение масштабов продолжится, и дело постепенно дойдет до точек, — говорит он. — Когда это случится, нам понадобятся необычные схемы соединения [точек]».

Время, «когда это случится», остается неопределенным, но оно близко. Конструкторы телекоммуникационных сетей требуют все более эффективных лазеров для перекачки по линиям дополнительных данных. Производители кристаллов беспокоятся, что способность традиционной литографии размещать все больше устройств на кристалле будет исчерпана к концу 90-х годов. Это, как подчеркивает Роберт Нахори, который руководит исследованиями по полупроводниковым материалам в Bellcore, делает наше время «временем новаций».

В статье использован материал, подготовленный Томом Коппелем из Токио.

## Наука и общество

### Троянская корова

ДЕВЯТЬ лет назад компания Monsanto представила первую информацию о гормоне — стимуляторе роста крупного рогатого скота, получаемом методами генетической инженерии, на рассмотрение в Управление по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметичес-

ких средств США (FDA). С тех пор эта фирма предъявила гору данных. Результаты многочисленных исследований уже убедили FDA в том, что применение полученного с помощью рекомбинантной ДНК гормонального препарата, который позволяет увеличить производство молока на 10 — 25%, не влечет за собой опасности для здоровья человека. Однако

FDA желает дополнительных данных. Теперь под вопросом безопасность гормона для животных.

Хотя этот гормональный препарат, известный под названием BST (от англ. bovine somatotropin — бычий соматотропин), еще 5 лет назад прошел требования, предъявляемые к пищевым продуктам в отношении безопасности для человека, FDA предвидит последствия сомнений по поводу того, что весной 1991 г. одна из марок BST должна получить одобрение на продажу. С 1985 г. фирмы Monsanto, Upjohn, American Cyanamid и Elanco (филиал Eli Lilly) получили разрешение продавать мясо и молоко животных, в экспериментальном порядке получавших BST. В США 1% молочных коров проходил такую обработку.

Поскольку мнения о BST противоречивы, FDA предприняло беспрецедентный шаг, чтобы раз и навсегда покончить с вопросом о безопасности для здоровья человека. В сентябре прошлого года два научных сотрудника FDA опубликовали в журнале «Science» обзор проведенных за 30 лет исследований, посвященных проблеме безопасности соматотропина — как натурального, так и полученного методами генетической инженерии. «Мы решили опубликовать его в журнале, который читают ученые, никак экономически не заинтересованные в BST», — пояснил помощник директора по особым вопросам Ветеринарного центра FDA Дж. Огсбург.

Но сделанный FDA обзор не успокоил стихийную волну критики. «Вопрос в том, каковы возможные вредные эффекты BST для скота», — высказался юристконсульт фонда экономического развития в Вашингтоне Э. Кимбрелл. В этой организации, возглавляемой принципиальным противником биотехнологии Дж. Рифкином, придерживаются мнения, что BST вызывает у животных хроническое состояние утомления и перенапряжение иммунной системы. Компания Monsanto признает, что у некоторых коров, получающих BST, чаще бывает мастит (воспаление вымени). Но представитель Monsanto Л. О'Нейлл отмечает, что высокоудойные коровы вообще, как правило, больше подвержены этой обычной инфекции. По словам Огсбурга, FDA требуется больше данных относительно безопасности BST для животных и одной из причин того, что рассмотрение препарата столь затянулось, является недостаток таких исследований.

Забота о здоровье животных задерживает одобрение BST не только в США, но и в Европе. Министерство сельского хозяйства Великобритании не сомневается в эффективности пре-

парата и его безопасности как для человека, так и для окружающей среды. Однако же оно не торопится с одобрением по той же причине — из-за недостатка данных о безопасности для животных.

Научные проблемы применения BST разрешить, наверное, легче, чем политические и экономические. Декан Ветеринарной школы Университета Тафта Ф. Лоу заявляет, что некоторые, преследуя свои интересы, используют вопрос о безопасности BST для животных как троянского коня в решении других проблем, в том числе в попытках прекратить применение биотехнологических методов и нанести удар по связанному с этим подходом большому бизнесу.

Фермеры и их представители по-разному относятся к BST в зависимости от своих экономических возможностей. Крупные фермы с высокой производительностью труда гораздо более склонны использовать BST, чем мелкие менее эффективные молочные хозяйства. В таких штатах, как Вермонт, где преобладают небольшие фермы, беспокоятся об исчезновении семейных молочных хо-

зяйств, которых начиная с 1930-х годов становится все меньше и меньше.

Ряд компаний, в том числе Ben and Jerry's Ice Cream в Уотербери (шт. Вермонт) и Kroger's Supermarkets в Цинциннати, заявляют себя противниками BST во имя сохранения семейных молочных ферм. Но Лоу видит здесь другой камень преткновения. По его словам, BST — это далеко не последний гвоздь в крышке гроба для мелких молочных хозяйств, а дело главным образом в конфликте «между городом и деревней»: потребителей молока, большинство которых являются жителями городских территорий, заботит цена на молоко, а не средства к существованию фермеров.

Тем временем FDA в свою очередь само подвергается ревизии. Упомянутый обзор по BST проверяется в Главном бюджетно-контрольном управлении, а также в министерстве здравоохранения и социального обеспечения. В начале декабря 1990 г. Национальные институты здоровья проведут еще одну проверку безопасности BST для человека и посвятят немалое время сбору экспертных свидетельств для согласования данных.

### Под защитой пленного

В антарктических водах в проливе Макмердо обнаружены похожие на креветок ракообразные величиной со спичечную головку, которые таскают на спине напоминающих улиток моллюсков еще меньшего размера. Первые, принадлежащие к группе бокоплавов, держат вторых, относящихся к крылоногим моллюскам, при себе насильно, словно заложников. Но цель этого пленения, конечно, не выкуп. Пленные малютки производят ядовитое вещество, отпугивающее хищных рыб. В журнале «Nature» опубликовано сообщение Дж. Макклитока из Алабамского университета в Бирмингеме и Дж. Дженссена из Университета им. Игнатия Лойолы в Чикаго о том, что бокоплав, у которых нет собственных средств химической защиты, активно захватывают крылоногих моллюсков. Чаще всего это наблюдается в мелких водах там, где особенно много хищных рыб.

Рыбы, обычной пищей которых служат бокоплав, избегают крылоногих моллюсков. По словам Макклитока, хищник, подплывший к бокоплаву с намерением



его сожрать и заметивший на нем крылоногую моллюска, останавливается, как бы разглядывая потенциальную добычу, но, отпугнутый ядом, разворачивается и уносится прочь. Когда же исследователь силой захватывает рыбу в рот такую парочку, та выплевывает ее, иногда помогая себе резким движением головы. Таких рыб, которые бы ели крылоногих моллюсков, найти не удалось, и неизвестно, кому эти животные служат пищей в природе. Макклиток и Дженсен полагают, что крылоногие либо сами синтезируют защитное вещество, как некоторые другие не имеющие раковины морские моллюски, либо извлекают его из поедаемых более мелких моллюсков.

Крылоногие моллюски, похоже, не очень хорошо себя чувствуют в роли заложников поневоле. В плену, который может длиться более недели, животное ничего не ест и тело его сильно сокращается. Но мертвых крылоногих на бокоплавах ни разу не попадались. Вероятно, бокоплав отпускает своего пленника до того, как он умирает с голоду, и захватывает нового.

Эти странные взаимоотношения представляют собой вариант симбиоза. Но их нельзя причислить ни к одной из известных категорий симбиотического сосуществования, скажем, к паразитизму. «По-видимому, крылоногие не извлекают никакой выгоды, по крайней мере явной», — отмечает Макклиток. Бокоплав же расплачивается за свою выгоду. Бокоплав, несущий крылоногую моллюска, тратит больше энергии на то, чтобы оставаться на плаву, и скорость его движения падает на 40%, а следовательно, ухудшается способность ловить мелких ракообразных, которыми бокоплав питается. Тем не менее для бокоплавов захват крылоногих является наилучшим способом спастись от хищников и не погибнуть в этом жестоком мире, где не только волки кроликов едят, а все служат жертвой друг друга.

## Обзор писем читателей на статью о математических спекуляциях и заблуждениях



А. К. ДЬЮДНИ

«За сто семьдесят шесть лет Нижняя Миссисипи укоротилась на двести сорок две мили, то есть в среднем примерно на милю и одну треть в год. Отсюда всякий спокойно рассуждающий человек, если только он не слепой и не совсем идиот, сможет усмотреть, что в древнюю силурийскую эпоху, — а ей в ноябре будущего года минет ровно миллион лет, — Нижняя Миссисипи имела свыше миллиона трехсот тысяч миль...»

МАРК ТВЕН

Старые времена на Миссисипи

**З**А ВРЕМЯ, прошедшее с майского номера журнала, в котором речь шла о математических спекуляциях и заблуждениях, читатели прислали сотни писем с примерами разнообразных математических преступлений, махинаций и жульничества. Виновниками в большинстве случаев оказывались корпорации и официальные учреждения, в том числе и правительственные. Были эти злоупотребления умышленными или случайными? Пусть об этом судят сами читатели, ознакомившись с приведенным перечнем математических ужасов. В борьбе с искажением процентов, извращением логики, неправильным представлением числовых и графических показателей статьи, подобные этой, могут лишь сыграть роль небольшого барьера, на какое-то короткое время преграждающего путь бурному потоку невежества, угрожающему затопить всех нас.

Люди подвергают риску совершить математическое злоупотребление или стать его жертвой всякий раз, когда они не хотят, не могут или просто не утруждают себя тем, чтобы правильно пользоваться числами или отношениями, которые постоянно встречаются в повседневной жизни. Даже те, кто не очень уверенно ориентируется в геометрии или алгебре, могут избежать математических заблуждений, если научатся рассматри-

вать математические ситуации с определенной долей скепсиса. Р. Бергквист из Тавареса (шт. Флорида) и С. Лефкович из Колумбуса (шт. Огайо) весьма подозрительно относятся к утверждениям агентов по продаже автомобилей, которые уговаривают покупателя брать автомашину в кредит, вместо того чтобы оплачивать ее сразу. Бергквист описал, а я несколько приукрасил забавный диалог между Сэмом, агентом фирмы, и Джоном, покупателем:

«Скажи, Джо, почему ты хочешь заплатить мне сразу полную сумму в 10 тыс. долл. за новую автомашину?» — спрашивает Сэм.

«Чтобы сэкономить на процентах за рассрочку, — отвечает Джон. — Я бы мог взять машину в рассрочку, если бы ваша ставка в 11% была ниже банковского процента за ссуду».

«Но неужели ты не понимаешь, что можешь сэкономить деньги, покупая машину в рассрочку?» — возражает Сэм. Он поворачивается к своему настольному компьютеру, набирает несколько чисел на клавиатуре и через минуту протягивает Джо аккуратную распечатку. Из нее следует, что путем ежемесячных взносов по 327,39 долл. в течение 36 месяцев можно выплатить сумму в 10 тыс. долл. при дополнительных затратах в 1786,04 долл. Далее в распечатке указано, что 10 тыс. долл., вложенные в сберегательный банк под 7,5%, дадут приблизительно 2514,46 долл. «Как я и говорил, Джо, если ты вложишь 10 тыс. долл. в сберегательный банк, вместо того чтобы заплатить их сегодня за машину, то положительный баланс составит 728,42 долл. в твою пользу», — провозглашает Сэм.

Немного сбитый с толку, Джо спрашивает: «Ну а как быть с ежемесячным взносом в 327,39 долл.? Он ведь должен идти с моего банковского счета...»

«Конечно, ты ведь платишь за машину, — вставляет Сэм, — но плате-

жи вовсе не обязательно должны идти с твоего банковского счета. Они могут идти откуда-нибудь еще. Может быть ты сэкономишь со своей еженедельной зарплатой. Откровенно говоря, Джо, ты у меня первый клиент, который не в состоянии понять нашей системы».

Джо, смущенный и подавленный, разумно решает пойти домой и спокойно все обдумать. Он расписывает оба варианта на одном листочке бумаги. Согласно варианту, предложенному Сэмом, Джо получает 12514,46 долл. по истечении трех лет. Согласно же собственному варианту, Джо покупает машину сразу и вкладывает суммы, равные ежемесячному взносу 327,39 долл., в банк под 7,5%. В этом случае через три года на его счете будет 13171,35 долл. Джо понимает, что Сэм обманывает его, он не упоминает о прибыли, которую Джо мог бы получить, если бы взносы на машину вкладывались в банк под проценты.

Неграмотность, которую я называю арифметической слепотой, мешает многим людям самостоятельно ориентироваться в банковских процентах и ценных бумагах. Несколько читателей поведали мне о вложениях капитала, казавшихся очень удачными, пока не принималась в расчет инфляция, не говоря уже о налогах. На самом деле, я готов даже сформулировать закон об инфляции и налогах, конечно в шутку:

закон нулевой прибыли

прибыль на капиталовложение =  
потери на инфляцию + налоги

Предположим, например, что премия на капиталовложение равна 9% годовых, уровень инфляции равен 5,5% и что налог на прибыль с капиталовложений равен 35%. Если вы вложите 10 тыс. долл. на год, то получите 10 900 долл. Однако налог съест 35% прибыли, равной 900 долл., и таким образом у вас от прибыли останется лишь 585 долл. Однако в результате инфляции ваши 10 585 долл. будут на самом деле стоить только 10 002,83 долл.!

Но даже те, кто умеет производить расчеты, могут быть введены в заблуждение. Специалисты по рекламе, так же как и агенты по продаже, осо-



бенно славятся умением манипулировать числами, чтобы скрыть определенную информацию, представляющую их продукцию в менее выигрышном свете, чем это может показаться на первый взгляд. Х. Клей из Финкса (шт. Аризона) напомнил нам о телевизионном рекламном ролике, в котором случайно отобранной группе врачей задается вопрос, какое средство от головной боли они предпочли бы, если оказались на необитаемом острове. Согласно информации спонсора средства Х более 50% врачей предпочитают его средству У, занимающему второе место по популярности. Однако при этом спонсор ни словом не обмолвился о том, что в опросе врачей фигурировало еще и третье средство Z, являющееся разновидностью средства У. Как вспоминает Клей, препарат, содержащийся в средствах У и Z, побил средство Х с таким же преимуществом, с каким Х побил У.

Скрывая информацию, рекламодатели могут доказать практически все, что угодно. Несколько лет назад, напоминает нам А. Марченко, служащий американского посольства в Стокгольме, в рекламе широко известного виски марки А утверждалось, что в ходе слепого вкусового теста половина любителей другой марки шотландского виски высказались в пользу марки А. Что это на самом деле означает? Такой же результат, говорит Марченко, можно было получить и путем простого подбрасывания монеты. Это еще не означает, что получен случайный результат, однако он настораживает. В конце концов многие потребители не мо-

гут легко отличить на вкус излюбленную ими марку напитка от других марок, как бы они ни были уверены в обратном. В прошлом году каналское телевидение показало документальный фильм о любителях пива, считавших себя знатоками различных марок этого напитка. В ходе слепого вкусового теста эти знатоки то и дело путались, пытались определить марку пива!

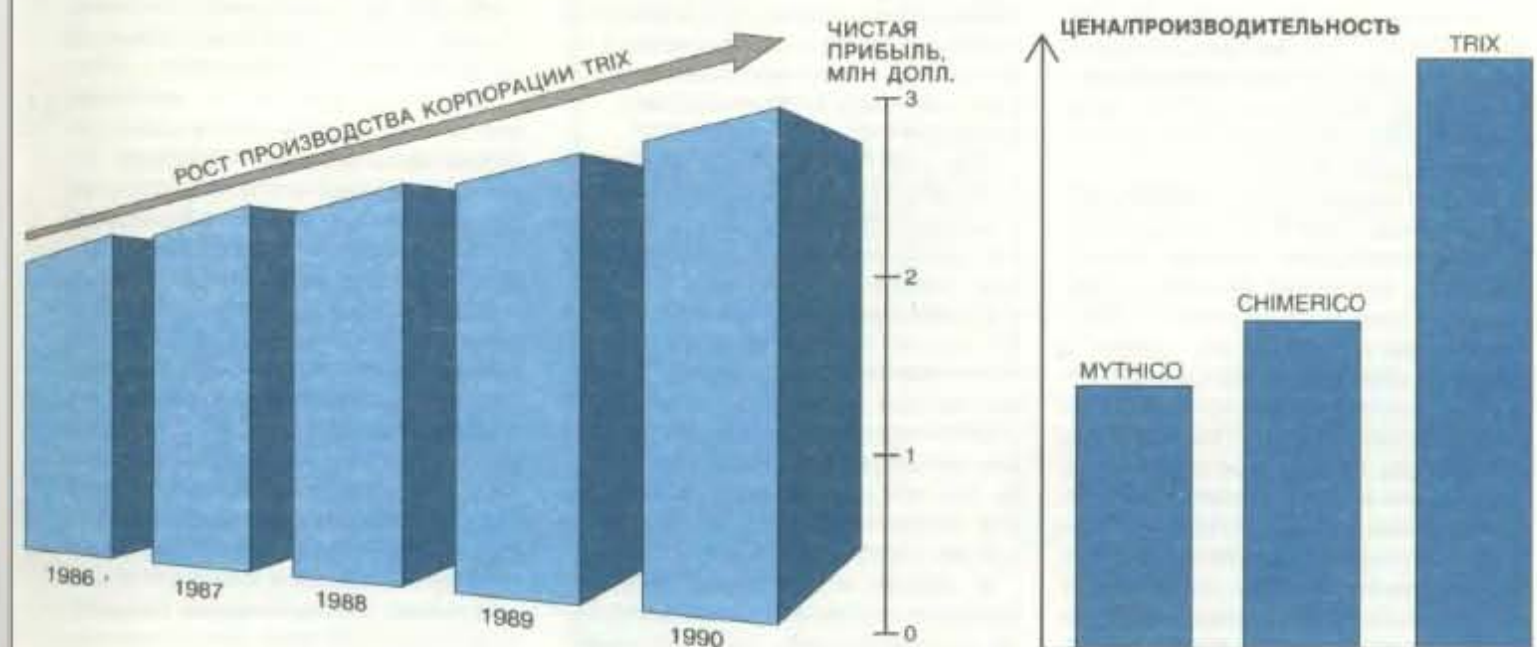
Многие изготовители напитков пользуются не очень высокой вкусовой чувствительностью людей, особенно в тех случаях, когда напитки подаются в охлажденном виде. Например, известная фирма, специализирующаяся на производстве безалкогольных напитков, предложила потребителям указать, какую из двух марок напитка они предпочтут в слепом вкусовом тесте — марку данной фирмы или марку ее главного конкурента. Поскольку на вкус оба напитка мало отличаются, около половины потребителей марки конкурента высказались в пользу рекламируемого напитка. Такой способ рекламы оказывается эффективным, потому что большинство потребителей не знает о явлении недостаточной вкусовой чувствительности. Когда говорят «моя любимая марка», практически это всегда означает предпочтение вкусовых качеств, и ничто иное.

Читатели могут подумать, что чаще всего математические спекуляции совершаются рекламными агентствами и крупными корпорациями, однако, согласно полученной почте, правительственные учреждения и средства массовой информации виновны в не меньшей мере. Реклама, помещенная в шведской газете, гласила:

«В ШЕСТЬ РАЗ БЕЗОПАСНЕЕ! В прошлом году 35 человек утонули при катании на яхтах и моторных лодках. Лишь на пяти из них были спасательные жилеты. Поэтому рекомендуем всегда надевать спасательный жилет при прогулках на воде».

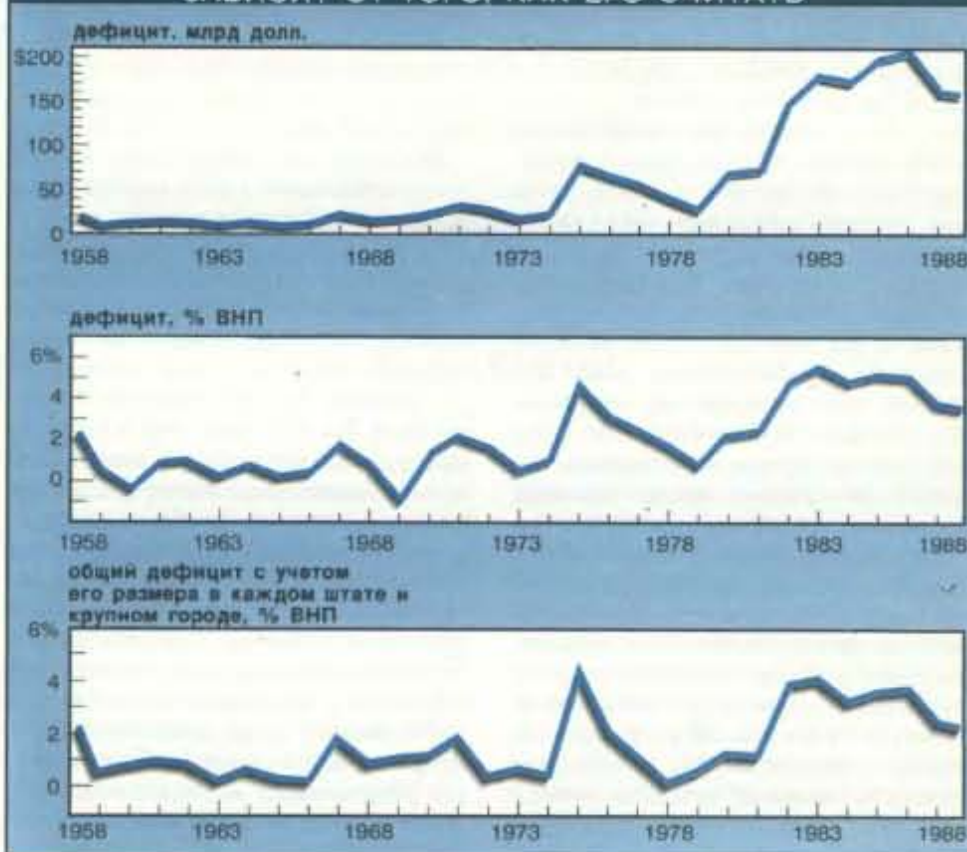
Несмотря на похвальную мораль этого сообщения, какую информацию можно в действительности почерпнуть из приведенных в заметке цифр, спрашивает П. Принтц, наш читатель из Дании? Может быть, то, что число шведов, которые плавают без спасательных жилетов, в шесть раз больше, чем тех, кто ими пользуется? Даже если бы это было так и если бы процент шведов, одевающих спасательные жилеты, значительно возрос, то по иронии судьбы статистика этого примера могла бы свидетельствовать и об обратном. В этом случае заблуждение можно охарактеризовать как статистический голод: нам просто не предоставили достаточное количество информации, чтобы мы могли делать определенные выводы по имеющимся данным. Газета просто докладывает о том, о чем сообщили ей те или иные информационные агентства.

Собрав все данные, можно легко увидеть, как средства массовой информации предвзято оперируют числами, демонстрируя очень широко распространенное злоупотребление, которое я называю числовой инфляцией. Дж. Чайлдс из Брайта (шт. Калифорния) сообщил нам документально подтвержденные данные о различных причинах несчастных случаев на транспорте со смертельным исходом: кокаин был причиной аварий в 20%



Корпорация Trix: превосходство над конкурентами и быстрый рост

### ДЕФИЦИТ ФЕДЕРАЛЬНОГО БЮДЖЕТА ЗАВИСИТ ОТ ТОГО, КАК ЕГО СЧИТАТЬ



По данным министерства торговли, опубликованным в газете «The New York Times»

Вопрос: В каком году валовой национальный продукт в США был отрицательным?

случаев (нью-йоркская газета), марихуана — в 25% (Управление по борьбе с наркоманией), алкоголь — в 50% (Калифорнийская дорожная полиция), сонливость — в 35% (исследователи физиологии сна); превышение скорости — в 85% случаев (Национальный комитет безопасности на транспорте), курение — в 50% (Национальное управление безопасности дорожного движения); склонность к самоубийству — 35% (исследователи, занимающиеся проблемой самоубийств); механические неисправности — 20% (Управление автомобильного транспорта шт. Нью-Йорк).

Можно допустить, что перечисленные причины аварий не являются взаимоисключающими, поэтому не удивительно, что сумма вкладов от различных причин превышает 100%. Кроме того, некоторые цифры в большей степени относятся к движению на шоссе магистралах, а не на городских улицах. Тем не менее, взглянув на приведенные процентные соотношения, я не удивился бы, узнав, что каждый год несколько водителей в попытке покончить с жизнью наюхиваются кокаина, выкуривают несколько сигарет с дурманящей травой, выпивают триста грамм водки, затягиваются табачным дымом, затем забираются в двадцатилетней

давности рыдван и разогнав его до скорости, превышающей установленные пределы, засыпают за рулем.

Многие люди испытывают трудности, сталкиваясь с большими числами, в особенности когда речь идет о процентах. Приведу заголовки газеты, присланной Ф. Палмером из Чикаго: «Семь итальянцев из десяти совершают прелюбодеяние». В заметке говорится о том, что 49% итальянцев мужского пола и 21% итальянок в ходе проведенного опроса признались, что у них были внебрачные связи. Заметим, что  $49 + 21 = 70$ .

При простом сложении процентов игнорируется структура населения по половому признаку, т. е. относительное число мужчин и женщин (даже при условии, что выборка была достаточно представительной). Если в Италии тех и других примерно поровну, то на 24,5% итальянское население состоит из неверных мужчин и на 10,5% — из неверных женщин. Теперь эти проценты можно сложить, потому что обе группы представляют собой перекрывающиеся части одной и той же популяции:  $24,5 + 10,5 = 35$ .

В данном случае неверная интерпретация статистики скорее всего была несознательной, хотя определенная склонность прессы к преувеличениям могла (и на этот раз) сыграть

свою роль. Виновники, по-видимому, страдали той же формой математической неграмотности, что и жертвы: назовем это явление радиоитис (от слова радио — отношение). Дело в том, что математическое невежество проявляется не только при оперировании процентами, но и всякого рода отношениями, пропорциями, долями и даже средними величинами. Эти численные выражения нельзя с такой же легкостью складывать или перемножать, как обыкновенные числа. Даже педагоги могут стать жертвами радиоитиса. Например, Дж. Барри из Саратога (шт. Калифорния) цитирует следующее утверждение из обзора, посвященного проблемам образования: «Хотя за 70-е годы показатели уровня образованности, определяемые по специальным тестам, упали почти на 60%, с тех пор они снова улучшились более чем на 70%».

Здесь опять проявляется тенденция комбинировать две выраженные в процентах величины так, как будто они представляют собой обыкновенные числа: мы вычитаем 60% и затем прибавляем 70%. Применим, однако, описанное выше снижение и последовавшее за ним повышение к какому-нибудь конкретному числу, например 85. Если число 85 уменьшится на 60%, то оно станет равным 34. Если теперь число 34 «повысится» на 70%, то к нему прибавится 23,8, и в результате получится 57,8, что значительно ниже исходного значения 85. Такое неправильное обращение с процентами Барри характеризует как «злостное» нарушение и пишет: «Конечно читателю простиительно не понять того, что новое значение величины составит менее 70% ее исходного значения». Весьма иронично, что авторы, докладывающие об улучшении в образовании, сами демонстрируют недостаточную грамотность.

Осмелюсь предложить читателям два занимательных упражнения, которые призваны повысить тонус ваших умственных мускулов, постоянно сокращающихся в жизненных перепетиях и остерегающих вас от заблуждений и глупостей. Первое упражнение касается неправильного обращения с графической информацией, умышленного или неумышленного искажения данных, представляемых в графической форме. В данной статье приведены три иллюстрации, которые предложил Дж. Мендельсон из Уэст-Хартфорда (шт. Коннектикут). Интересно, многим ли читателям удастся обнаружить в каждой из иллюстраций математический «подвох», или по крайней мере что-тостораживающее?

Автор второго упражнения —

Р. Мартин, преподаватель логики вероятности и научного обоснования в Далхузском университете в Галифаксе (Новая Шотландия). Мартин неоднократно «подламливал» своих студентов на безобидных маленьких задачках, подобных следующим трем:

● Некто тасует три карты — туза, даму и короля, затем кладет их крапом вверх на стол и неожиданно, как бы случайно, сбрасывает одну из них на пол. Карта падает также лицом вниз. Какова вероятность вытащить туза из оставшихся на столе карт?

● Обычно люди работают по восемь часов в день; следовательно, в пересчете на дни, это составит третью часть 365 дней, содержащихся в году, т. е. примерно 122 дня. Но, как правило, два дня в неделю — выходные или 104 дня за год. Если вычтеть это количество из 122, то останется всего 18 дней. Поскольку длительность отпуска в среднем составляет 10 дней, то остается 8. Но именно столько дней в году праздничных. Получается, что вообще никто не работает!

● Если бутылка и пробка вместе стоят 1,10 долл. и бутылка на 1 долл. дороже пробки, то сколько стоит пробка? Ответив на этот последний вопрос (причем неправильно), один из студентов в шутку написал: «Трудная задача!»

Неумение найти правильные ответы на приведенные задачи свидетельствует о математической неграмотности, а если говорить строго, — то о научной неграмотности в целом. Из всех промышленно развитых стран это наиболее характерно для США, где средние показатели грамотности при стандартном тестировании учащихся оказались ниже, чем у их сверстников из других развитых стран. Мы все знаем о кризисе образования в стране, но не знаем, что нужно делать.

Л. Стин, математик из Колледжа Св. Олафа в Нортфилде (шт. Миннесота), президент Американского математического общества и признанный авторитет в вопросах математического образования детей с дошкольного возраста до старших классов школы, считает, что выпускники начальной и даже средней школы имеют смутное представление о математике и в лучшем случае способны лишь механически пользоваться заученными формулами. Очень немногие американские учащиеся обладают тем, что Стин называет «хорошим арифметическим чутьем», или «хорошим символическим мышлением».

Хорошее арифметическое чутье — это как раз та форма грамотности, которая требуется для того, чтобы

уметь распознать случаи математической спекуляции. Те, кто обладает таким чутьем, способны разбираться в относительных величинах, экспоненциальном росте, всевозможных отношениях и процентах — это лишь несколько самых важных навыков. Учащиеся обладают хорошим символическим мышлением, если они могут увидеть, что результат неправилен, потому что знают, каким приблизительно должен быть ответ. Такие учащиеся способны мыслить алгоритмически, сравнительно легко разбираясь в абстрактных процессах.

Национальный совет преподавателей математики рекомендовал свои стандарты для учащихся, а Комитет

преподавания математических дисциплин при Национальной академии наук активно способствует математическому образованию в США. Но, хотя несколько школ добились выдающихся успехов в преподавании математики, большинство учебных заведений, по мнению Стина, все глубже погружаются в «черную дыру», порожденную равнодушием общества к проблемам образования. Если бы общественность США была так же озабочена кризисом математического образования, как проблемами защиты окружающей среды, говорит Стин, то можно было бы в корне изменить к лучшему ситуацию в стране.

## Книги издательства „Мир“

### СОЕДИНЕНИЯ ФТОРА: СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ

Перевод с японского  
Под ред. Н. Исикавы

Книга написана 22 крупнейшими японскими специалистами в области химии фтора и основана на материалах, мало доступных советскому читателю. Основной упор сделан на два направления, связанных с новейшей технологией, где развитие происходит особенно быстро: это получение новых материалов с уникальными свойствами (фотоэластомеры, покрытия, фторхимикаты для электронной промышленности, новые ПАВ и др.) и фторсодержащие физиологические активные вещества: лекарства, пестициды, диагностические материалы, вещества специфического действия.

Содержание: Свойства, применение и получение фторуглеродных веществ. Реакции синтеза с применением  $\text{HF}$  и  $\text{F}_2$ . Использование специфичности соединений фтора в аналитической химии. Фторполимеры и фторэластомеры. Покрытия на

основе фторсодержащих материалов. Фторхимикаты в электронной промышленности. Свойства и применение поверхностноактивных фторсодержащих веществ. Соединения фтора и физиологическая активность. Реакции моно- и дифторирования. Реакция трифторметилирования. Синтез и применение фторароматических соединений. Синтез и использование фторсодержащих синтонов. Синтез и физиологическая активность фторсодержащих аминокислот. Фторсодержащие синтетические бактерициды. Фторсодержащие пестициды — направление последних разработок и новые тенденции в планировании свойств на молекулярном уровне.

Для работников химической и электронной промышленности, сельскохозяйственных НИИ, фармакологов.

1990 г. 35 л. Цена 7 р. 30 к.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах — опорных пунктах издательства «Мир»



Физик с чистейшей душой;  
ГОЛОД В ИСТОРИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА;  
ОПТИКА В ИСКУССТВЕ



ФИЛИП МОРРИСОН

Хелге С. Краф. ДИРАК. БИОГРАФИЯ УЧЕНОГО. DIRAC: A SCIENTIFIC BIOGRAPHY, by Helge S. Kragh. Cambridge University Press, 1990 (\$ 44.50).

НИЛЬС Бор однажды заметил, что «из всех физиков Дирак выделяется чистейшей душой». Поль А. М. Дирак «был высокий, худой, нескладный и чрезвычайно молчаливый человек... Никогда нельзя было быть уверенным, скажет ли он что-либо вразумительное...». С самого раннего детства, когда его словарный запас был еще невелик, он говорил очень непосредственно, без малейшей иронии, считая, что и остальные люди поступают так же.

Интервью, записанное корреспондентом одной из газет Мадисона в 1929 г., когда Дирак читал лекции в Висконсинском университете, можно было бы рассматривать как смешную выдумку, если бы оно столь правдиво не отражало характер ученого.

— Профессор, — сказал я, — перед вашей фамилией стоит несколько букв. В них заложен какой-то смысл?

— Нет, — сказал он.

— Значит ли ваш ответ, что я сам могу написать все, что мне нужно?

— Да, — сказал он.

— И будет правильным, если я скажу, что П. А. М. означает Пуанкаре Алонзиус Муссолини?

— Да, — сказал он.

И в заключение:

— Вы когда-нибудь встречали парня, которого даже вы не смогли [как это не парадоксально] понять?

— Да, — сказал он.

— Скажите, пожалуйста, кто же это?

— Гм, — ответил он.

Интервью неожиданно закончилось... так как профессор достал свои часы... Когда мы прощались, он позволил себе улыбнуться, и я понял, что все то время, что мы беседовали, он решал какую-то проблему, недоступную для понимания постороннего.

Дирак родился в Англии в 1902 г.

Главой семьи был отец — человек строгий, с невыразительной внешностью, не испытывавший особых чувств к домочадцам. Когда мальчик подросток, отец уехал в Швейцарию, учился в Женеве, затем вернулся в Англию, где до конца своей жизни преподавал французский язык. Поль рос молчаливым и послушным мальчиком и делал то, что ему говорили взрослые. Единственное, что он любил, так это математику, однако когда ему исполнилось 16, он без возражений поступил на курсы электротехники Бристольского университета. В этом же учебном заведении преподавал его отец.

На электротехнические курсы заставило его пойти появление общей теории относительности. «Относительность пришла как восхитительная идея... как новая область для размышлений... спасение от войны... — вспоминал он. — Я был захлестнут возбуждением, которое было вызвано в 1919 г. результатами проверки эйнштейновского отклонения света звезд, проведенной во время солнечного затмения группой Эддингтона». В 1921 г. Дирак с отличием окончил курсы, но в этот период депрессии он не смог найти работу в качестве инженера и вернулся к изучению математики, получив разрешение на бесплатное обучение.

В 1923 г. он поступил в аспирантуру Кембриджского университета. Все еще учащийся, хотя у него уже было полдесятка собственных работ, в августе 1925 г. он прочитал в корректуре первую работу Вернера Гейзенберга по объяснению матричной теории. Спустя три месяца Дирак публикует одну из своих оригинальных статей, внесших большой вклад в развитие этой теории. «Он не имеет ни малейшего понятия о том, насколько трудны его работы для нормальных людей», — жаловался Эрвин Шрёдингер Бору осенью 1926 г. Этот «никому неизвестный английский юноша» быстро вошел в круг ученых, занимающихся квантовой механикой. В скором времени он уже был «своим челове-

ком» в Копенгагене, Гёттингене и Лейдене. Большинство результатов, полученных Дираком в те годы, было предвидено ранее, но универсальность и новизна его подхода не имели себе равных даже среди блестящих работ его сверстников.

Осенью 1927 г. он «неожиданно понял» как можно было бы сохранить линейность квантовых уравнений и в то же время ввести квадратный корень энергии, лежащий в основе релятивистской теории. Этот потрясающий прием, понятный для тех, кто хоть немного интересуется алгеброй, нужно использовать не в одном уравнении, а в нескольких связанных уравнениях одновременно, открывая множество простых соотношений, которые будут удовлетворять всем необходимым условиям. Оказалось, что количественные соотношения релятивистской теории электрона Дирака превращаются в матрицы размерности  $4 \times 4$ , что вполне доступно для понимания, поскольку матрицы  $2 \times 2$  уже использовались для описания спина электрона. Новые уравнения с большей точностью описывали спектр водорода и предсказывали существование «антиэлектрона» — частицы с положительным зарядом. Все, включая Дирака, считали, что им уже известна эта положительно заряженная частица — протон!

Физики тогда не узрели сути вопроса. Дирак, стоя на фундаменте, построенном Эйнштейном и Гейзенбергом, нашел решение этой проблемы изящным математическим жестом. Всего два года и три месяца отделяли первый квантовый генератор от релятивистских электронов Дирака.

Ученые в скором времени вынуждены были отказаться от своих поспешных выводов. Во-первых, Дирак и остальные признали, что этот антиэлектрон — вовсе не протон, а совершенно новая частица — позитрон, открытый в камере Вильсона в 1932 г. Затем почти 20 лет ушло на то, чтобы новое поколение физиков возвело здание электродинамики на фундаменте уравнения Дирака, учитывающее и мир фотонов. Эта теория теперь подтверждается различными измерениями — от потоков космической радиации с миллионами позитронно-электронных пар до выверенных с точностью до десятого знака свойств реально взаимодействующего электрона.

После 1934 г. продуктивность Дирака резко падает. Он все еще выдает новые интересные идеи. Его секретная работа над центрифугой для выделения изотопа урана теперь опубликована и является классической в этой области. (Он всегда был в курсе всех

проблем физики, несмотря на свою сдержанность в общении и «вежливую бестактность» речи.) Дирак был пионером в исследованиях неуловимого магнитного монополя, даже набросал его топологические свойства. Он предложил оригинальную космологическую теорию, которая дает объяснение изменению во времени гравитационных констант. Но он уже остался в стороне от новых течений в теории; его последняя широко известная работа была опубликована в 1950 г.

В восьмидесятые годы мы находим пожилого Дирака, восхитительного теоретика, так и не поверившего в полученные с помощью приборов знания, которые легли в основу современных теорий элементарных частиц и сил, возникающих между ними; он все еще считал их «запутанными и опасными». Для него все эти теории были безнадежно испорчены перенормировкой; их неизбежные, но хитро изолированные бесконечности вызывали недоумение. Дирак часто писал о роли математической красоты и единства метода как краеугольных камней великой теории.

У его эстетика и сейчас есть блестящие последователи; жаль только, что их красота — это совсем не то, о чем говорил Дирак, хотя их новая математика достаточно точно описывает наш мир как бездну разнообразных частиц, что в принципе соответствует действительности. Известное открытие Дирака неожиданно привело к использованию в физике алгебры. Возможно, красоты этого мира гораздо тоньше, чем описываемые уравнением шестидесятилетней давности.

Эта книга представляет собой восхитительные и поучительные воспоминания о замечательном человеке, рассудительный и документально подтвержденный рассказ, следующий по течению современной физики.

ГОЛОД В ИСТОРИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА: НЕХВАТКА ПРОДОВОЛЬСТВИЯ, НЕДОЕДАНИЕ И ДЕПРИВАЦИЯ. Под редакцией Люсиль Ф. Ньюмен

HUNGER IN HISTORY: FOOD SHORTAGE, POVERTY, AND DEPRIVATION. General editor, Lucile F. Newman. Associate editors, William Crossgrove, Robert W. Kates, Robley Matthews and Sara Milliman. Basil Blackwell, Inc., 1990 (\$ 39.95).

На острове Самос одна из надписей на мраморе воспевае Булагораса — государственного деятеля середины третьего столетия до н. э. Для обеспечения закупок зерна в периоды нехватки продовольствия он трижды «ссужал все деньги, необходимые для

создания резервного запаса зерна, как того хотел народ». И это не единственный случай проявления гражданской доброты: «В Древней Греции было много таких людей, как Булагорас с острова Самос», память о которых увековечена в сотнях подобных надписей. Судя по всему, неурожай были довольно частым явлением в древнем Средиземноморье, но, как известно, голод был там редкостью: благодетели из числа правителей и состоятельных людей старались не допустить «перерастания кризиса в катастрофу». Согласно данным о количестве атмосферных осадков в Средиземноморье, полученным уже в наше время, неурожай пшеницы наблюдаются здесь примерно один раз в четыре года, ичменя — один раз в двадцать лет, но одновременного неурожая обеих культур два года подряд можно не опасаться в течение многих веков. Помогают и запасы зерна, благодаря которым государство может избежать массового голода.

В этой необыкновенной книге рассказывается о последнем межотраслевом семинаре, проходившем в течение года в Университете Брауна, на котором ученые взглянули на историю через «объектив с переменным фокусным расстоянием». В четырех секциях подробно рассматривались четыре периода истории: период, отстоящий от нас на 200 веков; на 10—20 веков (развитие сельского хозяйства в урбанизированных обществах); на 1—2 века (Европа и ее колонии) и наконец последние десятилетия нашего столетия.

В книгу вошли статьи известных специалистов. Одна из этих статей представляет собой подробный демографический отчет, основанный на исследовании огромного числа развалин небольших поселений майя, разбросанных в равнинных лесах в радиусе около 200 миль вокруг великого Тикаля. Эти данные позволяют реконструировать процесс изменения численности населения майя в этом районе с 300 года до н. э. по настоящее время. Быстрый рост численности населения до высшего уровня в 3 млн. человек примерно в 800 году н. э. был связан с интенсивным земледелием. Данные аэрофотосъемки и раскопок свидетельствуют о существовании посевов на обширных низменных участках и террасированных сильно увлажненных землях. Но затем население майя стало неуклонно сокращаться и уменьшилось примерно в 30 раз еще до того, как на их землю ступил Кортес. Передовое сельское хозяйство выродилось в экстенсивное выращивание манса, и до сих пор не существует «какого-либо

убедительного объяснения» этому упадку. Ключ к разгадке лежит в дальнейшем изучении сложной истории майя.

В книге говорится о трех степенях голода, отраженных в подзаголовке. Первая из них связана с нехваткой продовольствия в регионе; вторая — с недоеданием, когда некоторые семьи или группы испытывают трудности с продовольствием, и, наконец, третья, называемая, депривацией, обусловлена отсутствием в рационе людей определенных витаминов. Сегодня в мире недоедает каждый десятый человек, и хотя число таких людей продолжает расти, темпы этого роста неуклонно снижаются.

В нашем столетии были случаи массового голода. Например, в 1944—1945 гг. продовольствие использовалось в качестве «оружия» против Голландии, с тем чтобы вызвать там голод, не наблюдавшийся в Западной Европе 125 лет. В 1959—1961 гг. жесточайший голод разразился в Китае в результате ошибочной политики «большого скачка», проводившейся под руководством председателя Мао. По имеющимся сведениям, голод унес не менее 15 млн. жизней.

В современной Индии свобода широкого публичного обсуждения различных вопросов позволяет заблаговременно выявлять первые признаки голода в различных регионах страны, и это способствовало тому, что теперь голод здесь практически ликвидирован. Но в той же Индии некоторые социальные слои по-прежнему недоедают. Огромные успехи в улучшении продовольственного снабжения населения достигнуты в КНР. Но жестокая правда о трагических годах неурожая в этой стране долго скрывалась центральными властями, которые выдавали погибшие урожаи за отчетное зерновое изобилие. Даже после того, как факт голода был признан, не нашлось никого, кто бы выступил с гневным протестом. Чудовищное бедствие замалчивалось более двадцати лет.

Депривация не столь заметно выраженное явление, как голод или недоедание. Многие люди (в особенности население Перу, Центральной Африки, Гималаев и Новой Гвинеи) испытывают в своем рационе недостаток, например, йода. Часто болезни этих людей связаны с тем, что во время беременности женщины испытывали недостаток йода — незначительного количества этого вещества, содержащегося в морской воде.

Конечно, голод вызывается прежде всего нехваткой продовольствия. Но в современном мире большое значение имеет нарушение спроса. Условно

каждый человек имеет «право на пищу» потому, что он либо выращивает урожай, либо имеет в нем долю, либо потому, что у него есть деньги для покупки продовольствия. При определенных неблагоприятных условиях эта цепочка, обеспечивающая право на пищу, разрывается. По мнению Амарьяты Сена, энергично отстаивающего эту модель в течение десяти лет, голод 1974 г. в Бангладеш, например, явился результатом разрыва такой цепочки. В том году был хороший, хотя и запоздалый, урожай, и сельскохозяйственные рабочие голодали при полных амбарах. Их реальная заработная плата уменьшилась в результате большой безработицы в период влажного посевного сезона, а также в связи со значительным ростом цен. Во всех продовольственных цепочках есть много уязвимых звеньев, и для того, чтобы выковать более прочную цепь, следует потрудиться с каждым звеном. Что является лучшей помощью голодающим — новые семена, продовольствие, деньги или оплаченная работа, предоставление новых земель или просто миротворчество?

Книга читается с интересом и содержит ценную графическую информацию. Заключительная глава, написанная Кейтсом и Миллман, является образцовой благодаря широте кругозора авторов и их прекрасному стилю.

**Мартин Кемп.** НАУКА В ИСКУССТВЕ: ОПТИКА В ЗАПАДНОМ ИСКУССТВЕ ОТ БРУНЕЛЛЕСКИ ДО СЕРА

THE SCIENCE OF ART: OPTICAL THEMES IN WESTERN ART FROM BRUNELLESCHI TO SEURAT. BY Martin Kemp. Yale University Press, 1990 (\$ 60).

Темой этой прекрасной книги, написанной историком искусства из Университета Св. Эндру в Шотландии, стало единство визуального познания природы, что было одной из общих высоких целей науки и искусства эпохи Возрождения. Широкой известностью пользуется работа профессора Кемпа о Леонардо да Винчи. Теперь он создал еще более масштабное полотно, на котором отображена роль визуального восприятия мира в живописных творениях и теоретических трудах многих художников.

На красочных страницах этого объемистого тома широко представлены великолепные цветные репродукции работ великих мастеров. Это непростая книга, и ее чтение потребует от читателя определенного труда. Подтверждает это и сам Кемп: «Я уверен,

что эта книга не предназначена для легкого чтения». Разумеется, все представленные в ней графики и расчеты доступны пониманию читателя, хотя следует признать, что восприятие некоторых страниц потребует значительных умственных усилий».

Семь глав книги сведены в три части. Первая и самая большая из них посвящена открытию и изучению линии прямой видимости — «обманчиво-простой» линейной перспективы, впервые публично продемонстрированной Филиппо Брунеллески при помощи зеркала и специально подготовленного изображения флорентийского собора незадолго до 1413 г. К 1426 г. уже можно было наслаждаться первым шедевром флорентийской перспективы: в книге представлена известная картина Мазаччо «Троица», которая сопровождается схемами, демонстрирующими предполагаемую направленность лучей.

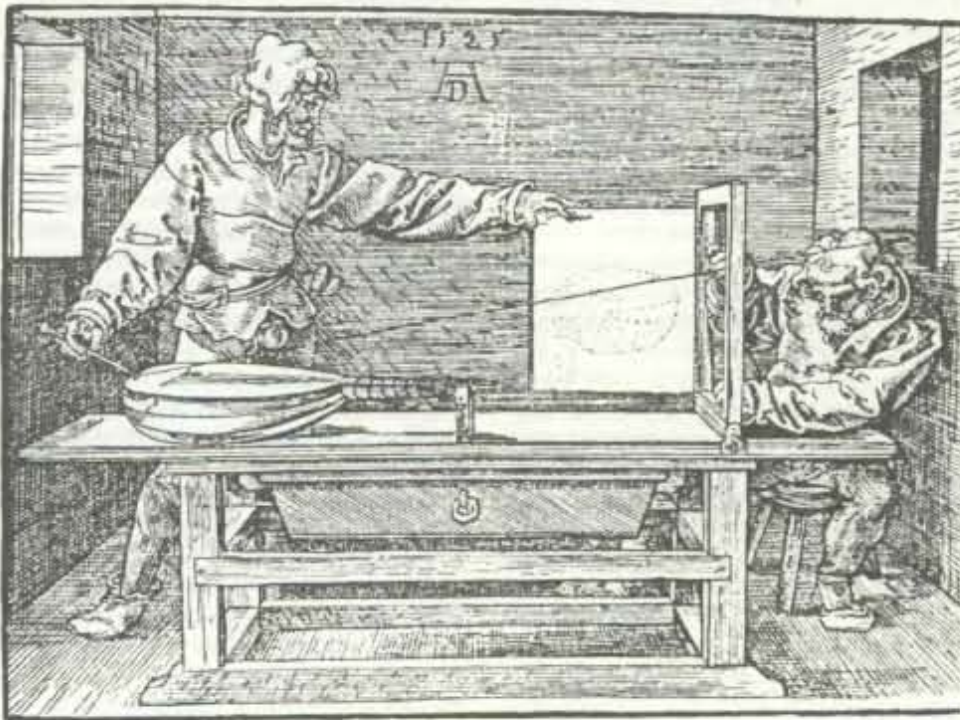
Автор цитирует высказывания художников различных эпох, проводит сравнения, демонстрирует соответствующие иллюстрации и планы. Визуальный анализ и тексты свидетельствуют о том, как художники постепенно пришли к мысли, что упрощенная, неполноценная, «одноглазая» и остроугольная перспектива явно недостаточна. Вслед за этим появились и пышно расцвели разнообразные художественные хитрости: многозначность, воспроизведение текстуры, тени, свободные аппроксимации.

В книге показана знаменитая лютина Дюрера, скрупулезно, точка за точ-

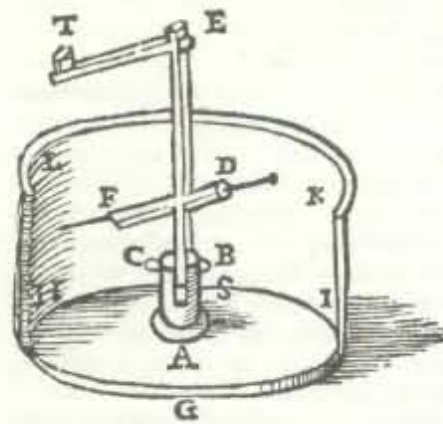
кой, изображаемая в перспективе. Во второй части книги прослеживается увлекательная история инструментов, необходимых для определения перспективы, и рассказывается об их создателях.

К 1570 г. использование выпуклых линз позволило художникам проецировать реальные изображения. Живопись Яна Вермера, все ее мельчайшие детали, изменяющийся масштаб, матовая и искристая текстура, отражения, тени вплоть до странных линзовидных кругов на световых пятнах в течение долгого времени сравнивались с изображениями, сделанными с помощью камеры-обскуры. Недавние исследования показали, каким образом можно составлять планы комнат с картин Вермера для того, чтобы получить любопытную модель реальной техники художника: сначала он наносил на холст общий план, используя при этом съемный объектив, а затем передвигал табурет и мольберт в заранее намеченные места комнаты для того, чтобы передать освещение и бесчисленное множество деталей. Его живопись нельзя назвать механической, скорее всего это длинный путь эстетических поисков.

Третья и самая короткая часть книги посвящена «световым оттенкам» в видении художников. Важное место в этом принадлежит теории, и большинство доказательств можно найти в трудах художников и философов. С помощью классической традиции Аристотеля нельзя дать реального обоснования краски и цвета. Ньютону



**ГРАВЮРА ДЮРЕРА.** Два рисовальщика наносят изображение лютины в перспективе с помощью специального аппарата. (Из трактата Дюрера «Руководство к измерению с помощью циркуля и линейки», 1525 г.)



**ПРИБОР БАЛЬДАССАРА ЛАНЧИ** для проецирования перспективы на внутренней поверхности цилиндра. (Из работы Виттоло «Le due regole», 1583 г.)

принадлежит открытие целой области, касающейся рационального спектра, но субъективность восприятия цвета и сложность всей системы восприятия привели к возникновению целого потока теорий.

Примерно в 1880 г. Жорж Сера объявил себя «оптическим художником». Он был очень требователен к себе. Знаменитые крупные полотна стоили ему огромных трудов. Так, картине

«Воскресенье в парке» предшествовало более 60 известных рисунков и эскизов. Цвет на них передается не в виде точек или пятнышек, а мелкими направленными штрихами или мазками, подобными металлическим опилкам. Это явилось весьма высоким достижением в исследовательской работе художника, которую он проводил в области оптических явлений природы (обман зрения). Натурализм достиг такой достоверности, что, казалось, дальше пути нет. В течение столетий живопись и наука шли в одном направлении. Каждому из этих партнеров хотелось зрительно и правдиво отобразить действительность, признавая при этом существование общего для них ограничения — использование лишь метода наблюдения. Но после появления зеркал, искажающих оптическое изображение и, конечно, телескопа Галилея, можно было довольно уверенно предсказать, что их пути разойдутся. За формой скрывается что-то еще. В новых условиях давний и плодотворный тайный союз следует приспособить применительно к более абстрактной сфере для того, чтобы полноте восприятия суждено было когда-нибудь к нам вернуться.

Вот уже 20 лет ищут молекулярный механизм воздействия этого токсичного соединения, стараясь не поднимать шума и держаться подальше от политических и научных дебатов, развернувшихся вокруг диоксина.

Эти исследователи детально изучают, как и каким образом действует на живые клетки диоксин, который, похоже, имитирует какой-то гормон. Результаты их работы могут прояснить природу биологической активности диоксина, поддержать или опровергнуть выводы, сделанные по данным эпидемиологических исследований, а также дать ценные сведения о генах-мишенях и об экспрессии генов вообще. «В ближайшие пять лет должно выясниться, на какие гены влияет диоксин и какую роль играют эти гены в его токсическом действии, в частности в канцерогенности и подавлении иммунной системы, — говорит токсиколог Э. Зильбергельд из Фонда охраны окружающей среды. — По крайней мере появилась возможность составить представление о действии диоксина на молекулярном уровне».

Известны 75 различных соединений, называемых диоксинами. Когда говорят о диоксине, имеют в виду наиболее активный из них — 2,3,7,8-тетрахлордibenzo-p-диоксин, который и привлекает внимание ученых. Это соединение образуется при горении органических материалов, а также как примесь в некоторых процессах химического производства. В следовых количествах оно содержится в «Orange», которое может использоваться в качестве дефолианта. В 1976 г. в Италии авария на химическом заводе в Севесо привела к значительному локальному загрязнению

## Наука и общество

### Яд на пользу дела

**Ч**ТО ОДНОМУ яд, для другого — предмет вождления. Даже диоксин — печально известная примесь от-

равливающего вещества под названием «Orange», применявшегося во время войны во Вьетнаме, — является объектом страстного внимания немногочисленных искателей истины, кото-

### ДЕЙСТВИЕ ДИОКСИНА В КЛЕТКЕ



окружающей среды диоксином.

Разговоры о том, что «Orange» нанесло ущерб здоровью воевавших во Вьетнаме и рабочих химических заводов, вызвали множество исследований. Эксперименты на животных показали, что в определенных дозах диоксин смертелен. Он вызывает массу различных эффектов, в том числе рак, врожденные дефекты, поражения печени и вилочковой железы, а также подавление иммунной системы; причем картина проявления его токсического действия варьирует и различается у разных видов животных. Результаты эпидемиологических исследований, которые свидетельствовали о повышенной заболеваемости саркомой мягких тканей и лимфомой (отличной от лимфомы Ходжкина) после контакта с диоксином, горячо опровергались. Но критиковались и исследования, не продемонстрировавшие связи диоксина с раковыми заболеваниями. Один из очевидных длитель-

ных эффектов отравления диоксином у человека — это тяжелое, нередко уродующее поражение кожи, называемое хлоракне, при котором появляются угревидные образования.

Понять природу биологической активности диоксина — значит установить механизм, объясняющий, почему на различные живые существа он действует по-разному. Почему, например, доза, смертельная для морских свинок, безвредна для хомяков? Почему у самок крыс развивается рак печени, а у самцов нет?

Как выяснилось, диоксин обратимо связывается с внутриклеточным рецептором, с которым взаимодействуют также полихлордифенилы, сходные с диоксинами. Молекулы этого рецептора не присоединены к клеточной мембране. «Токсическое действие диоксина целиком и полностью опосредовано его рецептором», — считает профессор Макардловской онкологической лаборатории Висконсинско-

го университета в Мадисоне А. По-ланд, который в 1976 г. выделил рецептор диоксина.

Комплекс, образующийся при взаимодействии диоксина с его рецептором, связывается с ДНК в специфических участках. Один из этих участков представляет собой регуляторную последовательность нуклеотидов, расположенную перед геном, который кодирует фермент из семейства цитохромов P-450. Диоксин индуцирует экспрессию и других генов, но данный случай наиболее изучен.

Белок из семейства цитохромов P-450 необходим в процессах детоксикации клетки. Этот фермент-«мусорщик», как его назвал Поланд, участвует в расщеплении жиров. Однако увеличение его содержания может привести к образованию потенциально опасных соединений, так что он подобен обоюдоострому мечу. Следует изучить влияние диоксина на уровень P-450 и последствия этого влияния.

Хотя диоксин способен инициировать метаболические превращения многих соединений, сам он не подвергается расщеплению, отметил Дж. Уитлок из Станфордского университета. Диоксин остается в организме; время его полураспада составляет примерно 5 лет.

Диоксин может влиять и на другие гены. Зильбергельд и ее коллеги в Мэрилендском университете идентифицировали шесть генов (не считая гена вышеупомянутого белка из семейства цитохромов P-450), экспрессия которых изменяется под влиянием диоксина. У. Гринли из Института по изучению токсичности продуктов химического производства в Ресерч-Трай-энгл-Парк (шт. Северная Каролина) получил данные, указывающие еще на два гена, подверженных воздействию диоксина.

Рецептор диоксина обнаружен в клетках многих типов как у человека, так и у животных различных видов, в частности у акулы. Это наводит на мысль, что он имеет какое-то эволюционное значение. У разных видов белки, служащие рецептором диоксина, несколько различаются, однако этими различиями не удается объяснить разницу в токсичности для них диоксина. Одно из возможных объяснений состоит в том, что эффект диоксина зависит от других факторов — характеристик окружающей среды или особенностей генотипа. Участок ДНК, с которым связывается комплекс диоксина и его рецептора, подобен электрическому выключателю с реостатом: диоксин включает, а что-то еще двигает рычажок дальше или выключает.

Диоксин, по всей видимости, не

повреждает ДНК. Этот факт наряду с другими экспериментальными данными побудил исследователей предположить, что диоксин является не индуктором, а промотором канцерогенеза, т. е. какие-то иные факторы вызывают злокачественное перерождение клеток, а диоксин способствует этому процессу. Действительно, в опытах на животных диоксин ускорял образование опухолей, возникших в результате введения в клетки канцерогена.

Эксперименты также показали, что диоксин влияет на нормальный клеточный рост и дифференцировку человеческих клеток кожи, а также других тканей, в том числе крысиных клеток печени. Как обнаружил Дж. Лусьер из Национального института экологического здравоохранения, диоксин вызывает рак печени у крыс только в присутствии эстрогенов. После определенной дозы диоксина у intactных самок крыс опухоли возникали, а у самок, которым удалили яичники, и у самцов — нет, даже при гораздо более высокой дозе. «Вероятно, канцерогенное действие диоксина связано с размножением клеток, а к этому имеют отношение эстрогены», — считает Лусьер.

Роль диоксина в развитии рака все же остается неясной. Среди канцерогенов это вещество выделяется тем, что связывается со специфическим внутриклеточным рецептором.

Недавно Уитлоком было обнаружено, что диоксин может вызывать изгиб ДНК, а это имеет значение для транскрипции генов. По словам Уитлока, в опытах *in vitro* ДНК при связывании с рецептором диоксина изгибается и ее структура искажается. В норме ДНК в ядре плотно упакована и тем самым защищена от воздействия. Изгиб же как бы обнажает ДНК, так что она становится доступной для различных белков, влияющих на экспрессию генов.

Уитлок и другие исследователи определили нуклеотидную последовательность ДНК в участке связывания с комплексом диоксина и его рецептора. На отрезке длиной 400 нуклеотидов 4—5 раз повторяется одна и та же последовательность из 7 нуклеотидов. Такой повтор вряд ли случаен, по мнению Уитлока, и указывает на то, что этот участок обуславливает некое преимущество в ходе эволюции.

Поскольку существуют специфичный рецептор и соответствующий участок связывания в ДНК, предполагается, что диоксин является аналогом какого-то гормона. Однако истинный лиганд рецептора диоксина остается неизвестным. «Природное соединение, являющееся изначально лигандом диоксина должно

быть очень важным», — сказала Зильбергельд, отмечая, что диоксин подобен гормонам в том, что он обратимо связывается со специфическим белком-рецептором.

Не исключено, что у рецептора диоксина и нет естественного партнера. Поланд высказал предположение, что ответная реакция на диоксин является рудиментом: рецептор был предназначен для связывания экзотического лиганда, которого более не существует, а включавшаяся в ответ на него цепь процессов с участием белка из семейства цитохромов P-450 сохранилась. Правда, непонятно, почему подавление иммунной системы или размножение клеток инициируется химическим фактором внешней среды.

Так или иначе, новые данные о диоксине служат весомой поддержкой сложившейся эпидемиологической картины. Подобно тому, как благодаря морфину были открыты эндорфины, диоксин ведет к пониманию экспрессии генов. «Диоксин выявил прежде неизвестную линию передачи информации в организме», — сказал Поланд. — Диоксин мощный яд, а яды проливают свет на тайны физиологии».

### Компьютеры из органических молекул?

В 1983 г. многие стали говорить о том, что те же самые методы генной инженерии, использующие микроорганизмы для производства лекарств, можно применить и для построения компьютеров. Предполагалось, что организмы будут сами собирать «биочипы», представляющие собой сложные кластеры органических молекул, функционирующие как интегральные микросхемы, но имеющие в несколько тысяч раз меньшие размеры по сравнению с обычными электронными компонентами. Такая была идея. Нашлись люди, всерьез вложившие на эту удочку и желавшие вложить свой капитал в эту затею, которая вскоре (а заодно и компания, рекламировавшая эту идею) была разоблачена научной правительственной комиссией.

Эта история, однако, заставила задуматься небольшую группу серьезных исследователей, которые полагают, что действительно можно создать органические молекулы, способные служить в качестве субмикроскопических компьютерных элементов. Но они настаивают, чтобы при описании принципа действия этих элементов термин «биочип» не использовался. Группа поставила перед собой

задачу создать органические молекулы, которые могли бы многократно переходить от электрически проводящего состояния к непроводящему и наоборот, подобно обычным полупроводниковым электронным компонентам, сделанным, например, из кремния.

Эти исследования, преследующие то же стремление к миниатюризации, которое характерно для развития полупроводниковой элементной базы, пока в основном остаются теоретическими. Пройдут годы, прежде чем будет налажено широкое производство молекулярных электронных устройств, если оно вообще когда-либо будет налажено. Тем не менее имеются сообщения об интригующих успехах, уже достигнутых на пути к этому. Некоторые скептики начинают сомневаться: а вдруг в этой фантастической идее и впрямь что-то есть? «Людей очень волнует перспектива выхода химии на новые рубежи», — заявил Р. Метцгер, специалист по физической химии из Алабамского университета в Таскалузе. — Физики вселяют нам надежду, а инженеры по крайней мере уже не смеются над нами».

Летом прошлого года специалист по органической химии Дж. Таур из Университета шт. Южная Каролина в Колумбии, объявил, что ему удалось синтезировать фрагмент молекулы, которая может функционировать в качестве электронного переключателя. Конструкция такого переключателя была предложена в 1988 г. исследователем из корпорации IBM Э. Авиромом. Авиром, начавший размышлять о создании молекулярных компьютерных компонентов еще в начале 70-х годов, уже тогда предвидел возможность синтеза больших органических молекул, способных отдавать и принимать электроны, обеспечивая таким образом протекание электрического тока.

Модель Авиромом могла пропускать один электрон между двумя молекулярными цепями — этого достаточно для переключателя при условии, что перемещениями электрона можно будет управлять. Цепь, отдающая электрон, стала бы в этом случае проводящей, а принимающая цепь — изолирующей. Цепи соединились между собой мостом, по которому мог проходить электрон.

Чтобы не давать электрону скакать, куда ему заблагорассудится, Авиром изогнул мост под углом 90°, так что молекулярные «плечи», если смотреть сверху, выглядели как знак плюс. В этом случае цепи отделены друг от друга, а электрон переходит от одной цепочки к другой лишь вы-

### Применение гербицидов под вопросом

Дискуссии по поводу опасности применения дефолианта, известного под названием «Orange», были сосредоточены в основном на проблеме загрязнения окружающей среды диоксином. Но другие компоненты этого оранжевого порошка тоже вызывают тревогу. «Orange», широко применявшийся во время войны во Вьетнаме в качестве боевого отравляющего вещества, представляет собой смесь равных частей 2,4,5-трихлорфеноксиуксусной (2,4,5-T) и 2,4-дихлорфеноксиуксусной (2,4-D) кислот. Применение 2,4,5-T было запрещено в 1985 г. А 2,4-D теперь третий по значению среди массово используемых в США ядохимикатов. По оценкам Агентства охраны окружающей среды в течение 1987 г. было употреблено 110—150 млн т этого вещества.

Сейчас нападки на 2,4-D усиливаются. В сентябре прошлого года сотрудники Национального института рака сообщили, что в шт. Небраска среди фермеров, пользовавшихся 2,4-D, в 3 раза чаще среднего встречается раковое заболевание, называемое лимфомой (отличной от лимфомы Ходжкина). Причем риск заболевания увеличивается пропорционально частоте контактов с этим ядохимикатом. Эпидемиолог Ш. Зам, которая возглавила контролируемое обследование, проводившееся Национальным институтом рака, сказала: «Мы не утверждаем, что все дело в одном только 2,4-D. Возможно, воздействуют и примеси, но корреляция с заболеваемостью раком несомненна».

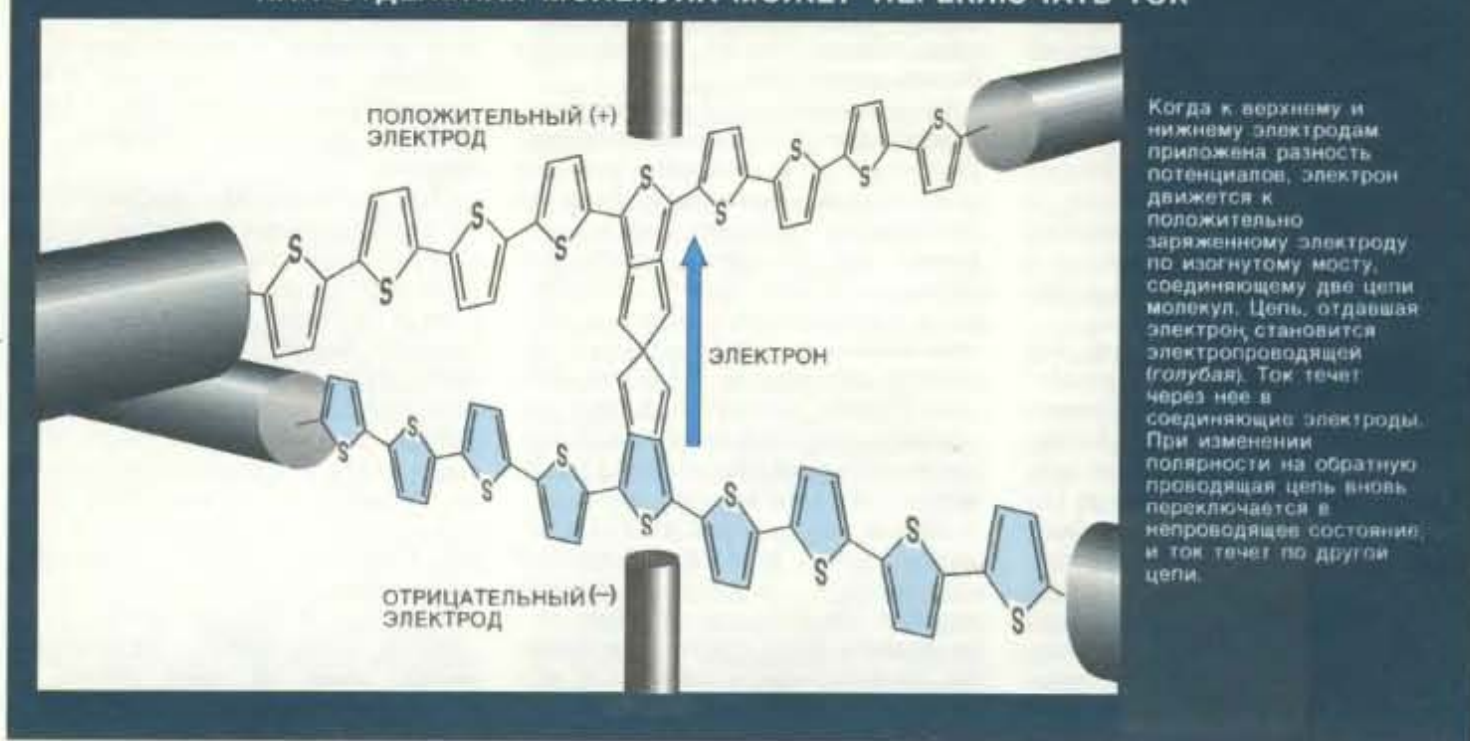
Полученные Зам данные, которые опубликованы в журнале «Epidemiology», сходны с результатами обследования фермеров в шт. Канзас в 1986 г. Тогда было обнаружено, что лимфома встречается в 6 раз чаще у тех, кто пользовался 2,4-D 20 и более дней в году. Зам с коллегами учли разницу между обследованным контингентом и контрольной группой лиц, а также применение других ядохимикатов. Но даже при всех поправках корреляция между заболеваемостью раком и употреблением 2,4-D не нивелируется, как заявил руководитель отдела профессиональных заболеваний Национального института рака А. Блэр, который участвовал в обоих исследованиях.

Однако члены промышленной рабочей группы по контролю исследований действия 2,4-D не согласны с этой интерпретацией данных. Консультант группы, специалист по гербицидам У. Маллисон, который представляет фирмы Dow Chemical Company и BASF, производящие 2,4-D, считает, что результаты обследований не доказывают причинно-следственную связь между 2,4-D и лимфомой. По его мнению, могли сказаться многие факторы, в том числе субъективные. Кроме того, результаты экспериментов на животных не подтверждают выводы Зам, Блэра и их коллег.

Но данные, полученные в 1986 г. в исследованиях на животных, о связи между развитием опухоли мозга и воздействием 2,4-D побудили Агентство охраны окружающей среды в прошлом году объявить, что оно рассматривает специальный обзор по 2,4-D. Такой обзор делается в тех случаях, когда применение того или иного вещества вызывает серьезное беспокойство. Однако промышленная рабочая группа не считает результаты исследований на животных значимыми, поскольку в этих экспериментах опухоли появлялись только у самок крыс, а у мышей и самок крыс такого не наблюдалось. Группа предприняла исследование с целью проверки первоначальных данных.

По словам представителя Агентства охраны окружающей среды А. Хейера, специальное рассмотрение пока не начинаются, ожидая, когда накопится достаточно данных; в частности, нужны результаты еще одного предпринятого Национальным институтом рака обследования фермеров в штатах Айова и Миннесота. Данные, которые будут получены в обследовании, должны быть опубликованы весной 1991 г.

## КАК ОТДЕЛЬНАЯ МОЛЕКУЛА МОЖЕТ ПЕРЕКЛЮЧАТЬ ТОК



Когда к верхнему и нижнему электродам приложена разность потенциалов, электрон движется к положительно заряженному электроду по изогнутому мосту, соединяющему две цепи молекул. Цепь, отдавшая электрон, становится электропроводящей (голубая). Ток течет через нее в соединяющие электроды. При изменении полярности на обратную проводящая цепь вновь переключается в непроводящее состояние, и ток течет по другой цепи.

нужденно, под действием напряжения, прикладываемого к электроду, контактирующего с мостом. Ток при этом проходит по цепочке, отдающей электрон, и по электродам у обоих концов переключателя.

К настоящему времени Таур и двое помогающих ему аспирантов изготовили два варианта таких изогнутых мостов. В одном из них цепи сделаны из электропроводящего полимера, называемого политиофеном, в «скелет» которого входят атомы серы. «Мы строим цепи отдельно, а затем «склеиваем» фрагменты между собой», — говорит Таур. По его словам, используемый ими подход к построению больших молекул по заданному плану заимствован из фармацевтической практики, но этими методами редко пользуются ученые, работающие в области исследования материалов.

Таур признает, что созданная им молекула представляет собой лишь начальный этап программы. После всех химических трюков и напряженной работы, размер молекулы пока не превышает 25 Å, что вдвое меньше половины молекулы, описанной Авиром. «Химики не охотно конструируют такие большие молекулы», — говорит Авиром. — Дело в том, что это очень трудоемкий процесс».

К сожалению, молекула, способная соединить электропроводящие линии на обычных полупроводниковых кристаллах, должна иметь гораздо большие размеры. А такие соединения необходимы для того, чтобы миллиарды молекул можно было бы собрать в

единый работающий узел компьютера. При современной промышленной технологии изготовления электропроводящих дорожек на полупроводниковых кристаллах расстояние между дорожками составляет примерно 8000 Å. Даже методы электроннолучевой литографии, обеспечивающие самую плотную упаковку схемных элементов, не позволяют приблизить друг к другу проводящие дорожки ближе, чем на 150 Å. Чтобы соединить эти микроскопические проводники, молекула должна быть втрое больше модели, постулированной Авиром. Но Таур настроен оптимистично и надеется, что сумеет синтезировать молекулы намного больших размеров. «Теперь все зависит от того, удастся ли прикреплять все больше молекул тиофена к цепочкам», — говорит он.

Авиром и другие сторонники нового направления в электронике рассчитывают, что к тому времени, когда будут готовы органические молекулы, расстояния, которые могут обеспечить литографические методы, уже не будут столь большими. Однако даже в этом случае проблема присоединения молекул к проводящей «пайке» все же останется неразрешимой. Один из возможных выходов — конструировать молекулу, содержащую специальный атом или группу атомов, обладающих химическим сродством к определенным веществам.

«Эти функциональные группы будут играть важную роль в «припаяв-

ании» молекул», — утверждает М. Райтон, химик из Массачусетского технологического института. Он предложил способ, позволяющий упростить процесс изготовления компонентов: поскольку серосодержащие молекулы прилипают к золоту, а карбоксильные группы связываются с окисью алюминия, набор проводников, содержащих эти металлы, можно окунуть в раствор органических веществ, после чего на электродах появятся проводящие соединители, как раз в том месте, где они необходимы.

Другие исследователи, работающие в области молекулярной электроники, полагают, что одиночные молекулы порождают слишком много проблем на пути практической реализации идеи. «Ну как можно присоединить одиночную молекулу?» — вопрошает Метцгер. Он выбрал другой подход и работает над устройствами из тонких молекулярных пленок. Тщательно структурированные слои накладываются друг на друга, образуя как вертикальные, так и горизонтальные соединения; при этом образуются прочные монокристаллические соединения и повышается плотность упаковки.

Метцгер объясняет, что самое важное — это получить нужную ориентацию молекул, для чего необходимо присоединить к ним например, жирные «хвосты», чтобы молекулы, отталкиваясь от воды, выстраивались в одном направлении. Однако он еще не придумал, каким образом можно было бы формировать нужные структуры в слое молекул.

Пленки толщиной в одну молекулу весьма чувствительны к механическим воздействиям и могут быть легко повреждены, но исследователи, предпочитающие эту технологию, уверены, что тонкопленочные устройства будут все же более надежными по сравнению со структурами из одиночных молекул. Чтобы придать пленкам дополнительную прочность, специалисты в некоторых случаях наносят их на полимерные подложки.

Метцгеру и его коллегам удалось изготовить пленку размером 8 x 25 см, и в настоящее время они проверяют ее, чтобы подтвердить ее способность пропускать электрический ток в одном направлении. Следующий шаг связан с управлением процессом изготовления пленки в целях уменьшения рабочего размера. «Через год-два кто-нибудь уже точно будет знать, окажутся ли пленки работоспособными или нет. А потом пройдет не менее десяти лет, прежде чем появятся работающие устройства», — предсказывает Метцгер.

Даже Авиром признает, что с помощью структур на одиночных молекулах вряд ли удастся решить все проблемы. «Никто не спорит, что понадобится некоторая избыточность молекул», — говорит он. Какой именно должна быть эта избыточность, покажут эксперименты. А так как функционально пригодные молекулы пока еще не получены, рассуждать об этой новой технологии можно лишь на интуитивном уровне. Противники данного направления указывают, что чем больше молекул включается в структуру для придания ей дополнительной надежности, тем в большей степени органические системы будут подходить по размерам к обычным электронным устройствам. Сторонники же молекулярной технологии отмечают, что одиночные молекулы, применяемые для обработки и хранения данных, уже существуют в природе в форме ДНК.

Действительно, некоторые ученые именно в природе пытаются найти вещества, являющиеся естественными переключателями. В Сиракузском университетском центре молекулярной электроники Р. Бридж в качестве переключателя высокоскоростного оперативного запоминающего устройства (ЗУПВ) применяет бактериородопсин. Импульс лазерного излучения заставляет этот белок переходить из одной конформации в другую. Бактериородопсин, напоминающий светочувствительный белок, содержащийся в сетчатке человеческого глаза, производится бактериями, живущими в соленых болотах. «Это очень древний организм — единственный

из известных мне, который мог бы переходить от дыхания к фотосинтезу», — замечает Бридж.

Благодаря замечательным электрическим свойствам меди этот элемент занял заметное место в некоторых программах исследований в области молекулярной электроники. Так, группа ученых под руководством Р. Потембера из Лаборатории прикладной физики при Университете Джона Гопкинса добавляет медь к тонкой пленке из органического соединения под названием тетрацианохинодиметан (TCNQ). Импульсы высокого напряжения или лазерного излучения заставляют атомы меди связываться с органическим соединением и диссоциировать, благодаря чему пленка из проводящего состояния переходит к непроводящему. Аналогичная пленка из TCNQ была разработана в Японии специалистами Национальной химической промышленной лаборатории под руководством Х. Тачибана, применившими тепловое воздействие для стимуляции переключения.

Естественно, что лишь отдельные энтузиасты в области молекулярной электроники смогли бы сейчас предсказать, сколько времени пройдет, прежде чем их устройства будут реализованы на практике. Однако всех их вдохновляют быстрые темпы развития техники (в частности, появление сканирующих туннельных электронных микроскопов), помогающей им исследовать и конструировать материалы на молекулярном уровне. Одновременно совершенствуются и методы формирования структур, размеры которых приближаются к крупным молекулам. «Молекулярная электроника — это далекая цель», — считает Авиром и отмечает, что на пути к ее достижению наука добьется многих замечательных успехов.

### Электронный слуховой аппарат

ПРЕДСТАВЬТЕ, что вы пытаетесь продеть проволоку через раковину улитки с отверстием диаметром 1 мм в самой широкой ее части. Проволочка — это электрод, а костяная спираль — часть внутреннего уха, называемая улиткой. Для чего это нужно? Для того чтобы с помощью электричества возбудить близлежащие нервные окончания. Это позволит глухому человеку воспринимать звук. Управление по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств (FDA), тщательно изучив эту идею, в 1985 г. разрешило использовать этот

метод на взрослых людях. На встрече в Национальной академии наук один из выступающих заявил: «Мы скоро закроем школы для глухих».

Однако вряд ли этому суждено осуществиться. Только люди с полной потерей чувствительности слуховых нервов в обоих ушах, которым отоларингологи не помогут уже ничем, могут прибегнуть к имплантации электродов. Такой вид глухоты возникает при разрушении 12 000 чувствительных волосков, покрывающих здоровую улитку и трансформирующих механические колебания звуковых волн в нервные импульсы. Имплантированные электроды заменяют эти волоски. Сейчас около 3 000 человек уже пользуются новым аппаратом. По оценкам специалистов, он может помочь более чем 100 тыс. глухим. За прошедшие 5 лет аппарат был существенно усовершенствован, что в скором времени, возможно, привлечет большее количество желающих обзавестись им.

Первый вариант аппарата, одобренный FDA, с помощью электрической индукции через кожу передавал полученный звуковой сигнал на единственный электрод, находящийся во внутреннем ухе. Такое одноканальное устройство изготавливалось компанией 3М и другими фирмами. С его помощью большинство больных лишь осознавали, что они слышат, и только немногие из них могли понимать речь. Сейчас, как утверждает Б. Гантц, директор Исследовательского центра при Университете Айовы, продажа его в США прекращена, так как стало очевидным преимущество многоканальных аппаратов.

Один из таких аппаратов — 22-канальный имплантат, изготавливаемый корпорацией Cochlea из Энглвуда (шт. Колорадо). Он был первым допущен FDA для имплантации детям от 2 до 17 лет. До этого времени имплантировать себе слуховой аппарат любого типа могли только взрослые, потерявшие слух уже после того, как они научились говорить. Речевой процессор этого аппарата, работающий от батарейки, можно носить на ремне или в кармане рубашки. Он улавливает и кодирует характерные «черты» звука, от самых низких частот звука «а» до высоких при звуке «тс». Закодированный звуковой сигнал затем передается радиочастотным методом на электроды, имплантированные во внутреннее ухо. «Мы пытаемся отсортировать и передать наиболее важные для восприятия речи частоты», — отметил Р. Уэст, президент корпорации.

В будущих моделях планируется имплантировать еще большее количе-



ство электродов. "Результаты показывают, что большее возбуждение дает лучшие результаты, хотя зависимость здесь не прямая", — говорит Г. Кларк из Мельбурнского университета (Австралия), изучающий эту проблему с 1967 г. Он разработал цифровой процессор для слухового аппарата. Кларк предлагает какую-либо особенно важную для восприятия частоту передавать не на один, а сразу на несколько электродов.

Вне зависимости от количества электродов есть один вопрос, вызывающий бесконечные дебаты среди специалистов: каким образом лучше всего передавать звук? Б. Уилсон и его сотрудники из Исследовательского института в Трайнгле и Университета Дьюка (шт. Сев. Каролина) разработали многообещающий подход к этой проблеме, который представляет звук как высокочастотные непрекращающиеся электрические импульсы. (Эта работа финансируется по программе "Нервный протез", разработанной Национальными институтами здоровья.) "Раньше мы посылали максимум 300 сигналов в секунду. Сейчас это количество возросло до 1000", — сказал Уилсон.

По его данным, восприятие речи больными улучшается от 5 до 162%. Уилсон объясняет это тем, что быстрые импульсы позволяют оценивать временные характеристики речи, наиболее существенные при идентификации большинства согласных. Например, для того, чтобы распознать слово "а", надо уловить две паузы до и после звука "а". "Это похоже на телевидение, где неподвижные картинки,

передаваемые с большой скоростью, создают впечатление подвижного изображения", — говорит Уилсон.

Импульсная передача звука может оказаться более эффективной для одних больных, в то время как другие, по словам Гантца, особенно те, у которых сохранилась слабая остаточная реакция, будут лучше реагировать на аналоговую передачу звука, позволяющую воспроизвести широкий спектр частот в более узком диапазоне. Звук передается как непрерывно меняющиеся волны. До операции невозможно предсказать, какая передача звука больше подойдет больному, поэтому производители аппаратов еще не сделали своего выбора.

Специалисты корпорации Smith & Nephew Richards считают, что стоит комбинировать аналоговые и импульсные подходы в одном и том же аппарате. В слуховом аппарате "Ingrid" фирмы Memphis (шт. Теннесси), который проходит сейчас клинические испытания, сигналы одновременно посылаются на четыре из шести электродов. "До сих пор еще не выяснено, как звук обрабатывается в мозге, и вряд ли нам скоро удастся узнать это", — говорит Дж. Шульман, ведущий специалист компании MiniMed Technologies из Сильмара (шт. Калифорния). Его компания разрабатывает 16-канальный аппарат "Искусственное ухо", который может работать с цифровым или аналоговым процессором — импульсным или нет — на высоких и низких частотах. Шульман ожидает, что этот аппарат пройдет клинические испытания буквально в ближайшее время.

"Место, где происходит восприятие раздражения в улитке, столь же важно определить, как и интенсивность раздражения", — полагает М. Skinner, директор программы "Искусственное ухо", работающая на Медицинском факультете Университета Вашингтона в Сент-Луисе. Одна из самых важных и трудных задач — это определить полосы частот для разных электродов, чтобы сигналы посылались в необходимое место улитки. Низкие частоты раздражают самые глубокие области улитки, высокие — внешнюю спираль. "Где находятся наиболее удобные уровни, на которых работают все электроды, надо ли убрать некоторые частоты, мешающие восприятию?" — спрашивает Skinner.

Исследователи стремятся разработать имплантаты также и для самых маленьких пациентов, чтобы полностью использовать преимущества того периода детства, когда быстро развивается речь. Гантц говорит: "Мы пытаемся обнаружить "критическое окно", в котором аппарат работает лучше всего".

Достичь этого особенно сложно у детей до двух лет. Кларк объясняет, что, хотя форма улитки у человека после рождения не меняется, размер ее с возрастом увеличивается. "Нам нужно научиться удлинять проволочку, не извлекая ее. Такая операция была уже проделана на детях старше двух лет. При этом маленькая петелька из проволочки помещалась в плоский пакетик, который потом можно было вынуть. "Техника такой операции не сложная, — сказал он извиняющимся голосом и, улыбнувшись, добавил: — Это, пожалуй, самое простое из того, что мы хотели осуществить".

### Рукописи Мертвого моря

БОЛЬШИНСТВО манускриптов, называемых "рукописями Мертвого моря", и датированных I веком нашей эры (н. э.), было обнаружено в Кумранских пещерах и других местах Иудейской пустыни в конце 1940 — начале 1950 гг. Их находка является, пожалуй, самой большой удачей в археологии библейского периода. Однако редакторы, которым вверено крупнейшее собрание этих документов, находящееся в частном Музее Рокфеллера в Восточном Иерусалиме, за 30—40 лет не опубликовали даже и половины этого сокровища.

Многие ученые считают, что затяжка времени с публикацией рукописей стала настоящим скандалом в филологии нашего столетия. Они говорят, что эти

рукописи утаивались слишком долго, и многие историки, теологи и филологи стали специалистами в своей области и выпустили множество научных работ, так и не получив доступа к этой бесценной информации.

В рукописи входят наидревнейшие манускрипты книг Ветхого Завета и фактически единственные тексты, отражающие представления евреев в период, когда еще только формировались средневековый иудаизм и раннее христианство. "В настоящее время у меня выходит книга по истории еврейской литературы того периода, и я даже не знаю, что ее делает неполной, — жалуется Г. Вермес из Оксфордского университета. — И каждый ученый, специализирующийся в этой и смежных областях, может привести вам подобные примеры."

Вскоре после находки большинство рукописей было передано в Археологический Музей Палестины, позже переименованный в Музей Рокфеллера, и предоставлены в ведение семи ученых, которые были выбраны самим музеем и сотрудничающими с ним западными археологическими обществами. Когда Иордания аннексировала Иерусалим и Западный берег реки Иордан после арабо-израильской войны 1948 года, она признала полномочия редакционной коллегии при условии, что в ее состав не будут входить евреи. Но, как вспоминают сами редакторы, это правило они время от времени обходили.

Сначала последовал буквально взрыв публикаций. Но к началу 1960-х годов он перешел в полное затишье. Тем не менее когда во время арабо-израильской войны 1967 года Израиль установил контроль над Восточным Иерусалимом; он решил не изменять первоначальный состав редакционной коллегии во главе с главным редактором — доминиканским священником Пьером Роландом де Во — при условии, что к работе подключатся несколько ученых-евреев.

"Сегодня эта группа основана на патриархальных принципах", — говорит Вермес. Работу теперь возглавляет Дж. Страгнелл с Теологического факультета Гарвардского университета. Он впервые принял участие в этой программе в 1953 г. в возрасте 24 лет. В начале 80-х гг. он стал ее фактическим руководителем и в 1988 г. — официально третьим по счету главным редактором. Как ревностный страж, Страгнелл отказывается публиковать то, что он считает предварительным исследованием. "Эта работа редакторов, — говорит он, — и публикации не будет до тех пор, пока они не заполнят все пробелы".

Страгнелл с гордостью отмечает, что в итоге его администрация увеличи-



ДРЕВНЕЙШИЙ ЭКЗЕМПЛЯР послания пророка Исайи выставлен в Иерусалиме в Храме Книги, где содержится сравнительно небольшая часть рукописей Мертвого моря, принадлежащих Израилю.

чила число людей, имеющих доступ к рукописям, до 65 человек. Теперь, однако, рассерженные ученые, не вошедшие в этот избранный круг, ведут все более решительную борьбу, чтобы вынудить эту группу опубликовать материалы. Они публично объясняют отсрочки публикации некомпетентностью редакционной коллегии, их медлительностью в работе, имперскими амбициями и нежеланием признать собственное поражение. "Все это тянется слишком долго, — говорит Вермес. — Отказ же был бы для них открытым признанием своего поражения и бездействия в течение длительного времени".

Даже университетское образование Страгнелла не избежало критики. Его враги утверждают, что он не подходит для данной работы, так как в Оксфорде, где он учился, больше внимания уделялось греческому, нежели древнееврейскому, и больше библейскому древнееврейскому, чем более поздним наречиям, на которых написано большинство находящихся в его ведении рукописей. Более того, он стал редактором, когда, по его собственным словам, был никому не известен и лишь начинал свою карьеру.

Один из наиболее решительных оппонентов Страгнелла — редактор популярного ежемесячника "Biblical Archaeology Review" Х. Шанкс. Уже четыре года он проводит кампанию, цель которой — заставить Страгнелла и его коллег опубликовать рукописи. "Страгнелл — превосходный человек, — говорит Шанкс, — но у него есть свои недостатки. Он никогда не писал диссертации, не имеет степени доктора и не написал ни одной книги.

У него есть лишь несколько публикаций, посвященных вверенным ему рукописям Мертвого моря. Главным его вкладом в науку является объемная статья, в которой он исправляет ошибки, допущенные в другой публикации.

Этой весной Шанкс опубликовал критические выступления 16 крупных ученых по поводу редакторской монополии на рукописи. Недавно в телевизионном интервью Страгнелл отмахнулся от них, как от "надоедливых мух". Юрист по образованию, не претендующий на филологические знания, Шанкс сконцентрировал недовольство сотен ученых. По-видимому, это оказало косвенное давление на Страгнелла, так как эти выступления привели в замешательство Департамент древности Израиля, который потребовал полной власти над редакторами. (Так же, как и правительство Иордании, с которым редакторы поддерживают тесные связи.)

Сначала Страгнелл установил определенные сроки для публикации документов, несмотря на то, что последние годы все сроки были пропущены и некоторые из них будут просрочены и в этом году. Страгнелл признает, что его предшественники позволяли редакторам работать "спустя рукава", но утверждает также, что с его приходом все изменилось. "Теперь каждый, кого мы принимаем на работу, подписывает соглашение, согласно которому он должен выполнять работу в соответствии с установленным графиком, — и добавляет, — было бы справедливым оставить старые правила для старых работников", — таких как он сам и трое его коллег.



Страгнелл отклоняет обвинения критиков в том, что их работа пострадала, так как они были лишены доступа к неопубликованным материалам. Он утверждает, что любой серьезный ученый может увидеть документы, относящиеся к сфере его интересов, просто обратившись к ответственному за них редактору. Проситель может обжаловать отказ редактора у самого Страгнелла, который уверяет, что отменит его, если проситель сможет доказать серьезность своих изысканий. По его словам, из десяти обращений в год пять оказываются серьезными, а пять — нет.

А как же Вермес? "Он некомпетентен", — твердо заявляет Страгнелл. Профессор Оксфордского университета — и некомпетентен? "Он компетентен в других вещах, — говорит Страгнелл, — но у него нет специальных навыков. Я уважаю его за другие таланты, и если бы он пришел сюда, я бы обязательно рассмотрел его просьбу." Вермес в свою очередь утверждает, что он отказался от подобных попыток много лет назад, после того как он и десятка два его коллег обращались за разрешением на доступ к рукописям и не получили вообще никакого ответа.

Что же касается обвинений в медлительности, то здесь Страгнелл ссылается на то, что все редакторы имеют обязательства и перед университетами и большинство из них могут работать над рукописями лишь во время летних каникул или академических отпусков. Страгнелл добавляет, что никогда не рассматривалась идея оплаты сотрудников, работающих полный рабочий день. "Вспомните, что оба предыдущих редактора были монахами и они не задумывались над увеличением жалованья, — говорит он. — Теперь я получаю столько, сколько мне необходимо; к тому же, нам не хотелось бы быть должниками."

Ф. Кросс из Гарвардского университета, единственный оставшийся член первоначального состава редакционной коллегии, объясняет нежелание публиковать документы "выскапывать и склонностью к совершенству", присущей многим его коллегам, но возражает против передачи материалов тем, кто будет работать быстрее. "Обычно, когда вы поручаете подобные вещи ученому, предполагается, что он всю свою жизнь посвятит этой работе", — сказал он.

Некоторые утверждают, что монополия редакторов помогает им зата-

живать собственную работу в надежде на то, что она становится неуязвимой для критики. "Ученым свойственно стремление сказать последнее слово по этим текстам, — говорит Й. Фицмайер из Католического университета. — Однако мы знаем, что никто из тех, кто прокладывает путь в публикации древних текстов, никогда не говорит в этом последнее слово."

Фицмайер временно сотрудничал с редакторами, помогая им составлять алфавитный указатель слов, встречающихся в рукописях, — с указанием местонахождения каждого слова. Алфавитный указатель был закончен в 1960 г. и все еще не издан. Правда несколько его копий каким-то образом попали на "волю", и теперь ученые могут пользоваться одной из них на Теологическом факультете Гарвардского университета. Шанкс утверждает, что редакторы не публикуют алфавитный указатель для того, чтобы сохранить свою монополию. "Они держат этот указатель в тайне многие годы, — говорит он, — и объяснят вам, что причина такой секретности в том, что кто-то мог бы воспользоваться этим указателем и начать ком-



ДЖОН СТРАГНЕЛЛ из Гарвардского университета возглавляет коллегию, которая контролирует большую часть документов, найденных в Иудейской пустыне.

пировать материалы рукописи."

Никто не отрицает, что подготовка к изданию тысяч отрывочных пергаментов — дело трудоемкое; по словам Кросса, это "величайшая в мире составная картинка-загадка". Например, один из свитков сделан из меди, и его необходимо было сначала разрезать на множество частей, прежде чем приступить к старательной расшифровке. Другие рукописи нужно было собирать из кусочков пергамента, размер которых часто достигал лишь нескольких кв. сантиметров.

Кросс отмечает, что у редакционной коллегии ушло 10 лет на то, чтобы собрать 1200 с лишним пластинок

(фотографий восстановленного материала, зажатого между двумя листами стекла). Эта работа закончилась приблизительно в 1960 г., однако отдельные фрагменты все еще добавляются. Тем не менее большинство из материалов, не требующих столь кропотливой обработки, уже вышло в свет. Работа по транслитерации, переводу и толкованию оставшихся текстов займет гораздо больше времени. "А вы хотите получить пластины, на которых помещены сотни пронумерованных отрывков с множеством пробелов, — говорит он. — Сколько же измышлений будет опубликовано в связи с этим!"

В основном сейчас ведется работа по изучению пластинок, а не подлинных документов, которые упрятаны подальше от стихийных бедствий и от бомбежек ближневосточных войн. Израиль, владеющий гораздо меньшим собранием документов, надежно упрятал его в Храме Книги в Иерусалиме. Страгнелл заверил, что факсимиле его документов не грозит ничего, кроме Апокалипсиса, так как засекреченные фотокопии текстов находятся в восьми институтах разных стран, две из них — в США. Естественно, для посторонних они недоступны.

Н. Голб из Чикагского университета пошел дальше всех критиков, объясняя промедление с публикацией материалов предубеждением некоторых редакторов. Он утверждает, что Страгнелл и его соратники будут тянуть с публикацией до тех пор, пока не смогут увязать сами документы с признанной теорией, согласно которой все эти рукописи созданы монашеской сектой, основанной ессеями — приверженцами одного из трех основных религиозных течений Иудеи I века нашей эры. Голб — сторонник другой теории. Он считает, что эти рукописи

являются неразобранной библиотекой, отражающей различные религиозные убеждения, а вовсе не сектантским архивом; они были вывезены из Иерусалима и спрятаны в пещерах непосредственно перед осадой города римлянами, которые в 70 году н. э. разрушили его до основания.

Голб говорит (это признает и сам Страгнелл), что по меньшей мере одна рукопись никак не соотносится с тем, что считается неортодоксальными убеждениями монашеской секты. Но Голб утверждает, что Страгнелл попытался втиснуть идеи, излагаемые в манускрипте, в старую теорию, выдав его за письмо основателя и пер-

вого руководителя предполагаемой секты, письмо столь древнее, что соображения, касающиеся еврейского права и других проблем, заключенные в этом письме, могли с течением времени развиться в представления, ассоциирующиеся с этой сектой. Что же касается того, что могло бы показаться прогрессом в работе редакционной коллегии, то Страгнелл заявил, что он и его сотрудник Элиша Кимрон из Университета Бен-Гурион в Бершеве выпустят в следующем году 600-страничный комментарий к письму, объем которого всего 112 строчек. Это будет самая первая книга Страгнелла, которая хоть как-то касается того, что он называет делом своей жизни.

И даже тогда рукописи Мертвого моря останутся в монопольном владении, если Страгнеллу удастся приобрести дополнительные материалы, которые антиквары хранят как долговременные капиталовложения. "Я веду переговоры с одним кувейтцем о приобретении почти завершённой рукописи, — говорит Страгнелл. — В связи с войной в Кувейте ему, возможно, потребуются деньги."

Тем не менее теперь Страгнелл обещает, что все документы, находящиеся в ведении его группы, будут переданы издателям в течение семи лет. Практически они могут быть опубликованы лет через десять.

### Новые сюрпризы затихшего вулкана

ПРОШЛО десять лет с той весны, когда взрыв вулкана Св. Елены опустошил лесную территорию площадью 500 км<sup>2</sup> на северо-западном побережье США. В результате извержения были снесены деревья на расстоянии 25 км, обвалились горные породы, по речным долинам сошли грязевые потоки. Близ вулкана разрушение было полным: облако пемзы и газа, раскаленное до 600 °С, пронеслось по северным склонам горы, испепелив все на своем пути и создав стерильную "пемзовую равнину". Сегодня десятки тысяч поваленных деревьев покрывают горные склоны взорвавшегося вулкана, напоминая о его разрушительной силе.

По мере того как поврежденный ландшафт восстанавливается, ученые наблюдают эволюционные и экологические процессы, которые, по их словам, противоречат общепринятым идеям о реакции экосистем на нарушение равновесия. Некоторые весьма интригующие заключения были сделаны в ходе наблюдений горячего ручья, образовавшегося в результате извержения. Этот ручей, который

берет начало около купола в центре кратера, имеет температуру 80 °С у главного источника; температура других источников близка к точке кипения на данной высоте — 94 °С. Однако дышащий паром ручей уже приютил новую жизнь.

Переплетения волокнистых синезеленых водорослей тянутся вдоль большей части главного ручья, известного под названием Лувит. Как отмечает К. Дахм, специалист по пресноводным экосистемам из Университета шт. Нью-Мексико, водоросли хорошо развиваются при температурах до 59 °С. Тот же вид водорослей обнаружен в Йеллоустонском национальном парке в шт. Вайоминг, где он обитает в воде с температурой 72 °С.

Ручей Лувит населяют также по крайней мере два типа древней группы одноклеточных организмов, называемых Archaeobacteria. Один из них, питающийся серой, называется *Thermoproteus*; он выдерживает температуру до 96 °С. Другой, который, по-видимому, усваивает метан, живет сейчас при температуре свыше 60 °С. Однако когда ручей был впервые исследован в 1982 г., этот микроб, как оказалось, не мог выдерживать температуру выше 50 °С. Вероятно, он быстро приспосабливается к новой обстановке.

Главный вопрос, озадачивающий Дахма и других, состоит в том, каким образом бактерии, стойкие к горячей воде, так быстро попали на гору Св. Елены. В июне 1981 г., немногим более года спустя после главного извержения, *Thermoproteus* вместе с другой бактерией, выделяющей метан, была обнаружена в испускающей пар

фумароле, где температура газов превышает 100 °С. Дахм не может допустить, что бактерии преодолели расстояние от Йеллоустонского национального парка. Могли ли они находиться под землей со времени последнего извержения вулкана Св. Елены в 1800 г.? Как считает Дахм: "Эту гипотезу надо проверить".

Многие организмы также выжили всего в нескольких километрах от пемзовой равнины, несмотря на выжженную растительность и пепел, покрывающий некоторые участки слоем в 30 см и более. Согласно Ф. Свансону, экологу из Службы леса, выжившие организмы не учитывались во многих описаниях экологического восстановления, поскольку главное внимание уделялось другому. Классические исследования фокусировали внимание на полях, ранее используемых в фермерском хозяйстве. На этих полях присутствовала фауна и флора, отличная от той, которая наблюдается в естественном ландшафте, и таким образом, согласно традиционному представлению, во время восстановления экосистемы виды организмов, типичные для естественного ландшафта, должны сюда мигрировать из внешних районов, осуществляя медленную регенерацию.

Однако на горе Св. Елены многие мелкие животные и растения спаслись благодаря воде или углублениям, заполненным снегом. Животные, спавшие в норах или других защищенных местах во время извержения, по-видимому, также имели более благоприятные условия для выживания. "Спаслись те виды, которые живут



МЕЛКОЛЕПЕСТНИК КАНАДСКИЙ И АНФАЛИС ЖЕМЧУЖНЫЙ дают побеги около поврежденных стволов деревьев у озера Спирит, близ горы Св. Елены. Фото Тима Бэрдсли.

ближе к подножию горы и под землей, — отмечает Свансон. — Организмам, живущим ближе к вершине горы, таким как лось и дугласия, пришлось худо."

В восстановлении нарушенного равновесия после того, как экосистема была серьезно повреждена, большую роль играет случайность. Этому мнению придерживается Дж. Мак-Магон, эколог из Университета шт. Юта. Выжившие организмы распространились из своих убежищ в зону, пострадавшую от извержения, и таким образом ландшафт был снова заселен, причем быстрее, чем могли предположить большинство экологов. Так, например, саламандры и тихоокеанские древесные лягушки, которые, вообще говоря, не могут слишком удалиться от воды, теперь заселили значительную часть территории, пострадавшей от извержения.

Свансон подчеркивает, что участки, где лес был вырублен до извержения, теперь отличаются большим разнообразием растений, чем лесные площади. Причина, по его мнению, заключается в том, что стойкие сорняки, такие как мелколепестник канадский и анфалис жемчужный, хорошо произрастающие в незатененных условиях, уже обосновались на вырубках.

В некоторых местах отдельные виды выжили при извержении, но позже погибли. Например, в течение нескольких лет после извержения засоренные пеплом ручьи часто меняли свои русла и заглушали семена, которые пережили природную катастрофу и начинали давать ростки. В результате, как отмечает А. Маки, эколог Службы леса, ведущий наблюдения за ручьями, возникли "весьма резкие различия" между соседними участками.

На биологов произвело впечатление то, в какой мере даже остатки погибших организмов могут способствовать восстановлению экосистемы. Мак-Магон установил, что листья одного из видов люпина разлагаются с образованием древесных скелетов, которые выплывают роль сетей для органического материала и семян, в том числе и самого люпина. Аналогичным образом поваленные деревья закрепляют почву, которая в противном случае могла эродировать. Пемзовая равнина, где не было выживших организмов, до сих пор отличается более бедным видовым разнообразием, чем другие места.

Поскольку гора Св. Елены представляет собой "площадку" для уникального экологического эксперимента, исследователи надеются установить на ней устройства для длительного на-

людения, чтобы проследить восстановление экосистемы. Для этого Служба леса должна найти где-то 900 000 долл. В конце сентября, однако, этот вопрос еще висел в воздухе.

### Сбережения приносят несчастье?

**М**ОЖНО назвать это явление «дилеммой потребителей». Почти на всем протяжении 1980-х гг. многие экономисты критиковали казавшиеся неутолимыми запросы американского потребителя. Благо для экономики, по их утверждению, заключалось в том, чтобы граждане, не говоря уже о правительстве, скорее не расходовали деньги, а делали сбережения. Но примерно одновременно с появлением газетных заголовков о вероятности войны на Ближнем Востоке на внутренние полосы стали незаметно проникать сообщения об опасности надвигающегося экономического спада. И экономисты, по-видимому, изменили свою точку зрения. Причина, которая выдвигается для того, чтобы объяснить замедление экономического роста, заключается якобы в том, что уровень расходов на потребление у американцев недостаточно высок.

В чем причина такого противоречия? «Существует различие между краткосрочной и долгосрочной перспективами», — утверждает Джеффри Карлайнер, директор-распорядитель Национального бюро экономических исследований в Кеймбридже, Массачусетс. Сокращение расходов на потребление, которое объективно сопровождается увеличением накопления, обычно приводит к экономическому спаду, но и чрезмерное потребление не может служить основой для стабильного экономического роста на долгосрочную перспективу.

Ближайшие последствия снижения расходов на потребление очевидны. Все случаи замедления экономического роста последнего периода связывались с колебаниями потребительских расходов. Сокращение продаж особенно дорогостоящих товаров, таких как дома и автомобили, означает уменьшение потока денег, проходящих в целом через экономику. По мнению Тимоти Тейлора, главного редактора журнала *Journal of Economic Perspectives*, с 1960-х гг. в большинстве случаев виновником экономического спада был федеральный резервный банк. Как только банк замечал, что возрастает инфляция, он повышал процентные ставки, после чего увеличившаяся стоимость займов неизбежно приводила к сокращению потребительских расходов.

Напротив, наблюдающееся в настоящее время сокращение потребительских расходов может быть в значительной степени результатом снижения доверия к экономике. Исследования, проведенные Conference Board, предпринимательской группой из Нью-Йорка, показывают, что в августе потребители были более пессимистичны по отношению к экономике (и своим собственным финансовым перспективам), чем сразу же после потрясений на фондовой бирже в 1987 г. Между тем федеральный резервный банк не проводил значительного повышения процентных ставок. Если они действительно возрастут в ответ на инфляционное давление в результате повышения цен на нефть, может произойти еще большее снижение потребительских расходов.

Хотя сокращение потребления может привести к экономическому спаду, это не значит, что, по мнению экономистов, безудержное потребление вдруг стало гражданским долгом. С позиций долговременной перспективы, считает Эдвард М. Грэмлич из Мичиганского университета в Анн-Арборе, норма сбережений в США по-прежнему слишком низка для того, чтобы обеспечить капиталовложения, необходимые для поддержания экономики на плаву.

Расходы на сбережения упали с послевоенного среднего уровня в 8% от дохода после уплаты налогов до 3,2% в 1987 г. В последние два года эти расходы вновь возросли примерно до уровня 4,5%. В 1980-х гг. США преуспевали лишь благодаря получению займов и продаже своей собственности более богатым странам. По мнению Грэмлича, такая политика в итоге приведет к необратимой потере доходов.

Политикам предстоит решить головоломку, заключающуюся в том, каким образом увеличить сбережения до уровня, достаточного для того, чтобы предотвратить возможную резкую нехватку средств, не прибегая при этом непосредственно к головному пайку. Если сбережения в национальном масштабе возрастут (в результате колебаний в потреблении или, вероятно, сокращения бюджетного дефицита), экономический рост замедлится ввиду снижения спроса на товары и услуги. Однако в долгосрочной перспективе, как утверждает Грэмлич, последствия будут положительными, так как в связи с падением спроса произойдет снижение цен. Более низкая цена денег — процентные ставки — стимулирует капиталовложения для производства большего количества товаров и услуг, в результате чего происходит ускорение экономи-

ческого роста. Согласно этой точке зрения, снижение темпов экономического роста — если не прямой спад — в определенной степени неизбежно независимо от уровней расходов и сбережений потребителей.

Еще больше осложняет дело, считает Бэрри П. Босуорт из Brookings Institution, то, что кратковременные неприятности, вызванные снижением расходов на потребление, могут и не привести к стабильному экономическому росту в долгосрочной перспективе. По его мнению, сами по себе сбережения не способны преобразоваться в капиталовложения до тех пор, пока федеральный резервный банк будет удерживать процентные ставки на высоком уровне для противодействия инфляции. Вряд ли люди будут помещать деньги в потенциально рискованные капиталовложения, когда они могут заработать не меньше на депозитивных сертификатах. Чистые внутренние капиталовложения сократились с 5,3% от национального дохода в 1988 г. до 4,7% в 1989 г. даже при почти аналогичном росте расходов на сбережения. Тем не менее у Босуорта нет уверенности в том, что федеральный резервный банк пойдет на снижение процентных ставок с тем, чтобы стимулировать капиталовложения и экономическую активность.

Стимулирование экономики может оказаться неподходящим вариантом действий. Тейлор подчеркивает, что ни правительство, ни потребители не сделали достаточных сбережений в период высокого экономического роста в середине 1980-х годов. Если экономический рост замедлится, произойдет сокращение налоговых поступлений, и поэтому попытки подхлестнуть темпы роста экономики путем увеличения правительственных расходов или снижения налогов привели бы к резкому росту бюджетного дефицита, что в свою очередь отрицательно сказалось бы на экономическом росте в будущем. Принимая во внимание годы, когда наблюдался недостаточный уровень капиталовложений, Соединенные Штаты просто могут оказаться не в состоянии поддерживать стабильный экономический рост и уровень расходов, достаточные для того, чтобы обеспечить экономике «мягкую посадку», на что рассчитывали политики до кризиса на Ближнем Востоке.

Несмотря на мрачное единодушное экономистов, потребители могут решить дилемму — расходовать или копить — самостоятельно. Фабриан Линден из Conference Board считает, что доверие потребителей к экономике повышается после резкого падения, вызванного иракским вторжени-

## БОЛЬШИЕ НАКОПЛЕНИЯ СНИЖАЮТ ПОТРЕБЛЕНИЕ



ем в Кувейт 2 августа. У потребителей богатый опыт краткосрочного экономического прогнозирования. Статистика может рисовать картины

одну мрачнее другой, считает Линден, но, «к счастью, простой человек — не экономист».

Элизабет Коркоран и Пол Уоллич

## Внимание читателей!

### ТЕМАТИЧЕСКИЕ ВЫПУСКИ ЖУРНАЛА ТИИЭР

Журнал *ТИИЭР* (Труды Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике) представляет собой ежемесячный перевод журнала *Proceedings of the IEEE* (США). На 1991-й подписной год планируются следующие тематические выпуски:

- МАГНЕТИЗМ СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ НЕЙРОСЕТИ
- ИНТЕГРАЛЬНАЯ ВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА (малый выпуск)
- ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ (малый выпуск)
- ЦИФРОВЫЕ СЕТИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
- НАНОЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА
- МАССИВНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ЭВМ
- ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ
- БОРТОВЫЕ РЛС ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ И ПЛАНЕТ (малый выпуск)
- ВРЕМЯ И ЧАСТОТА
- КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
- НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА РЕАЛЬНОВРЕМЕННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (малый выпуск)
- АНТЕННЫ
- ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ
- ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИМПУЛЬСНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ
- СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО СЧИТЫВАНИЯ ЗНАКОВ

Журнал включен в «Каталог на зарубежные издания на 1991 год» (раздел «Переводные научные и научно-технические журналы», индекс 91365). В переводе сохраняется нумерация томов и номеров оригинала. Первый номер по подписке 1991 г. выйдет в июле 1991 г. Подписная цена на год 216 р.



## Сделать Марс обитаемым



КРИСТОФЕР П. МАККЕЙ, РОБЕРТ Х. ХЕЙНЕС

**В**ОПРОС о том, должны ли мы имплантировать жизнь на Марс, содержит в себе другой вопрос: сможем ли мы это сделать? Интерес к данной проблеме и ее этические аспекты, с которыми нельзя не считаться, остаются спорными, пока осуществимость этой задачи не перестанет быть проблематичной.

Марс можно было бы сделать обитаемым с помощью стратегии, которую мы называем экопоесисом, предполагающим создание самоподдерживающейся экосистемы на безжизненной планете. Греческие корни этого слова означают «устроить жилище», поселиться на новом месте. Создание такой экосистемы предполагает сотворение среды, в которой мог бы протекать эволюционный процесс, и по возможности без дальнейшего вмешательства человека. Идея о занесении жизни на другие планеты уже перестала быть темой только научной фантастики. Подтверждением тому служит встреча небольшой группы ученых в Эймсовском исследовательском центре НАСА, которые собрались, чтобы обсудить все вопросы, связанные с экопоесисом как долгосрочной целью международного сотрудничества в рамках программы исследования космического пространства.

Полеты к Марсу позволили установить, что температура на поверхности планеты довольно низкая и в летнее время в среднем составляет  $-60^{\circ}\text{C}$ , и что там отсутствует влага и почти наверняка нет каких-либо форм жизни. Не считая Земли, Марс по сравнению с другими планетами Солнечной системы менее всего пригоден для обитания, и если бы даже туда и были доставлены какие-либо никак не защищенные организмы, они бы сублимировались, окислились и вскоре превратились в пыль. Значительное количество воды (вечно замороженной форме) и других веществ, необходимых для поддержания биохимических превращений, возможно, и существует в марсианской коре. У Марса очень тонкая атмосфера (давление ее составляет 8 мбар), и в основном она состоит из углекислого газа. При данной орбите, притяжении у поверхно-

сти, наличии подвергающихся эрозии различных пород и при других не поддающихся изменению характеристиках планеты атмосферный слой  $\text{CO}_2$  на Марсе в принципе мог бы быть и более толстым (с давлением 2 бара), и климат при этом мог бы оказаться благоприятным для жизни анаэробных микроорганизмов.

Экопоеис на Марсе можно осуществлять только в два этапа. Первый этап — сугубо технический: на планете нужно будет создать более теплый климат, чтобы на ней образовались жидкая вода и более толстый слой атмосферы за счет освобождения заморозивших газов. Второй этап — биотехнический; он предполагает создание сообществ микроорганизмов, отобранных (или генетически выращенных) для развития в новых пригодных для жизни марсианских условиях. Грубые расчеты показывают, что микробная экосистема на Марсе может быть создана примерно через 200 лет. Пока трудно предсказать, насколько долго можно будет сохранять эти новые условия, хотя они могут оставаться пригодными для жизни в течение довольно длительного периода, возможно, на протяжении 100 млн лет.

Вполне вероятно, что у Марса когда-то были более толстая атмосфера и обилие воды на поверхности. По имеющимся в настоящее время данным, такие благоприятные условия существовали на планете по меньшей мере на протяжении 500 млн лет, но потом исчезли, поскольку на Марсе отсутствуют крупномасштабные циклические геологические процессы. Не исключено, что в этот период на планете началась биологическая эволюция, и остатки ранних этапов зарождающейся жизни, возможно, удастся обнаружить во время последующих экспедиций на Марс. Если никаких потенциально способных к развитию форм жизни там не будет найдено, то только при этом условии мы можем попытаться занести на планету какие-то организмы с Земли.

Хотя успех экопоесиса на Марсе нельзя оценить на основе современных знаний, уже ведущиеся исследования и те, которые предполагается

осуществить в будущем, позволят найти ответы на многие вопросы. И многое из того, что удастся установить с помощью научных исследований, будет иметь отношение к охране окружающей среды на Земле независимо от того, признаем мы экопоесис практически целесообразным или нет.

Изучение возможности осуществить задуманное мероприятие потребует детальных исследований климата на Земле и Марсе, экологических условий на нашей планете в прошлом и настоящем, а также разработки технических методов планетарной инженерии. Исследования, связанные с Землей, должны будут включать взаимосвязи между биохимическими циклами и их отношения к геологической активности и факторам, обеспечивающим стабильность в экосистемах, а также исследование механизмов биохимической адаптации, и в частности тех, которые используют организмы, живущие в экстремальных условиях. Планетарная инженерия должна сфокусировать свое внимание на разработке методов повышения температуры марсианской атмосферы и поверхности. Потепление может быть достигнуто путем понижения отражательной способности полярных ледяных шапок при одновременном инжектировании следовых количеств парниковых газов в марсианскую атмосферу.

Проблема создания экопоесиса на Марсе выдвигает ряд новых этических проблем. В основе традиционных представлений о системе ценностей лежат два прочно укоренившихся в человеческом сознании воззрения на мироздание: антропоцентризм и геоцентризм. Этические принципы формулируются главным образом для регулирования отношений между людьми в условиях их жизни на Земле. Однако в последние годы границы наших этических представлений значительно расширились и стали охватывать все формы жизни, а не только человеческую, включив в себя все возможные виды экосистем и даже неодушевленные структуры, такие, как скалы, земные образования и безжизненные планеты. Эти принципиальные этические нормы в отношении среды обитания включают в себя идею о том, что богатство и разнообразие биоты на Земле по своей сути являются благом. Следовательно, биосфера Земли в том виде, в каком мы ее знаем, по определению, которым оперируют эти теории, должна существовать. Этот вывод со всей очевидностью противоречит закону Юма: «Необходимость нельзя вывести из чего-либо». Это противоречащее логике утверждение, однако, легко упустить из виду в свете серьезных

проблем, которые мы должны решать в связи с разрушением окружающей среды. Что же в этих условиях лучше всего отвечает (или отвечало в прошлом, несколько поколений назад) принятым представлениям о том, что должно быть?

Экопоеис ставит нас перед выбором — сохранить Марс необитаемым или заселить его живой материей: какое из этих двух решений несет в себе большее благо? Было бы нелогичным настаивать, что мертвая планета должна оставаться такой, какая она есть, просто потому, что она такова. В то же время аргументы в пользу экопоесиса вступают в противоречие с современными нормами природоохранной этики в отношении «морального положения» планет. Если на Марсе может быть создана благоприятная для жизни экосистема, то возникает еще один вопрос: имеет ли право эта привнесённая биота на свою собственную естественную (и в то же время непредсказуемую) эволюционную направленность, которой сейчас следуют живые организмы на Земле? Или марсианская биосфера должна развиваться так, чтобы по крайней мере она достигла той стадии, которая на Земле ознаменовалась появлением *Homo sapiens*? Вполне очевидно, что экопоесис поднимает массу философских проблем, которые могут быть разрешены только при условии, если мы будем исходить из космоцентрической природы истинных ценностей.

Допустим, что в результате изучения потенциальной осуществимости экопоесиса на Марсе будет доказана возможность реализации этой идеи. Предположим также, что мы признаем, будто обитаемая планета имеет большую космическую ценность, чем мертвая планета. Почему тогда люди должны проявлять готовность взять на себя решение этой исторической задачи только потому, что ее научная выполнимость и моральная приемлемость не влекут за собой никакой ответственности в дальнейшем? Возможные мотивы довольно разнообразны — от самых возвышенных до самых земных. Наиболее убедительным оправданием является, пожалуй, созвучие смысла этого проекта с идеей, заложенной в мифе о Прометее, который присутствует в культуре многих народов, а также воспроизводительный и размножительный характер императивов, который присущ самой жизни. Эти дополнительные доводы в пользу сохранения, а возможно и распространения, жизни в Солнечной системе служат хорошим предзнаменованием для поддержания и зарождения вселенских обитателей XXI в.

НАУКА, ТЕХНИКА  
И ЗАПАДНОЕ ЧУДО

UNBOUND PROMETHEUS: TECHNOLOGICAL CHANGE AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT IN WESTERN EUROPE FROM 1750 TO THE PRESENT. David Landes. Cambridge University Press, 1969.

PHASES OF CAPITALIST DEVELOPMENT. Angus Maddison. Oxford University Press, 1982.

INSIDE THE BLACK BOX: TECHNOLOGY AND ECONOMICS. Nathan Rosenberg. Cambridge University Press, 1983.

HOW THE WEST GREW RICH: THE ECONOMIC TRANSFORMATION OF THE INDUSTRIAL WORLD. Nathan Rosenberg and L. E. Birdzell, Jr. Basic Books, 1986.

THE EUROPEAN MIRACLE: ENVIRONMENTS, ECONOMIES, AND GEOPOLITICS IN THE HISTORY OF EUROPE AND ASIA. Second Edition. Edited by E. L. Jones. Cambridge University Press, 1987.

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ  
В ЦЕНТРАХ ГАЛАКТИК

EVIDENCE FOR A SUPERMASSIVE BLACK HOLE IN THE NUCLEUS OF M31. J. Kormendy in *Astrophysical Journal*, Vol. 325, No. 1, pages 128—141; 1988.

SUPERMASSIVE BLACK HOLES. Edited by Minas Kafatos. Cambridge University Press, 1988.

THE MEMBRANE PARADIGM FOR BLACK HOLES. Kip S. Thorne and Richard H. Price in *Scientific American*, Vol. 258, No. 4, pages 69—77; April, 1988.

THE RISE AND FALL OF QUASARS. M. Schmidt in *Highlights of Astronomy*, Vol. 8. Kluwer Academic Publishers, 1989.

CONSTRAINTS ON THE MASS DISTRIBUTION NEAR THE CENTER OF M31 AND M32. Douglas Richstone, Gary Bower and Alan Dressler in *Astrophysical Journal*, Vol. 353, No. 1, Part 1, pages 118—122; April 10, 1990.

“DEAD QUASARS” IN NEARBY GALAXIES? Martin J. Rees in *Science*, Vol. 247, No. 4944, pages 817—823; February 16, 1990.

## ГЕНОТЕРАПИЯ

LINEAGE-SPECIFIC EXPRESSION OF A HUMAN  $\beta$ -GLOBIN GENE IN MURINE BONE MARROW TRANSPLANT RECIPIENTS RECONSTITUTED WITH RETROVIRUS-TRANSDUCED STEM CELLS. Elaine A. Dzierzak, Thalia Papayannopoulou and Richard C. Mulligan in *Nature*, Vol. 331,

No. 6111, pages 35—41; January 7, 1988.

DISRUPTION OF THE PROTO-ONCOGENE INT-2 IN MOUSE EMBRYO-DERIVED TARGETING MUTATIONS TO NON-SELECTABLE GENES. Suzanne L. Mansour, Kirk R. Thomas and Mario R. Capecchi in *Nature*, Vol. 336, No. 6197, pages 348—352; November 24, 1988.

AN ALTERNATIVE APPROACH TO SOMATIC CELL GENE THERAPY. D. St. Luis and I. M. Verma in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 85, pages 3150—3153; 1988.

HUMAN GENE THERAPY. Eve K. Nichols and the Institute of Medicine, National Academy of Sciences, Staff. Harvard University Press, 1988.

PROGRESS TOWARD HUMAN GENE THERAPY. Theodore Friedmann in *Science*, Vol. 244, No. 4910, pages 1275—1281; June 16, 1989.

## СМЫСЛ СНОВИДЕНИЙ

INTERSPECIES DIFFERENCES IN THE OCCURRENCE OF THETA. Jonathan Winson in *Behavioral Biology*, Vol. 7, No. 4, pages 479—487; 1972.

LOSS OF HIPPOCAMPAL THETA RHYTHM RESULTS IN SPATIAL MEMORY DEFICIT IN THE RAT. Jonathan Winson in *Science*, Vol. 201, No. 435, pages 160—163; 1978.

BRAIN AND PSYCHE: THE BIOLOGY OF THE UNCONSCIOUS. Jonathan Winson. Anchor Press, Doubleday, 1985.

LONG-TERM POTENTIATION IN THE DENTATE GYRUS IS INDUCED PREFERENTIALLY ON THE POSITIVE PHASE OF  $\Theta$ -RHYTHM. Constantine Pavlides, Yoram

J. Greenstein, Mark Grudman and Jonathan Winson in *Brain Research*, Vol. 439, pages 383—387; 1988.

INFLUENCES OF HIPPOCAMPAL PLACE CELL FIRING IN THE AWAKE STATE ON THE ACTIVITY OF THESE CELLS DURING SUBSEQUENT SLEEP EPISODES. Constantine Pavlides and Jonathan Winson in *Journal of Neuroscience*, Vol. 9, No. 8, pages 2907—2918; August, 1989.

ТЕОРИЯ УЗЛОВ  
И СТАТИСТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

EXACTLY SOLVED MODELS IN STATISTICAL MECHANICS. R. J. Baxter. Academic Press, 1982.

A POLYNOMIAL INVARIANT FOR KNOTS VIA VON NEUMANN ALGEBRAS. V. F. R. Jones in *Bulletins of the American Mathematical Society*, Vol. 12, Part 6, pages 103—111; 1985.

POLYNOMIALS FOR LINKS. W. B. R. Lic-

# Книги издательства „Мир“

Р. Барнс, П. Кейлоу,  
П. Олив, Д. Голдинг.  
Беспозвоночные.

## Новый обобщенный подход

в 2-х томах.

Перевод с английского

Написанное известными английскими учеными руководство по зоологии беспозвоночных, в котором впервые обобщены сведения по эволюции, систематике, морфологии и физиологии беспозвоночных. Книгу характеризует полнота охвата предмета и наглядность изложения. На русском языке выходит в 2-х томах. В т. 1 рассмотрена эволюция и систематика беспозвоночных. Том 2 посвящен функциональной биологии беспозвоночных (питание, дыхание, выделение и осморегуляция, репродукция, онтогенез, нервная и эндокринная системы). Приведен словарь терминов.

Из рецензий: «Книга представляет собой в сущности руководство по биологии беспозвоночных. В этом смысле она уникальна. В подобном издании давно нуждаются ученые и студенты, для которых зоология — не предмет узкой специализации. Однако специалисты-зоологи тоже найдут здесь много нового» (к.б.н. Б.Я. Виленкин). «Это краткое руководство по зоологии беспозвоночных пригодно как учебник для студентов-биологов наших университетов и педвузов» (акад. А.В. Иванов). «Исключительно удачная попытка создания нового типа учебника по зоологии беспозвоночных» (к.б.н. И.В. Успенский).

Для студентов-биологов, специалистов, интересующихся биологией беспозвоночных, преподавателей биологии в школе. 1991 г. Цена 5 р. 10 к. за комплект. Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы.

Позиция № 101 по плану издательства на 1991 г.



korish in *Bulletins of the London Mathematical Society*, Vol. 20, pages 558—588; 1988.

QUANTUM FIELD THEORY AND THE JONES POLYNOMIAL. Edward Witten in *Communications in Mathematical Physics*, Vol. 121, No. 3, pages 351—399; 1989.

REPRESENTATIONS OF THE ALGEBRA  $U_q(SL_2)$ , Q-ORTHOGONAL POLYNOMIALS AND INVARIANTS OF LINKS. A. N. Kirillov and N. Yu. Reshetikhin in *New Developments in the Theory of Knots*. Edited by T. Kohno. World Scientific Publishing, 1990.

## ДРЕВНЕГРЕЧЕСКИЙ МЕЛЬНИЧНЫЙ КОМПЛЕКС

ENGINEERING IN THE ANCIENT WORLD. John Landels. University of California Press, 1978.

THE LARGE ROMAN WATER MILL AT BARBÉGAL (FRANCE). Robert H. J. Selin in *History of Technology*, Vol. 8, pages 91—109; 1983.

STRONGER THAN A HUNDRED MEN: A HISTORY OF THE VERTICAL WATER WHEEL. Terry S. Reynolds. Johns Hopkins University Press, 1983.

THE ORIGINS OF WATER POWER: A PROBLEM OF EVIDENCE AND EXPECTATIONS. N. A. F. Smith in *Transactions of the Newcomen Society*, Vol. 55, pages 67—84; 1983—84.

ROMAN AQUEDUCTS AND WATER SUPPLY. A. Trevor Hodge. Gerald Duckworth & Co., Ltd. (in press).

Ходж А. Тревор. Сифоны в древнеримских водопроводах. «В мире науки», 1985, № 8.

## МЕХАНИКА КРЫЛЬЕВ НАСЕКОМЫХ

SUPPORT AND DEFORMABILITY IN INSECT WINGS. R. J. Wootton in *Journal of Zoology*, Vol. 193, Part 4, pages 447—468; 1981.

FUNCTIONAL ASSESSMENT OF WING STRUCTURE IN INSECTS. A. K. Brodskiy and V. D. Ivanov in *Entomological Reviews*, Vol. 62, Part 1, pages 35—52; 1983.

THE AERODYNAMICS OF HOVERING INSECT FLIGHT. C. P. Ellington in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B, Vol. 305, No. 1122, pages 1—181; 1984.

AN APPROACH TO THE MECHANICS OF PLEATING IN DRAGONFLY WINGS. D. I. S. Newman and R. J. Wootton in *Journal of Experimental Biology*, Vol. 125, pages 361—372; 1986.

THE IMPORTANCE OF TORSION IN THE DESIGN OF INSECT WINGS. A. Roland

Ennos in *Journal of Experimental Biology*, Vol. 140, pages 137—160; 1988.

## ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА

EVERYBODY COUNTS: A REPORT TO THE NATION ON THE FUTURE OF MATHEMATICS EDUCATION. National Academy Press, 1989.

## В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 04.01.91.  
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.  
Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,25 бум. л.

Бумага офсетная №1.

Усл.-печ. л. 12,50.

Уч.-изд. л. 16,33.

Усл. кр.-отт. 52,00.

Изд. № 25/8259. Заказ 1.

Тираж 14200 экз. Цена 3 р.

Издательство «Мир»

Госкомпечати СССР

129820, ГСП, Москва, И-110,

1-й Рижский пер., 2.

Набрано в Межиздательском

фотонаборном центре

издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

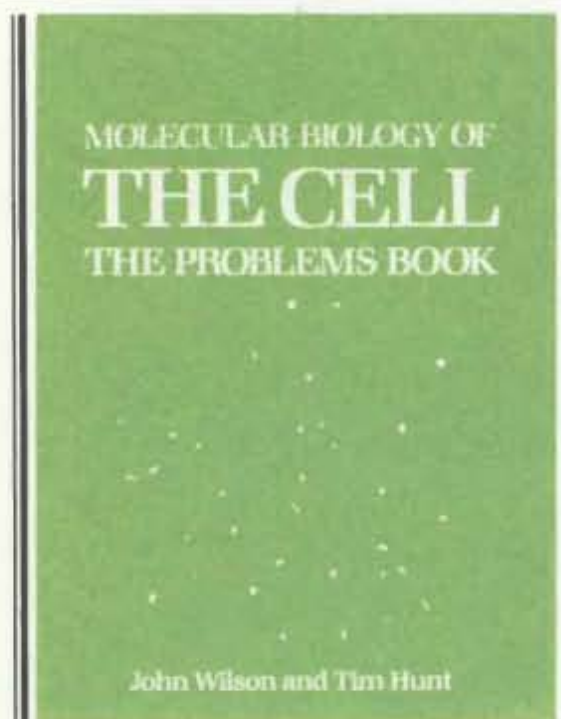
Госкомпечати СССР

127576, Москва, Илимская, 7



# Книги издательства „Мир“

Дж. УИЛСОН, Т. ХАНТ  
МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ КЛЕТКИ  
СБОРНИК ЗАДАЧ  
Перевод с английского



Книга американских авторов — приложение ко 2-му изданию учебника «Молекулярная биология клетки» Б. Албертса, Д. Брея, Дж. Льюиса и др. Содержит вопросы и задачи, цель которых — углубить понимание текста учебника, научить планировать эксперимент (в области биохимии, цитологии, физиологии клетки, молекулярной биологии) и критически оценивать результаты. Материал книги может быть использован для компьютеризации процесса обучения.

Для преподавателей и студентов биологов, биофизиков и медиков.

1992 г. 41 л. Цена 4 р. 40 к.

Заказы на книгу будут приниматься в магазинах научно-технической и медицинской книги в апреле-мае 1991 г. после поступления тематического плана издательства на 1992 г. (поз. № 89)

