

# В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC  
AMERICAN

*Издание на русском языке*



Январь **1** 1989

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ГРОЗОВЫХ  
ОБЛАКОВ

# Вниманию читателей!

С. Нешиба

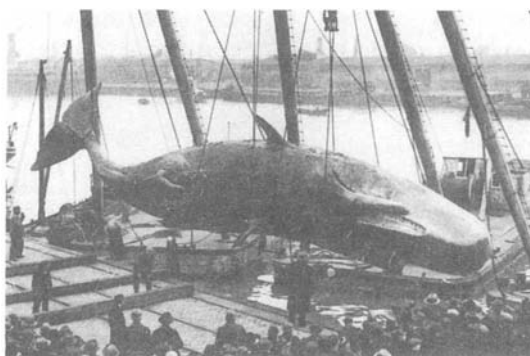
## ОКЕАНОГРАФИЯ

В 2-х томах  
Перевод с английского



Книга известного американского ученого обобщает современные знания об океанских бассейнах и дает комплексное описание природы океанов на фоне общей природы планеты. Океаны рассматриваются с точки зрения физики, химии, геологии и биологии, т.е. с точки зрения сосуществования и взаимодействия соответствующих процессов. В 1-ом томе излагаются основы геологии океанов, форма бассейнов, тектоника плит и хребтов, граничные зоны между материками и океанами, осадконакопление, рассматриваются физические свойства и режим океанских вод, взаимодействие атмосферы и океанов, океанские течения и циркуляция. Значительное внимание уделяется морской биологии. во 2-ом томе освещаются природные особенности прибрежных течений, движение береговых осадков, особые условия морской жизни возле берегов различных типов. Рассматриваются характерные черты полярных океанов и история развития океанов и континентов с точки зрения современной теории литосферных плит. В разделе «Море и человек» раскрываются такие специальные вопросы как морское законодательство, рыболовство, аквакультуры, загрязнение, минеральные ресурсы и их эксплуатация, энергетические источники океанов и др.

Для океанологов, морских геологов, биологов и студентов соответствующих специальностей, а также для физиков и химиков, интересующихся проблемами океанографии.



1990,60 л. Цена 11 р. 50 к.

На книги, выходящие в 1990 г.,  
магазины научно-технической литературы принимают заказы  
с апреля - мая 1989 г.  
Издательство заказы не принимает



# В МИРЕ НАУКИ

*Scientific American* • Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 1 • ЯНВАРЬ 1989

## В номере:

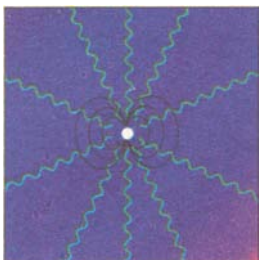
(Scientific American, November, 1988, Vol. 259, No. 5)

### СТАТЬИ



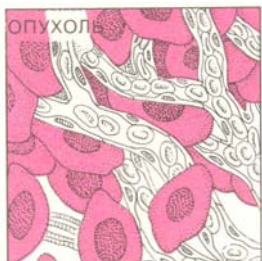
- 6** Обучение детей из бедных слоев национальных меньшинств  
*Джейме П. Камер*

Школы должны добиваться поддержки родителей и стараться гибко и конструктивно реагировать на запросы учащихся. Достижение этой цели позволяет новый подход к обучению, опробованный в школах Нью-Хейвена



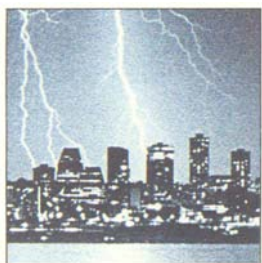
- 14** Квазипериодические колебания интенсивности у космических источников рентгеновского излучения  
*Мишель ван дер Клис*

Не совсем периодические, но и не полностью случайные колебания интенсивности рентгеновского излучения дают ключ к пониманию природы необычно ярких рентгеновских источников, имеющих слабо выраженную тенденцию к сгущению вокруг центра Галактики



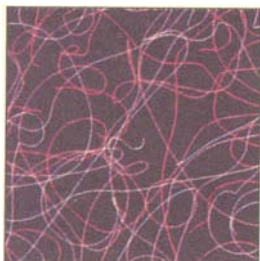
- 24** Причины метастазирования раковых клеток  
*Майкл Фельдман, Лия Э. Зенбах*

Раковые клетки, которые распространяются по всему организму больного, обладают отличительными особенностями на молекулярном уровне. Эти признаки подробно изучены, что позволяет превращать злокачественные клетки в доброкачественные



- 34** Электризация грозовых облаков  
*Эрл Р. Вильяме*

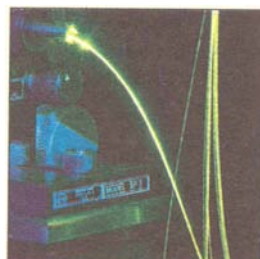
Хотя уже двести лет известно, что молния - один из видов электрического разряда, микрофизические процессы, приводящие к зарядке грозовых облаков, остаются предметом СПОРОВ



#### 46 Сверхтекучая турбулентность

*Рассел Дж. Доннелли*

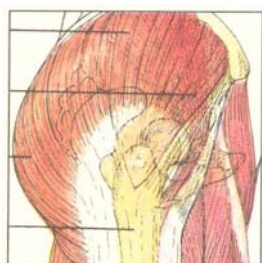
Жидкий гелий, охлажденный до температуры 2,172 К выше абсолютного нуля, течет без вязкости и трения, однако в нем почти всегда возникает турбулентность. Эта необычная турбулентность имеет квантовомеханическую природу



#### 56 Инфракрасные волоконные световоды

*Мартин Г. Дрексгейдж, Корнелиус Т. Мойнихэн*

Новые стеклянные и кристаллические световоды, более прозрачные для излучения в длинноволновой области оптического диапазона, чем кварцевые световоды, находят сейчас применение в системах оптической связи, медицинской диагностической аппаратуре и в волоконно-оптических лазерах



#### 64 Эволюция выпрямленного способа передвижения у человека *К. Оуэн Лавджой*

Как показывает анализ строения таза «Люси» - самки гоминида, жившей 3 млн. лет назад, она передвигалась на двух ногах столь же легко, как и современный человек. Бипедия, или двуногость, возникла на самой ранней фазе эволюции человека



#### 74 Что мешает вакцинации населения развивающихся стран

*Энтони Роббинс, Филлис Фриман*

Сейчас уже применяются шесть вакцин и в ближайшие годы можно было бы внедрить в практику много других препаратов. Но разработчики и производители вакцин не заинтересованы в обеспечении третьего мира

#### РУБРИКИ

4 Об авторах

88 Наука вокруг нас

32, 44, 54, 62,

72, 80, 86, 92,

98 Наука и общество

82 Занимательный компьютер

94 Книги

5 50 и 100 лет назад

102 Эссе

103 Библиография

# SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel  
EDITOR

Harry Myers  
PRESIDENT AND PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Armand Schwab, Jr.  
Timothy Appenzeller  
Timothy M. Beardsley  
John M. Benditt, Laurie Burnham  
Tony Rothman; Elisabeth Corcoran  
Ari W. Epstein, Gregory A. Greenwell  
John Horgan, June Kinoshita;  
Philip Morrison (BOOK EDITOR);  
Ricki L. Rusting, Karen Wright,  
Russel Ruthen

Samuel L. Howard  
ART DIRECTOR

Richard Sasso  
DIRECTOR OF PRODUCTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow  
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Georg-Dieter von Holtzbrinck  
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel  
CHAIRMAN EMERITUS

© 1988 by Scientific American, Inc.

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

## В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР  
С.П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА  
Л.В. Шепелева

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ  
З.Е. Кожанова О.К. Кудрявов  
Т.А. Румянцева А.М. Смотров  
А.Ю. Краснопевцев

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ  
М.В. Суrowова,  
Н.А. Вавилова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР  
С.К. Аносов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ  
Т.Д. Франк-Каменецкая

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА  
В.С. Галкин

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», 1989

## На обложке



### ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ

На фотографии запечатлен грозовой разряд между облаком и горой близ Таксона (шт. Аризона). Молнии обычно возникают при разности потенциалов в несколько сот миллионов вольт и переносят ток до 10 КА (см. статью Э. Вильямса «Электризация грозовых облаков на с. 34»). Об огромных размерах молнии можно судить по величине построек, расположенных у подножия горы. Удар молнии был настолько сильным, что склоны горы на фотографии кажутся покрытыми снегом.

### Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Tom Ives

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК

7	S. Varnedoe	York at Albany (внизу)	Hughes Research Laboratories
8-10	Laurie Grace	41 Los Alamos National Laboratory (вверху), Earle R. Williams (внизу)	65 Larry Rubens, Kent State University
11	S. Varnedoe	42 Joe Lertola	66-69 Carol Donner
12	Laurie Grace	43 National Aeronautics and Space Administration	70 Carol Donner (вверху); C. Owen Lovejoy (внизу)
15	George Retseck	47 Klaus W. Schwarz, Thomas J. Watson Research Center	71 Carol Donner
16	Andrew Christie	48-50 George V. Kelvin	75 Sean Sprague, United Nations Children's Fund
17	Michiel van der Klis	51 Russell J. Donnelly	76 Johnny J. Johnson
18	George Retseck	52-53 George V. Kelvin	77 Edward Bell
19	Andrew Christie	57 GTE Laboratories Inc;	78 U. S. Centers for Disease Control
20	George Retseck	58-60 Hank Iken	88-91 Michael Goodman
25	Daniel Zagury, University of Paris	61 James A. Harrington,	82-85 Andrew Christie
26-31	Patricia J. Wynne		95 Graphische Sammlung Albertina, Vienna
34-35	Greg Gilbert, <i>The Seattle Times</i>		
36-38	Joe Lertola		
39	Joe Lertola		
40	Gordon aerber (вверху); Richard E. Orville, State University of New		

# Об авторах

James P. Comer (ДЖЕЙМС П. КОМЕР «Обучение детей из бедных слоев национальных меньшинств») - профессор детской психиатрии, руководитель программы школьного развития в Исследовательском центре детства при Йельском университете, помощник декана Медицинской школы Йельского университета. Получил степень бакалавра в Университете шт. Индиана, степень магистра в Университетском медицинском колледже Говарда и докторскую степень в Школе здравоохранения Мичиганского университета. Много пишет и консультирует по вопросам совершенствования образования.

Michiel van der Klis (МИШЕЛЬ ВАН ДЕР КЛИС «Квазипериодические колебания интенсивности у космических источников рентгеновского излучения») - сотрудник Обсерватории EXOSAT при Европейском центре космических исследований и технологии (ESTEC), существующем под эгидой Европейского космического агентства и находящегося в г. Ноордвиг (Нидерланды). Окончил университет в Амстердаме, в 1983 г. получил степень доктора философии в области астрономии. После прохождения пост докторантуры в том же университете стал научным сотрудником в ESTEC. В настоящей должности работает с 1986 г. За обнаружение квазипериодических колебаний интенсивности излучения у космических рентгеновских источников Американское астрономическое общество в 1987 г. присудило ван дер Клису премию им. Бруно Росси.

Michael Feldman, Lea Eisenbach (МАЙКЛ ФЕЛЬДМАН, ЛИЯ ЭЙЗЕНБАХ «Причины метастазирования раковых клеток») - сотрудники Вейцманновского института в Реховоте (Израиль). Фельдман работает там с 1955 г.; в настоящее время профессор, возглавляет отдел клеточной биологии. Степень доктора философии получил в 1953 г. в Университете Хибру в Иерусалиме. Периодически работал в США в Калифорнийском университете в Беркли, в Медицинском центре Станфордского университета и в Национальном институте рака. В 1977 г. был избран членом Израильской академии наук и искусств. В 1984 г. он удостоился премии Гриффюэля за онкологические и иммунологические исследования.

Эйзенбах в 1980 г. начала работать в лаборатории Фельдмана, сейчас она доцент в отделе клеточной биологии. Степень доктора философии получила в 1979 г. в Файнберговской аспирантуре Вайцманновского института, после чего два года работала в Висконсинском университете в Мадисоне.

Earle R. Williams (ЭРЛ Р. ВИЛЬЯМС «Электризация грозных облаков») - доцент метеорологии на факультете исследования Земли, атмосферы и планет Массачусетского технологического института (МТИ). Степень бакалавра в области физики получил в 1974 г. в Свартморском колледже, а степень доктора философии в области геофизики в 1981 г. в МТИ. Исследованием грозных разрядов Вильямс впервые заинтересовался во время пребывания в БРУКХейвенской национальной лаборатории, где он был свидетелем мощного электрического разряда между контактами высоковольтного источника - досадный случай для Физиков-ядерщиков, но довольно впечатляющий, чтобы возбудить желание заняться физикой грозных разрядов. В настоящее время Вильямс занимается радарной метеорологией.

Russell J. Donnelly (РАССЕЛ ДЖ. ДОННЕЛЛИ «Сверхтекущая турбулентность») - профессор физики Орегонского университета. Родился в г. Гамильтоне (пров. Онтарио, Канада), учился в Университете Макмастера и Йельском университете, где в 1956 г. получил степень доктора философии. С 1956 по 1966 гг. преподавал в Чикаго, затем переехал в шт. Орегон, где и работает в настоящее время. В 1972 г. был приглашенным профессором в Институте Нильса Бора в Копенгагене. В настоящее время является также заместителем редактора журнала "Physical Review A". В течение многих лет Доннелли входит в оргкомитет Орегонского фестиваля музыки Баха.

Martin G. Drexhage, Cornelius T. Moynihan (МАРТИН С. ДРЕКСГЕЙДЖ, КОРНЕЛИУС Т. МОЙНИХЭН «Инфракрасные волоконные световоды») - сотрудничали во многих научных разработках. Дрексгейдж работает в фирме Oalileo Electro-Optics в Штурбридже (шт. Массачусетс), где руководит исследовательской группой, занимающейся изучением различных применений материалов, прозрачных в инфра-

красной области спектра. В 1977 г. получил степень доктора философии в Католическом университете Америки. С 1977 по 1987 г. Дрексгейдж работал в Управлении по исследованиям в области твердого тела при военно-воздушной базе в Хэнскоме. Мойнихэн - профессор материаловедения в Ренселеровском политехническом институте, где принимал участие в организации Центра по исследованию технологии стекла. Степень доктора философии получил в Принстонском университете в 1962 г. С 1964 по 1969 г. Мойнихэн преподавал в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе, а затем до 1981 г. - в Католическом университете.

C. Owen Lovejoy (К. ОУЭН ЛАВДЖОЙ «Эволюция выпрямленного способа передвижения человека») - профессор антропологии Кентского университета; сотрудничает также в Медицинской школе Университета Кейс-Вестерн-Резерв и преподает анатомию в Медицинском колледже университетов Северо-Восточного Огайо. Получил докторскую степень в Массачусетском университете в Амхерсте в 1970 г. и позже принимал участие в реставрации и анализе скелета Люси. Лавджой, многие работы которого посвящены проблеме происхождения человека, интересуется также судебно-медицинскими аспектами антропологии и является советником в следственном отделе графства Киахога.

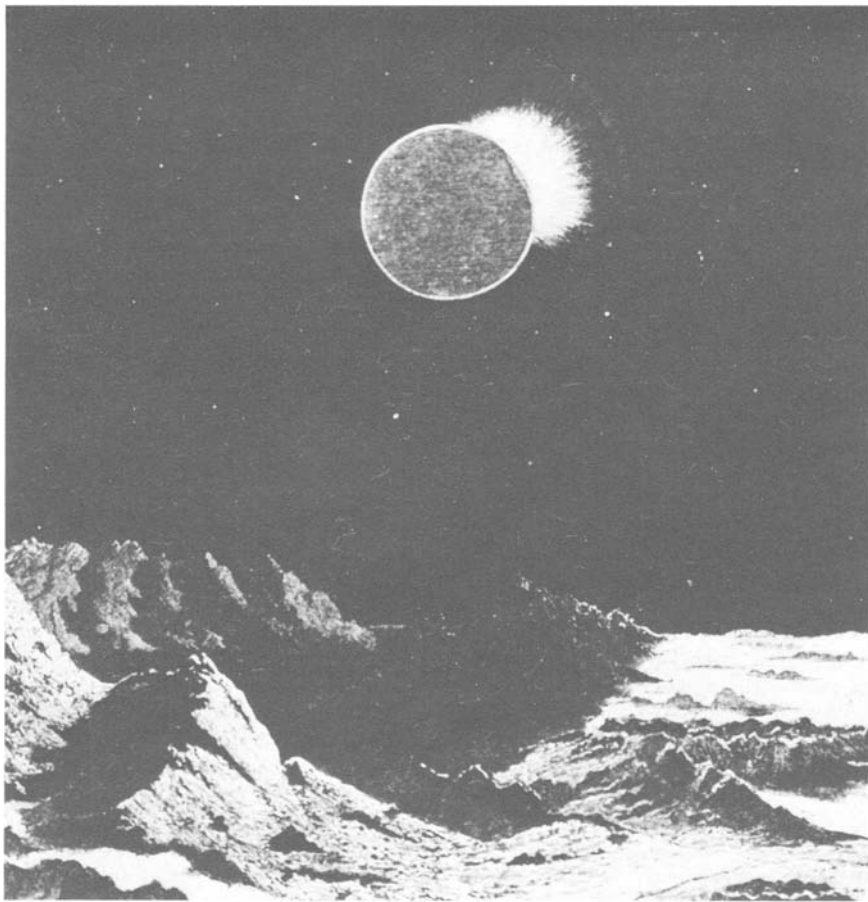
Anthony Robbins, Phyllis Freeman (ЭНТОНИ РОББИНС, ФИЛЛИС ФРИМАН «Что мешает вакцинации населения развивающихся стран») впервые начали изучать проблему, обсуждаемую в данной статье, в 1984 г., когда работали по заданию конгресса США. Роббинс - профессор здравоохранения в Медицинской школе Бостонского университета. Степень бакалавра получил в Гарвардском колледже в 1962 г., доктора медицины - в Медицинской школе Йельского университета в 1966 г., магистра в области общественного управления - в Гарвардском университете в 1969 г. Фриман - председатель Юридического центра Колледжа общественной и коммунальной службы Массачусетского университета в Бостоне. Научная степень в области юрисдикции присвоена ей в Северо-восточном университете в 1975 г. В 1986 г. она была стипендиатом Института медицины Национальной академии наук США.

SCIENTIFIC  
AMERICAN

**Н**ОЯБРЬ 1938 г. «Под крышей одного из павильонов Нью-Йоркской всемирной ярмарки 1939 г. отправилась в будущее первая в мире «машина времени». Ее путешествие должно продлиться 5000 лет, и благодаря ей археологи в далеком будущем смогут многое узнать о нашей цивилизации. Внешняя оболочка машины сделана из специального сплава с особыми электрическими свойствами и большой устойчивостью к коррозии. Внутренняя оболочка выполнена из специального стекла. После откачки воздуха она была заполнена азотом и герметично закупорена. Внутри находится 40 предметов, которыми мы пользуемся в повседневной жизни, а также микропленка, рассказывающая о нашем времени. (Микропленка содержит целиком сентябрьский выпуск журнала "Scientific American".)»

«Земную атмосферу «пронзают» частицы атомных размеров с огромной проникающей способностью. Они идут от разных источников, находящихся вне Солнечной системы. Однако, что это в точности за частицы, откуда они прилетают, как и когда образуются, мы до сих пор не знаем. Экспериментально установлено только одно, что эти космические лучи внегалактического происхождения.

«Синтетическое волокно, на вид напоминающее шерсть, можно изготовить из казеина, побочного продукта переработки молока. Чтобы получить волокно, казеин размачивают в воде и растворяют в едкой щелочи. При этом образуется густая плотная масса; ее выдерживают, добавляют в нее различные вещества и разбавляют. Затем эту массу пропускают через несколько **ПРЯДИЛЬНЫХ** механизмов и полученные нити разделяют и упрочняют в ваннах с кислотой».



Лунное затмение при наблюдении с Луны



**Н**ОЯБРЬ 1888 г. «В Микенах все еще интенсивно ведутся раскопки, начатые д-ром Шлиманом. Каждый день из земли достают все новые предметы, представляющие большой интерес для археологов и антропологов. Вокруг города имеется множество захоронений, относящихся к догомеровской эпохе.

«На недавнем вечернем заседании Королевского общества гвоздем программы были опыты с мыльными пузырями, продемонстрированные г-ном Байзом. Один из опытов наглядно проиллюстрировал диффузию газов (в данном случае через мыльную пленку). Наполненный чистым кислородом пузырь поместили на несколько секунд в стеклянный колокол, содержащий невидимые пары эфира. Когда пузырь извлекли из сосуда и поднесли к огню, он взорвался. Это говорит о том, что в течение короткого промежутка времени эфир благодаря диффузии проник в мыльный пузырь и образовал с кислородом взрывчатую смесь.

«Если бы судно можно было тянуть по воде, а не толкать с помощью обычного гребного колеса или винта, удалось бы сэкономить до 40% мощности двигателя. Как винт, так и лопатка колеса отталкивают воду от судна, что приводит к увеличению сопротивления. В ходе опытов было показано, что при одной и той же скорости судна тяга винта превышает натяжение буксирного каната на 40%. Решение проблемы - вращающийся воздушный пропеллер. По виду воздушный пропеллер напоминает обычный гребной винт и изготавливается из тонкой листовой стали.

«С тех пор как человек с помощью телескопа проник взглядом в глубины Вселенной и изучил строение других миров, его не оставляет вопрос: как выглядят эти миры из иных мест в космосе? Это же касается и полного затмения Луны. Астрономы объясняют явление затмения тем, что Земля заслоняет солнечный свет, отбрасывая тень на лунную поверхность. На рисунке, созданном астрономом в содружестве с художником, перед нашим взором предстает картина неба на спутнике Земли в то самое время, когда тень нашей планеты пересекает его поверхность.

# Обучение детей из бедных слоев национальных меньшинств

*Школы должны добиться поддержки родителей и учиться гибко и конструктивно реагировать на запросы учащихся. Достичь этой цели позволяет новый подход к обучению, опробованный в школах Нью-Хейвена*

**ДЖЕЙМЕ П.КАМЕР**

**Т**ОМАС ДЖЕФФЕРСОН и другие сторонники бесплатного всеобщего образования верили в то, что образованное население - это источник жизненной силы демократии. Они считали, что школа должна выполнять политическую задачу: воспитывать детей достойными гражданами. Джефферсон писал: «Я не знаю более надежного хранилища высшей власти в обществе, чем сам народ; и если мы считаем, что он недостаточно образован, чтобы осуществлять контроль над обществом с предельным благоразумием, то следует не лишать его такого права, а развивать эту способность путем просвещения».

Глубокая пропасть разделяет возвышенные идеалы и печальную действительность, с которой сталкиваются молодые люди, живущие на задворках современного общества. В стране непропорционально много недоученных детей из бедных слоев национальных меньшинств. Их подготовка отстает от средней по стране примерно на два года. В больших городах почти 50% таких детей бросают школу. Невозможность дать этим детям образование в значительной степени осложняет борьбу с экономическим и социальным неравенством. Число рабочих мест в сфере обслуживания и промышленности постоянно растет, но молодые люди из бедных слоев национальных меньшинств не имеют ни социальных, ни образовательных навыков, необходимых для выполнения этих работ. И пока школы не найдут способ учить этих детей и выводить их в жизнь, проблемы, связанные с безработицей и отчуждением, будут возрастать.

**З**АДАЧА кажется неразрешимой, и все же ее можно решить. В 1968г. я и мои коллеги из Исследовательского центра детства при Йельском университете начали деятельность в этом

направлении в двух школах Нью-Хейвена. В отличие от множества предлагаемых и проводимых реформ, в которых во главу угла ставят такие сугубо «академические» принципы, как квалификация учителя и учебные навыки учащихся, наша программа обеспечивала развитие и обучение на основе связей между детьми, родителями и школой. К 1980 г. успеваемость в этих двух школах Нью-Хейвена превысила средний уровень в стране, значительно снизилось число прогулов, повысилась дисциплина. Сейчас мы внедряем этот успешный опыт более чем в 50 школах разных штатов.

Представления, лежащие в основе нашего подхода, частично уходят корнями в мое собственное детство. В 1939г. я поступил в начальную школу в Восточном Чикаго (шт. Индиана) с тремя другими чернокожими детьми из малоимущих слоев. Школа считалась самой лучшей в округе, имела однородный расовый состав и обслуживала высшие социально-экономические слои этого района. Мы четверо происходили из полных семей (с обоими родителями); наши отцы зарабатывали на жизнь на местном сталелитейном заводе. Нас не коснулась ни одна из таких проблем, как сегрегация в школе, неудачный класс, неполная семья, безработица - словом, все то, чем обычно объясняют неудачи негритянских детей, которым не удается получить образование. И все же, несмотря на то, что интеллектуальные способности у нас четверых были одинаковы, у трех моих товарищей жизнь сложилась неудачно: один преждевременно умер от алкоголизма, второй большую часть жизни провел в тюрьмах, а третий не вылезал из психиатрических лечебниц.

Почему же моя жизнь оказалась удачнее? Я думаю, главным образом

потому, что мои родители, в отличие от родителей моих товарищей, передали мне жизненный опыт и чувство уверенности в себе, которые помогли мне воспользоваться выгодами, даваемыми образованием. Так, в третьем классе я подружился с учителем и ежедневно вместе с ним шел в школу и из школы. Родители водили меня в библиотеку, и я много читал. А трое моих товарищей никогда не читали, что вызывало разочарование и досаду учителей. Учителя не могла понять одного: родители этих учеников стеснялись посещать библиотеку - среди белых они вообще чувствовали себя неловко и избегали их общества.

В 1960 г. я начал задумываться о том, что контраст между впечатлениями, получаемыми ребенком дома и в школе, отражается на его психосоциальном развитии, что в свою очередь сказывается на успеваемости. Более сильный контраст должен наблюдаться у детей из бедных семей национальных меньшинств, находящихся на задворках общества. Если это так, то в основе низкой успеваемости многих детей из таких семей лежит, скорее всего, невозможность установить доверительные отношения между учеником, родителями и учителем.

Несмотря на это, в проводимых реформах образовательной системы пренебрегают факторами межличностного общения, а делают упор на инструкции и учебный план. Такой подход демонстрирует явное непонимание проблемы: предполагается, что все дети, поступающие в школу, происходят из благополучных семей и одинаково хорошо подготовлены, чтобы учиться так, как от них ожидают. Чтение, письмо, арифметика, естественнонаучные дисциплины преподносят учащимся примерно так же, как на сборочной линии к кузову автомобиля крепят дверцы или колеса. Однако учащихся нельзя рассматри-



вать как стандартные «каркасы», пассивно принимающие то, что на них «навешивают». Несмотря на это, большинство работников просвещения никогда не пытались критически осмыслить это расхожее представление; сложившийся подход систематически не изучался и не видоизменялся на основании конкретных экспериментов в школах.

**В** ПРОТИВОПОЛОЖНОСТЬ этому, А. Солнит и его коллеги по Исследовательскому центру детства считали, что реформаторам системы образования следует развивать свои теории в процессе длительного непосредственного наблюдения и опробования их в школах. Идеи Солнита легли в основу проекта конкретных ис-

следований в условиях школы; эта работа была начата Центром детства совместно со школами Нью-Хейвена в 1968 г. и продолжалась до 1980 г. Меня попросили руководить проектом, действуя в контакте с социологом, психологом и учителем-дефектологом из Центра. Мы решили полностью погрузиться в заботы школ с тем, чтобы исследовать, как они живут, и на базе наших выводов разработать и реализовать план их усовершенствования. В своей деятельности мы опирались на данные таких областей исследования как здравоохранение, экология, история, развитие ребенка и, конечно, на здравый смысл.

Мы применили наш подход в двух школах: школе им. Мартина Лютера Кинга, где в классах от подготови-

тельного до четвертого училось примерно 300 человек, и в школе им. Катерины Бреннан, где в классах от подготовительного до пятого насчитывалось более 350 человек. Почти все учащиеся были детьми бедняков, причем 99% чернокожие; более 70% были из семей, получавших «пособие семьям с малолетними детьми». Когда мы приступили к нашей деятельности, школы числились на одном из последних мест по успеваемости и посещаемости среди 33 школ города. Не менее серьезной была проблема с дисциплиной. Учителя находились в растерянности; текучесть кадров составляла 25%. Родители были удручены, полны недоверия, злости и враждебности.

И персонал школы, и родители в

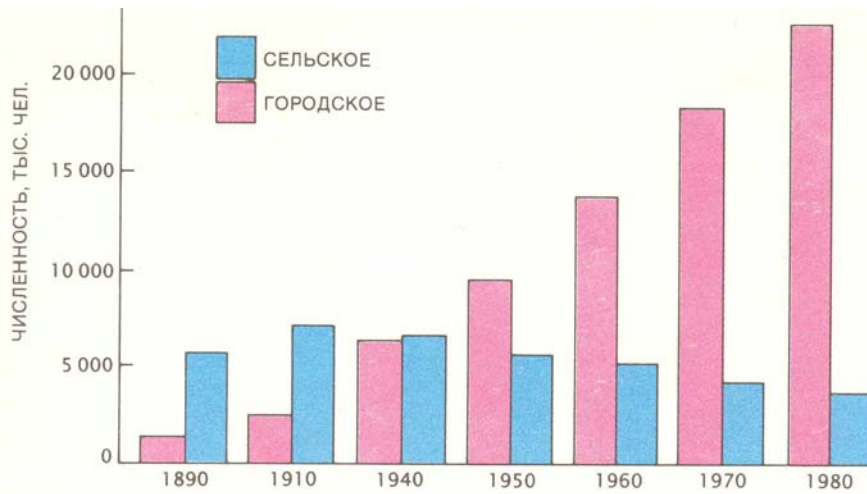


**УЛЫБКА УЧЕНИКА - НАГРАДА** за хорошую работу учительнице первого класса школы им. Катерины Бреннан в Нью-Хейвене (шт. Коннектикут). Эта школа - одна из двух, в которых работал автор и его коллеги; она обслуживает близлежащие районы бедняков, где свирепствует безработица и преступность. Персонал школы очень внимателен к

запросам детей - в особенности детей из низов - и делает все, чтобы привлечь родителей к участию в школьной жизни; в минувшем учебном году 92% родителей были в школе 10 и более раз. Сейчас эта школа - одна из лучших в городе по успеваемости.

25000

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧЕРНОГО НАСЕЛЕНИЯ В 1890-1980гг.



МИГРАЦИЯ ЧЕРНОКОЖИХ в города (с населением 2500 чел. и более) после второй мировой войны увеличилась. Когда-то в сельских районах чернокожих жило гораздо больше, чем в городе, но послевоенный экономический подъем побудил тысячи черных американцев двинуться в города в поисках работы. Однако из-за дискриминации и недостатка образования большая часть негритянского населения не получила доступа на основные рынки рабочей силы в городах.

первый год нашей работы восприняли наш план с большим энтузиазмом. Но поскольку учителя и администрация не могли прийти к согласию относительно целей и формы деятельности, нам поначалу пришлось трудно. Некоторые новые учителя попытались организовать классы со свободным посещением, но дети вскоре вышли из-под контроля. Учителя упресли администрацию в отсутствии необходимых средств, а родители были настолько возмущены, что выступили против одной из школ. Излишне говорить, что успеваемость у учащихся не была высокой.

Что же касается нас, то мы научились многому. Столь явное ухудшение положений в этих школах вскрыло их социальную динамику - в иных условиях на понимание ее характера ушли бы многие годы. Прежде всего мы выяснили, что и школы, и наша программа нуждаются в более развернутой структуре; мы стали регулярно проводить собрания с тем, чтобы персонал школы мог координировать свои планы и определять цели. Еще важнее то, что наш анализ взаимодействия родителей, персонала и учащихся выявил основную проблему, лежащую в основе отрицательного рекорда успеваемости и дисциплины в школах: социально-культурное несоответствие между домом и школой. Нам удалось понять, как это несоответствие разрушает благотворные связи и как его преодолеть, чтобы улучшить процесс обучения.

**НАШЕ ПОНИМАНИЕ** проблемы основывалось на том факте, что у ребенка Формируется глубокая эмо-

циональная связь со своими воспитателями (как правило, родителями), что позволяет этим воспитателям направлять развитие ребенка. Многие типы развития - в социальной, психологической, эмоциональной, моральной, речевой и познавательной сферах имеют принципиальное значение для дальнейшего успешного обучения в школе. Отношение, оценки, поведение, демонстрируемые семьей и ее социальным окружением, сильно влияют на такое развитие.

Ребенок, чье развитие удовлетворяет требованиям, предъявляемым в школе, окажется подготовленным к тому, чтобы реализовать свои способности. Соответствие домашней и школьной обстановки способствует дальнейшему развитию ученика: когда социальные навыки учащегося правильно учатся учителем, это вызывает позитивную реакцию. В этом случае возникает союз ребенка и учителя, который оказывается в состоянии влиять на общее развитие своего ученика.

В противоположность этому, ребенок из низов чаще всего приходит в школу без соответствующей подготовки. Может случиться, что он не имеет представления даже о таких социальных навыках, как умение находить общий язык с окружающими. Возможно, ребенку, которого в школе пытаются научить читать, никогда не приходилось видеть, чтобы кто-нибудь это делал дома, и ему никогда не читали сказок на ночь. Речевые навыки у такого ребенка могут быть неразвитыми или отличаться от нормы. Требования, предъявляемые к ребенку дома и в школе, могут быть

диаметрально противоположными. Бывают семьи, в которых детей наказывают за неумение дать сдачи; в то же время в школе зтот внушаемый принцип поведения может быть неприемлемым.

Такой недостаточный уровень развития или развитие, которое не укладывается в общепринятые нормы, слишком часто встречается среди меньшинств, «травмированных» нашим обществом: индейцев, латиноамериканцев и негров. Религиозные, политические, экономические структуры, на базе которых возникли и утвердились эти группы населения, в значительной степени были разрушены. Более того, эти группы были выключены из экономики, политики и образовательной системы. Особенно это заметно на примере негритянского населения.

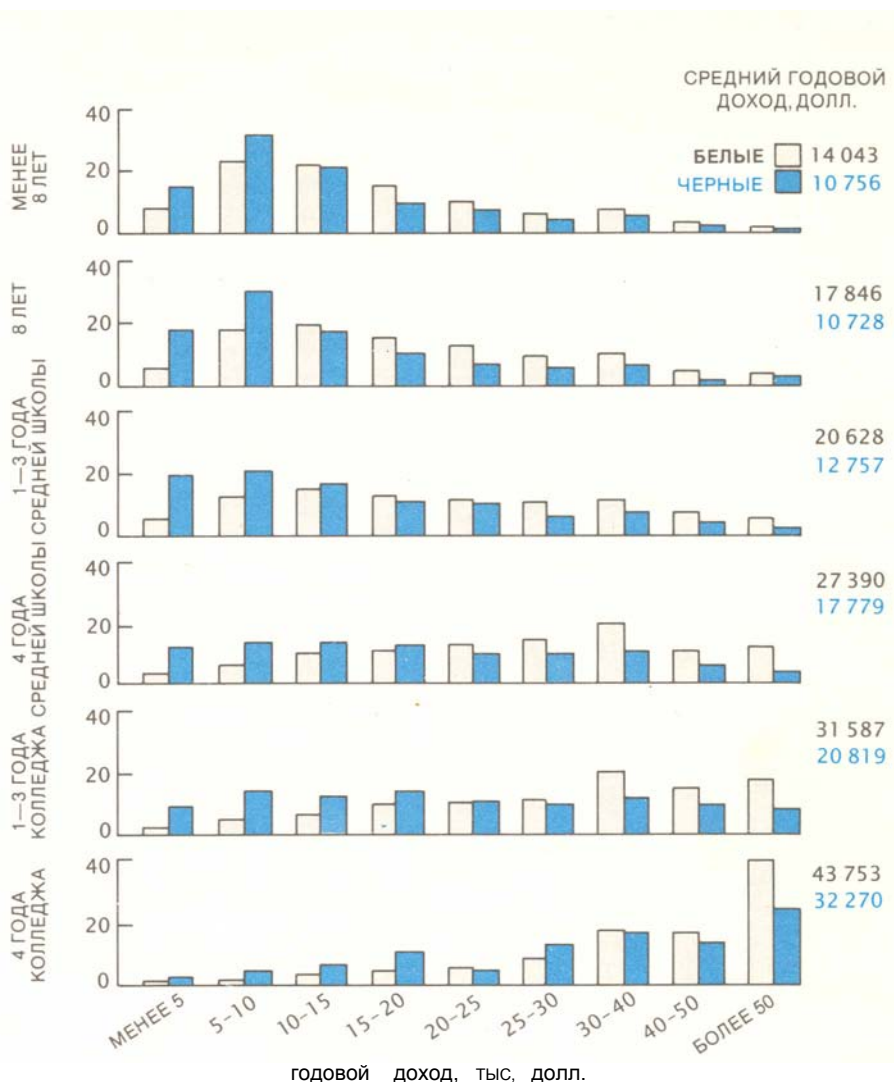
Чернокожих выкорчевали из их собственной культурной среды и насильно завезли в эту страну, где им навязали иную культуру - культуру рабов. Рабство было состоянием полной зависимости и подчинения, существованием без будущего. Вместе с тем в господствовавшей английской культуре придавал ось огромное значение именно независимости и развитию личности. Эта господствовавшая культура девальвировала сложившуюся в новых условиях культуру негритянского населения, вследствие чего у множества чернокожих сложился негативный образ самих себя. После отмены рабства повсеместная дискриминация продолжала закрывать чернокожим доступ к образованию, не давала им влиться в политическую и экономическую жизнь. Но несмотря на эти психологические и социальные преграды, многие бедные негритянские семьи, в особенности в сельских областях, оказались способными создать крепкую систему религиозных и культурных традиций и вести сносное существование.

После второй мировой войны число рабочих мест в сельском хозяйстве сократилось, и многие негритянские семьи переехали в города, но в результате дискриминации они в большинстве случаев были вытеснены с основных мест на рынках рабочей силы. Более того, работа в городе требовала лучшей профессиональной подготовки, и чернокожие, недоучившиеся в предвоенные годы, оказались в невыгодном положении. В то же время, лишившись поддержки своих общин, они испытывали глубокий стресс. По этим причинам многие негритянские семьи стали жить хуже и не могли давать своим детям такое дошкольное воспитание, которое помогло бы им успешно учиться в школе.

Кроме того, чернокожие могли достичь успеха лишь в некоторых профессиональных областях. Соответственно их участие в управлении политической, экономической и социальной жизни страны было незначительным и не давало им возможности способствовать социальному развитию негритянских низов. Со временем в этих низах созрело возмущение неспособностью и явным нежеланием своих преуспевающих сограждан - и чернокожих, и белых - помочь им, и их защитной реакцией стал отказ от участия в общественной жизни.

**Н**ЕСМОТЯ на отчуждение от общественной жизни, многие семьи из бедных слоев негритянского населения все-таки видят в школе надежду на будущее - фактически единственную надежду, хотя и боятся, что школа обманет их ожидания так же, как это сделали другие общественные учреждения. Такое действительно часто случается. Типичные школы с их иерархической структурой и авторитарностью не могут привить, учащимся, чье развитие отличается от общепринятых норм, навыки и знания, обеспечивающие выполнение школьной программы. В результате на этих учеников вешают ярлыки №«двоечник»-, №«шалопай» или №«тупица»Учителя наказывают таких детей, предъявляют к ним заниженные требования, взваливая вину за неудачи как на самих учащихся, так и на родителей и общину. Родители, со своей стороны, воспринимают неудачи детей как свои собственные или же как знак враждебного или уничижительного отношения со стороны благополучных слоев. Они теряют надежду и доверие и перестают быть поддержкой школе. Некоторые родители, стесняясь своей неграмотной речи, бедной одежды или неудач в профессиональной деятельности, занимают оборонительную и даже враждебную позицию и начинают избегать контактов со школой.

В результате возникает взаимное недоверие между домом и школой. Возьмем, к примеру, такой случай. Чернокожая учительница в первом классе городской школы с почти полностью негритянским составом объясняла в первый день занятий правила поведения в школе. Руку подняла шестилетняя девочка: №«Учительница, моя мама сказала, чтобы я вас не слушалась». Хорошо, что в данном случае учительница правильно поняла скрытую за этими словами проблему, а ведь большинство учителей возмутилось бы, и возможность установления контакта с родителями была бы потеряна. Такое противоречие между домом и школой затрудняет установ-



**ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ И ДОХОД** семьи у белых и черных американцев связаны, но при одинаковом уровне образования (определяемом тем, какое учебное заведение закончил глава семьи) доходы черных почти на треть ниже, чем доходы белых (для каждой вилки доходов указан процент получающих такие доходы семей). Недостаток образования у чернокожих сильнее отражается на сокращении заработка, чем у белых, а рост образования дает меньшую прибавку в доходах. Эти данные за 1984 г. взяты из «Статистической сводки Соединенных Штатов, 1987», выпускаемой министерством торговли США

ление союза ученик-учитель, способствующего развитию и обучению ребенка.

Следствия такого противоречия становятся наиболее явными, когда эти дети достигают восьмилетнего возраста. К этому времени их уровень развития уже не может обеспечить требуемое в школе продвижение. Кроме того, дети начинают осознавать, что они и их семьи отличаются по доходам, образованности, а иногда и по расовым признакам и образу жизни от семей других учеников. К тому же в этом возрасте дети стараются ослабить свою зависимость от взрослых и от их мнения.

Будучи не в состоянии хорошо учиться, эти дети приходят к выводу,

что успехи в учебе - дело недостижимое, а отсюда, как защитная реакция, у них возникает убеждение, что школа не нужна. Многие, стремясь удовлетворить присущее всякому человеку желание быть полноправным членом сообщества и самоутвердиться, прилегают к асоциальным группам, где образованность не ставится в заслугу. Таким детям грозит опасность выпасть из жизни общества, стать наркоманами, девочкам - забеременеть и т. д. С другой стороны, если подросток решит добиться успехов в учебе и включиться в общественную жизнь, это будет тоже стоить ему дорого: такой выбор будет означать для него отказ от традиций семьи и социального окружения.

**И**ССЛЕДОВАНИЕ проведенное нами в двух школах Нью-Хейвена, показало, что ключом к хорошей успеваемости является психологическое развитие учащихся, обеспечивающее, в частности, их тесный контакт со школой. Чтобы добиться этого, необходимо установить позитивное взаимодействие родителей и школьного персонала - задача, для решения которой персонал, как правило, не подготовлен. Эти перемены не могут быть навязаны школе извне. Нашей целью было разработать стратегию внедрения нового подхода, которая преодолела бы сопротивление персонала, вооружила его необходимым пониманием особенностей развития ребенка и подвигла на улучшение отношений с родителями.

Из опыта нашей работы в первый трудный год стало ясно, что мы не продвинемся ни на шаг, пока не устраним конфликта между родителями,

учителями и администрацией и не поможем объединить процессы управления и обучения и придать им единую направленность. С этой целью мы создали в той и другой школе организационно-руководящий комитет во главе с директором школы, состоящий примерно из двенадцати человек; в этот комитет были выбраны родители и учителя, специалист по психическому здоровью, представитель непедагогического вспомогательного персонала школы - словом, все взрослые, заинтересованные в исходе дела. Комитет решал различные вопросы: от составления учебных и социальных планов до внесения изменений в школьные порядки, которые порождали проблемы с поведением.

В своей деятельности комитет руководствовался несколькими принципами. Во-первых, все члены комитета были обязаны признавать авторитет

директора, но - что также очень важно - директор не мог принять решение, не обсудив его со всеми членами комитета. Во-вторых, мы договорились сосредоточиться на решении проблем, а не тратить попусту время и силы на взаимные обвинения. В-третьих, мы принимали решения при помощи согласования мнений, а не путем голосования; это укрепляло сотрудничество, помогая избежать вредной тенденции к образованию группировок и делению на «победителей» и «побежденных».

Поначалу отношение к этим комитетам было не очень теплым, и их деятельность стала приносить плоды не сразу, ибо нас воспринимали как чужаков (не говоря о том, что мы были из Йельского университета, к которому рабочий люд Нью-Хейвена всегда относился с недоверием). Но, по мере того как с нашей помощью в директорах крепло убеждение, что разделение

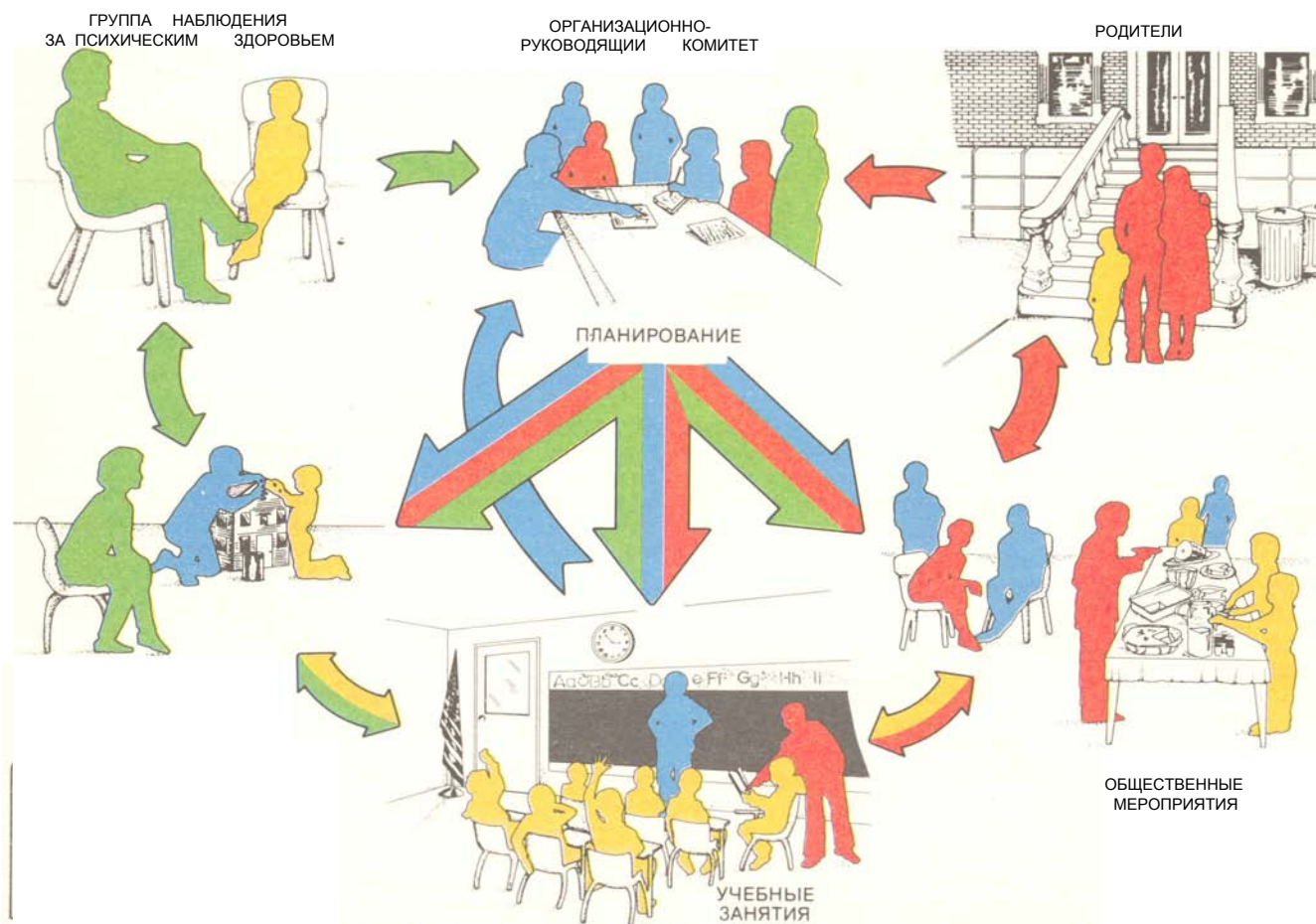


СХЕМА эксперимента в школе показывает его ключевые компоненты и связи между ними. Организационно-руководящий комитет в составе директора, учителей, родителей и специалиста по психическому здоровью разрабатывает план работы школы, включающий специально учебные занятия, общественные мероприятия и специальные занятия, как, например, в «комнате открытий», созданной для детей, потерявших интерес к учебе. Общественные мероприятия, такие как ужины вскладчину, прививают детям социальные навыки и дают возможность родителям

общаться с учителями. Некоторые родители становятся помощниками учителей. Группа наблюдения за психическим здоровьем выделяет своего сотрудника для работы с трудным ребенком. Эта группа старается также предотвратить нарушения дисциплины, рекомендуя что-то изменить в школьных порядках. Новый подход, направленный на то, чтобы улучшить поведение учащихся и укрепить связь школы с родителями, создает благоприятные для учебы условия.

власти расширяет их собственные возможности в руководстве школой, а учителя и администрация стали получать практические выгоды, школы стали охотнее применять ко всем аспектам своей деятельности наш опыт в области социологии и изучения поведения.

В работе комитета мы также пригласили участвовать родителей из числа тех, кто в первый год нашего эксперимента был настроен против нас. С учетом их предложений мы разработали план участия родителей в трех видах деятельности: это влияние на жизнь школы через их представителей в организационно-руководящем комитете, помощь в реализации школьной программы, участие в школьных мероприятиях.

В частности, примерно двенадцать родителей работали помощниками учителя, образуя ядро родительской группы (их работа оплачивалась по минимальной ставке). Родители совместно с персоналом организовывали ужины вскладчину, книжные ярмарки и выпускные церемонии. Эти общественные мероприятия способствовали установлению добрых отношений между родителями и персоналом, так что в случаях, когда у ученика возникали проблемы, учителя и администрация могли обсудить их с родителями, не вызывая защитную реакцию. В результате улучшился общий климат в школе и поведение учащихся, и больше родителей стало участвовать в школьных мероприятиях.

**В ОБЫЧНЫХ ШКОЛАХ** с «трудными» учащимися занимаются школьный психолог, воспитатель или дефектолог - причем, каждый сам по себе. В рамках нашего эксперимента они работали сообща. Мы пришли к выводу, что это дает больший эффект; коллектив обсуждает каждый трудный случай и назначает одного куратора. Коллективный подход помог выявить определенные закономерности «плохого» поведения учащихся и определить, не способствуют ли такому поведению какие-то аспекты школьной жизни. Через своего представителя в организационно-руководящем комитете группа наблюдения за психическим здоровьем рекомендовала вносить те или иные изменения в жизнь школы, чтобы способствовать правильному развитию учащихся и предотвращать возможные проблемы, связанные с их поведением.

Все эти мероприятия помогали ученикам не так остро переживать неудачи, не давали им озлобляться или терять доверие к школе, что является причиной «плохого» поведения. Был



**ГРУППА НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПСИХИЧЕСКИМ ЗДОРОВЬЕМ** в школе им. Катерины Бреннан заседает каждую неделю под председательством директора Д. Уэллс (в центре). Члены группы обсуждают успехи, достигнутые «трудными» учениками, и продумывают новые меры по улучшению обстановки в школе, для чего часто приглашают родителей. На заседании группы присутствуют: учительница Б. Харди (слева), логопед Дж. Кэмпбелл (справа) и психолог К. Макклло (крайняя справа).

случай, когда восьмилетнего ребенка, переведенного в школу им. Мартина Лютера Книга из другой школы, сразу привели в класс; он испугался, пнул учителя в ногу и убежал. Обычно такого ребенка наказывают. И если не делается ничего, чтобы унять его беспокойство, процедура наказания повторяется до тех пор, пока ребенок не будет признан неуравновешенным и нуждающимся в лечении. В нашем случае группа наблюдения за психическим здоровьем помогла учителям и администрации понять, что беспокойство ребенка - естественная реакция на незнакомую обстановку; исходя из этого, мы совместно с персоналом школы разработали программу «включения» новых учеников и их родителей в жизнь школы.

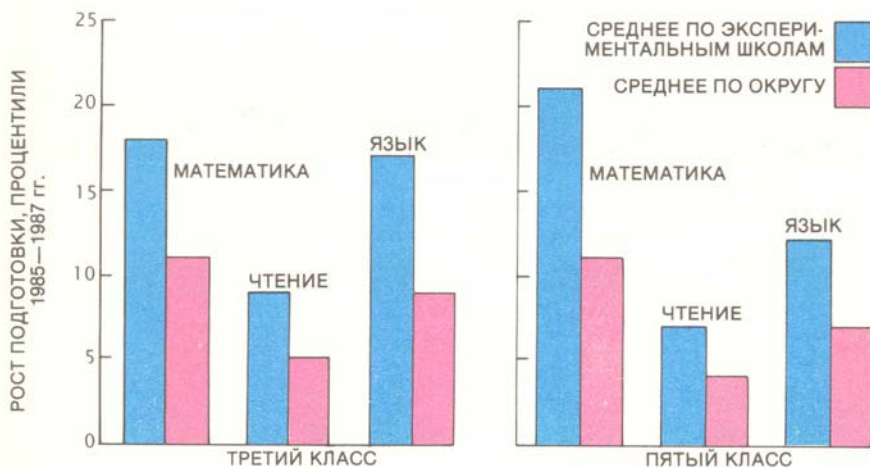
В течение 12 лет, которые мы провели в школах Нью-Хейвина, родились и другие программы, отвечающие запросам учащихся. В одной из школ дети занимались с одним и тем же учителем два года. Там существовала «комната ОТКРЫТИЙ» помогавшая установить доверительные отношения с «трудным» учеником, оживить в нем интерес к учебе в процессе игры. «Комната кризисов» служила

убежищем детям, «вышедшим из-под контроля». Мы обнаружили, что поведение детей в таких случаях часто вызывается домашними неприятностями, поэтому сотрудники школы помогали детям успокоиться и овладеть собой. С каждой нашей акцией персонал становился все более внимательным ко всему, что касалось развития детей и все более осознавал тот факт, что проблемы поведения возникают, главным образом, из-за того, что остаются неудовлетворенными какие-то запросы учащихся, а не вследствие их злонамеренности, и что можно приложить усилия для удовлетворения этих запросов.

К 1975 г. наш метод уже давал ощутимые результаты. Улучшились и поведение учащихся, и взаимоотношения родителей и персонала школы, стали реализовываться умственные способности детей. В том же году мы составили примерную «про грамму развития ШКОЛЫ», основанную на трех ключевых принципах, которые обеспечили успех нашего эксперимента: наличие руководящего комитета, участие родителей в жизни школы и деятельность группы наблюдения за психическим здоровьем. Найдя спо-



УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ учеников четвертых классов в двух школах Нью-Хейвена, где проводился эксперимент, описанный в статье, неуклонно рос с 1969 по 1984 г. На рисунке приведены средние показатели по «тесту учебных навыков», разработанному в Университете шт. Айова. С 1969 по 1979 г. тестирование проводилось осенью (нормальный показатель 4,2), а с 1981 по 1984 г. - весной (нормальный показатель 4,8). После 1984 г. показатели продолжали оставаться на достигнутом уровне.



СРЕДНЕЕ ПОВЫШЕНИЕ подготовки учащихся в процентах по шкале «теста успехов» с 1985 по 1987 г. в 10 школах с преимущественно черными учениками графства Принс-Джордж (шт. Мэриленд), работающих по методу Комера, было больше по сравнению с остальными школами округа. У чернокожих показатели все еще остаются ниже, чем у белых, но этот разрыв сокращается. В этом школьном округе, 15-м по величине в США, числится 105 тыс. учащихся, из которых 62% - чернокожие. В школах, работающих по новому методу, чернокожих детей более 90%. Для этих школ выделяется дополнительный персонал и средства, так как они не дотягивают до нужного уровня.

соб, как установить и поддерживать нормальный режим работы школы, мы решили выяснить, может ли школа играть какую-нибудь роль в разрешении проблем социального неравенства.

Мы готовы были поспорить, что сможем привить нашим самым трудным ученикам из низов необходимые для школьника социальные навыки и что приобретение этих навыков поможет им нормально учиться. Учителя и администрация вместе с родителями составили список таких социальных навыков и снабдили его разработками по каждому из разделов, в которых детям необходимо разбираться: это политика и управление,

бизнес и экономика, здоровье и правила питания, духовная жизнь и досуг.

Дети учились писать приглашения и благодарственные письма, принимать гостей, выписывать чеки, организовывать концерты, им объясняли, как функционирует человеческий организм и т. д. Каждый вид занятий строился на сочетании основных учебных и социальных навыков с учетом эстетической стороны. В разработке программы таких занятий мы приглашали принять участие различных специалистов. Эти занятия сразу же дали эффект. Учащиеся, родители и учителя ощущали прилив энергии, в них росло чувство причастности к настоящей жизни.

ЭКСПЕРИМЕНТ в Нью-Хейвене оказал сильное влияние на успеваемость. Учащиеся, скажем, четвертого класса, бывшие когда-то на последнем месте по успеваемости среди 33 начальных школ города, в 1979 г. без каких-либо преобразований социально-экономической структуры школы вышли на уровень предъявляемых к учащимся требований. В 1984 г. ученики четвертого класса показали третий и четвертый результаты в стандартном «тесте учебных навыков», разработанном в Университете шт. Айова. В начале 80-х годов школа им. Мартина Лютера Кинга занимала первое или второе место в городе по посещаемости. В течение более десяти лет в обеих школах не было случаев серьезного нарушения дисциплины.

В 1980 г. наша группа покинула школы. Программа вошла в повседневную практику и персонал школы продолжал ее осуществлять. В том же году мы начали разрабатывать пути реализации нашей программы и в других школах. Ключевые элементы столь успешно применявшегося в Нью-Хейвене подхода мы оставили без изменения - организационно-руководящий комитет, участие родителей, группу наблюдения за психическим здоровьем, а также весь порядок действий; вместе с тем мы оставили за школами возможность в зависимости от конкретных потребностей варьировать направленность социальной и учебной программ. Иначе говоря, наш подход позволяет школьному персоналу действовать так, как действуют врачи в больницах: зная закономерности развития ребенка и теорию обучения, правильно оценивая ситуацию в целом и особенности каждого отдельного ребенка, учителя и администрация могут ставить точный диагноз возникающих проблем и находить решение.

В школьных округах графства Принс-Джордж (шт. Мэриленд) и Бентон-Харбора (шт. Мичиган), где преобладают дети чернокожих бедняков, наш метод применяется уже несколько лет; успехи, достигнутые там, сравнимы с тем, что мы имели в двух школах Нью-Хейвена. Наш подход теперь используется во всех школах Нью-Хейвена, а также в трех других округах: Норфолке (шт. Виргиния), графстве Ли (шт. Арканзас) в этих двух районах также преобладает черная беднота) и Ливенворте шт. Канзас). Метод сейчас внедряется более чем в 50 школах по всей стране, включая две неполные средние школы и одну среднюю.

ВСЕ СРЕДСТВА и усилия, затрачиваемые на реформу системы образования, не дадут желаемого ре-

зультата - особенно в отношении детей из бедных слоев национальных меньшинств - пока останутся без внимания глубинные социальные проблемы и проблемы развития. Большинство учителей и школьных администраторов не имеют такой подготовки в организации работы школы и руководстве ею, чтобы обеспечить всестороннее развитие учащихся. Не могут они и анализировать, а тем более решать проблемы социального неравенства детей из низов общества.

Первый шаг в деле совершенствования обучения этих детей состоит, таким образом, в том, чтобы побудить учительские колледжи делать упор в своих программах на проблему развития учащегося. У учителя, не жалеющего времени на подготовку, наверняка возникнет побуждение воспользоваться приобретенными знаниями. Однако усилий одиночек не хватит - новым мышлением должен овладеть весь персонал школы.

Руководство школьных округов, федеральное правительство, местные власти и школьные советы должны активно поддерживать эти перемены. Им следует признать, что социальное развитие ребенка столь же важно для общества, как и его способности к учебе. Они должны находить, поощрять и награждать учителей и администраторов, проявивших себя в деле развития учащихся. Они должны оценивать деятельность школы не только по результатам тестирования, но и по тому, насколько она помогает учащимся стать по-настоящему взрослыми ответственными людьми. Наконец, они должны выделять на все это средства.

Федеральное правительство должно играть ведущую роль в проведении национальных реформ образования с тем, чтобы молодые люди стали деятельными и ответственными гражданами. Помимо выделения средств и проведения реформ правительство должно помогать находить общий язык федеральным и местным властям, органам образования и частным организациям - фондам, фирмам, колледжам и университетам.

На основании всего сказанного я считаю необходимым создание Национальной академии образования. Ее задачей было бы установление приоритета задач, финансирование исследований в области образования, изучение способов внедрения удачных педагогических подходов, поиск областей дальнейших исследований, эффективное распределение средств. На деятельность академии не должны оказывать влияния сиюминутные политические требования, а интересы

исследователей и педагогов должны быть сбалансированы. Академию можно создать на основе существующих федеральных программ, поставив у руля тех, кто кровно заинтересован в этом деле: педагогов, родителей, правительственных чиновников, бизнесменов. Академия могла бы руководить процессом преобразований,

которые прежде всего отвечают нуждам детей и интересам нации в целом. Она могла бы наметить последовательность мероприятий и проводить их в жизнь в разумном темпе, который, с одной стороны, должен учитывать срочный характер реформы, а с другой - основываться на научном знании и здравом смысле.

## Вниманию читателей!

### ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ (природоохранные аспекты)

Перевод: английского  
Под ред. М. Сулея

Книга коллектива американских авторов посвящена проблеме сохранения исчезающих видов животных Ирастений. Рассмотрены основные факторы, определяющие жизнеспособность популяций: размеры ПОПУЛЯЦИИ, генетическая вариабельность, условия среды. Четко обрисованы реальные возможности и задачи дальнейшей работы в этой области.

Из рецензий: «Проблема, которой посвящена книга, по существу стала одной из ведущих современных проблем всей популяционной биологии, с выходом в эволюционную теорию. Показателен подбор авторов книги. Среди них генетики, орнитологи, статистики, математика, специа-

листы в области лесного и сельского хозяйства, представители «зоопарковой» науки».

«Впервые в мировой литературе мы встречаемся со столь тщательным обсуждением вопроса о минимальном размере популяции, обеспечивающем ее жизнеспособность. Книга может оказать реальную помощь специалистам, занимающимся охраной исчезающих видов».

Редактор книги М. Сулей знаком советскому читателю по ранее выпущенной книге «Биология охраны природы» (М.: Мир, 1983).

Для экологов, зоологов, специалистов в области охраны природы.

1990, 15 л. Цена 1 р. 50 к.

### Б. Клауснитцер

### ЭКОЛОГИЯ ГОРОДСКОЙ ФАУНЫ

Перевод: немецкого

Книга известного в ГДР зоолога, профессора Лейпцигского УНИ-верситета - первое обобщение сведений о всех группах животных, обитающих в крупных городах. Основой обзора послужили данные изучения наземной фауны семи городов Европы, в том числе Варшавы, Вены, Гамбурга, Лейпцига. Наряду с теоретическими обобщениями книга содержит ценный справочный материал, а также рекомендации по

охране многих представителей городской фауны.

Содержание: Характеристика городских местообитаний. Происхождение и состав городской фауны. Проблемы динамического равновесия видов. Пищевые цепи. Антропогенные нагрузки. Факторы смертности. Возможности оптимизации условий существования отдельных видов в черте большого города.

1990, 16 л. Цена 2 р. 40 к.

На книги, выходящие в 1990 г., магазины научно-технической литературы принимают заказы с апреля - мая 1989 г.

Издательство «Академия» не принимает



# Квазипериодические колебания интенсивности у космических источников рентгеновского излучения

*Не совсем периодические, но и не полностью случайные колебания интенсивности рентгеновского излучения дают ключ к пониманию природы необычно ярких рентгеновских источников, имеющих слабо выраженную тенденцию к сгущению вокруг центра Галактики*

МИШЕЛЬ ВАН ДЕР КЛИС

**О**СНОВНЫЕ сведения о природе рентгеновских источников в нашей Галактике получают из анализа периодических колебаний интенсивности их излучения. Повторяющиеся подъемы и спады интенсивности могут указывать на то, что рентгеновский источник движется по орбите вокруг другой звезды, которая периодически его затмевает. В то же время наличие регулярно повторяющихся коротких импульсов рентгеновского излучения с интервалом следования меньше нескольких секунд свидетельствует о том, что их источником является объект сверхвысокой плотности (называемый нейтронной звездой), обладающий сильным магнитным полем и быстро вращающийся вокруг своей оси. Скачкообразные вспышки рентгеновского излучения также свидетельствуют о наличии нейтронной звезды, но такой, у которой на поверхности происходят термоядерные взрывы колоссальной силы.

Анализ тонкой структуры периодических колебаний яркости позволяет астрономам получать сведения о физике рентгеновских источников Галактики. Однако за 25 лет изучения ярчайших на ночном небе источников рентгеновского излучения, большинство из которых наблюдается в центральной галактической области - балдже, ни у одного из них не удалось найти каких-либо закономерно повторяющихся изменений. В результате, в то время как клубок тайн слабых рентгеновских источниках постепенно распутывался, природа ярких источников этого излучения продолжала оставаться загадочной.

Именно поэтому мои коллеги и я

были весьма заинтригованы, когда в конце 1984- начале 1985 гг. пришли к выводу, что наши наблюдения одного из ярчайших источников галактического балджа GX5-1 позволили обнаружить пекулярный тип изменения интенсивности его рентгеновского излучения. (Свое название источник GX5-1 получил по координатам на небесной сфере: он расположен в пяти градусах к востоку и на один градус южнее центра Галактики.) Наблюдения были выполнены с помощью рентгеновской орбитальной обсерватории EXOSAT, принадлежащей Европейскому космическому агентству (ЕКА), в рамках исследовательской программы, разработанной и осуществленной группой ученых, в состав которой кроме меня входили Ф. Янсен из Лейденской лаборатории космических исследований, Я. ван Парадис и Е. ван ден Хёвел из Амстердамского университета, У. Луин из Массачусетского технологического института, И. Трёмпер и М. Штайно из Института веземной физики им. Макса Планка в Мюнхене.

Обнаруженные у источника GX5-1 изменения интенсивности рентгеновского излучения были особенно удивительными, поскольку не являлись строго периодическими: в каждом из сеансов наблюдений наиболее вероятный интервал времени между соседними максимумами интенсивности составлял примерно 0,03 с, но часто был либо чуть длиннее, либо чуть короче. Такие не строго периодические флуктуации принято называть квазипериодическими колебаниями. Если провести аналогию между переменностью источника GX5-1 и изменением интенсивности источника звуко-

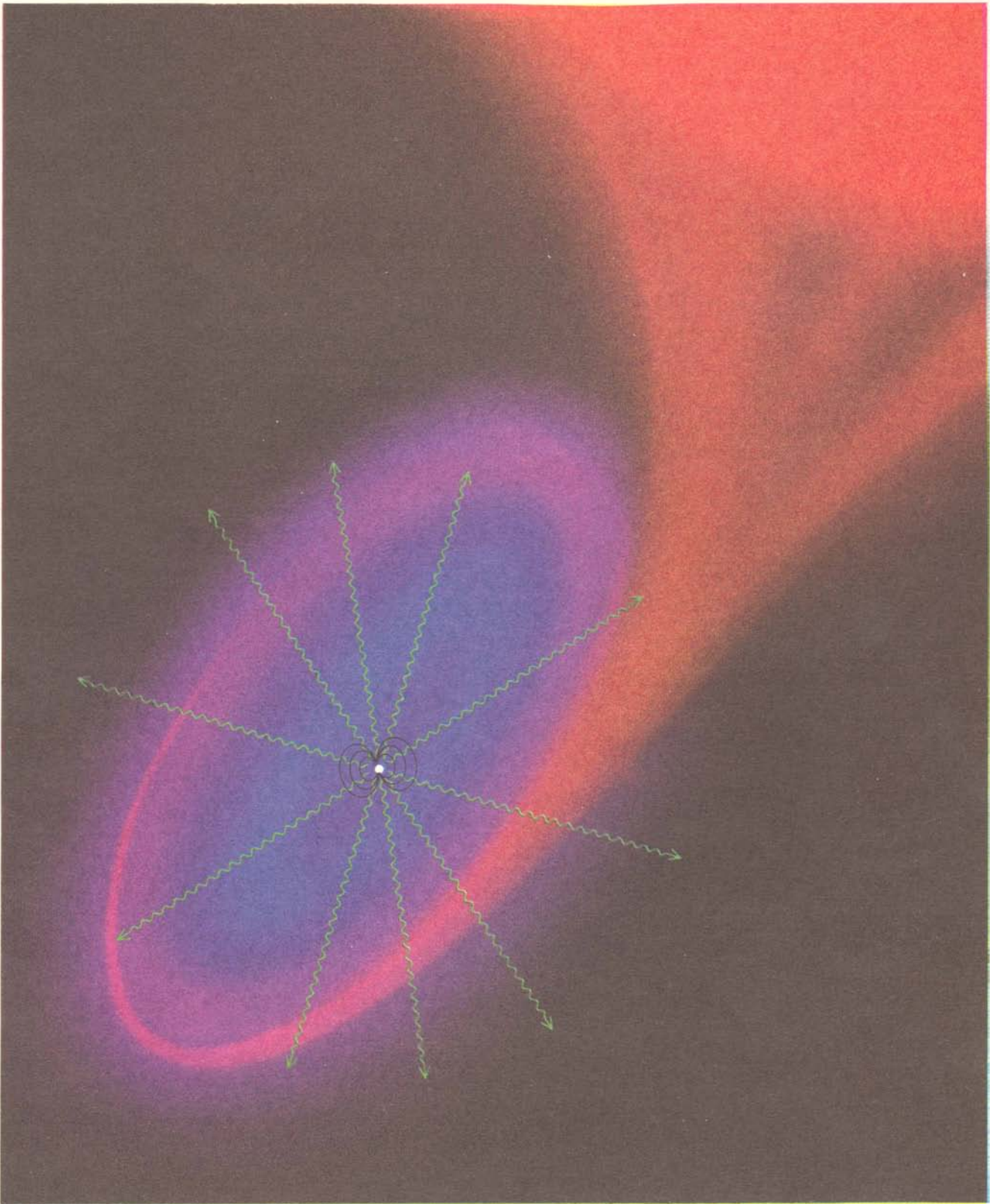
вых колебаний, то суть нашего недоумения можно выразить в более привычной форме: вместо того чтобы «издавать» чистый тон на определенной частоте, GX5-1 «звучит» скорее как треснутый стакан. Наш интерес усиливало то, что сами импульсы были очень короткими. Это, по-видимому, означало, что область их возникновения находится весьма близко от компактного объекта, где из-за сильного гравитационного поля все процессы происходят очень быстро.

Что заставило нас выдвинуть на первый план проблему изучения быстрых колебаний интенсивности ярких рентгеновских источников галактического балджа? Чтобы ответить на этот вопрос, мне придется сделать обзор открытий, сделанных за предшествующие 25 лет существования рентгеновской астрономии.

**О**БЩЕПРИНЯТО, что за редким исключением источники мощного рентгеновского излучения в нашей Галактике являются двойными звездами, в которых компактный объект (черная дыра или нейтронная звезда) движется по орбите вокруг более или менее обычной звезды. Компактные объекты представляют собой конечную стадию эволюции звезд с массой, в несколько раз превышающей массу Солнца. Эта стадия наступает, когда звезда уже не может выделять достаточное количество тепла для противодействия силам гравитации, стремящихся ее сжать.

Как следует из названия, вещество нейтронной звезды состоит в основном из тесно «упакованных» нейтронов. Обычно она имеет массу от од-





ДВОЙНЫЕ СИСТЕМЫ, в состав которых входит нейтронная звезда (*белая*) и обычная звезда-компаньон (*красная*), по-видимому, являются наиболее мощными источниками рентгеновского излучения на ночном небе. Нейтронная звезда появляется в результате коллапса под действием собственного веса звезды с массой, в несколько раз превышающей массу Солнца. Огромное гравитационное поле этой сколлапсировавшей звезды «вытягивает» плазму (ионизованный газ) из второго компонента двойной системы, который может превышать его по размерам в миллионы раз, и «закручивает» ее в так называемый аккрецион-

ный диск. Из аккреционного диска плазма по спирали падает на поверхность нейтронной звезды, достигая скорости, близкой к скорости света. В момент падения до 20% плазмы превращается в энергию, в основном в форме рентгеновского излучения (*зеленое*). При рождении нейтронная звезда может приобрести сильное магнитное поле (*черные линии*), которое может существовать около 100 млн. лет, постепенно затухая. Следовательно, напряженность магнитного поля нейтронной звезды может служить «индикатором» ее возраста.

ной до двух масс Солнца, заключенную в пределах шара диаметром всего 20 км. (Для сравнения напомним, что диаметр Солнца составляет более 1 млн. км.) Черная дыра представляет собой экстремальный результат проявления гравитационного коллапса: при массе, в пять раз превышающей массу Солнца, ее эффективный диаметр должен быть всего около 30 км. Сочетание большой массы и малых размеров приводит к тому, что черную дыру или нейтронную звезду окружает очень сильное гравитационное поле. Именно оно ответственно за мощное рентгеновское излучение этих двойных систем.

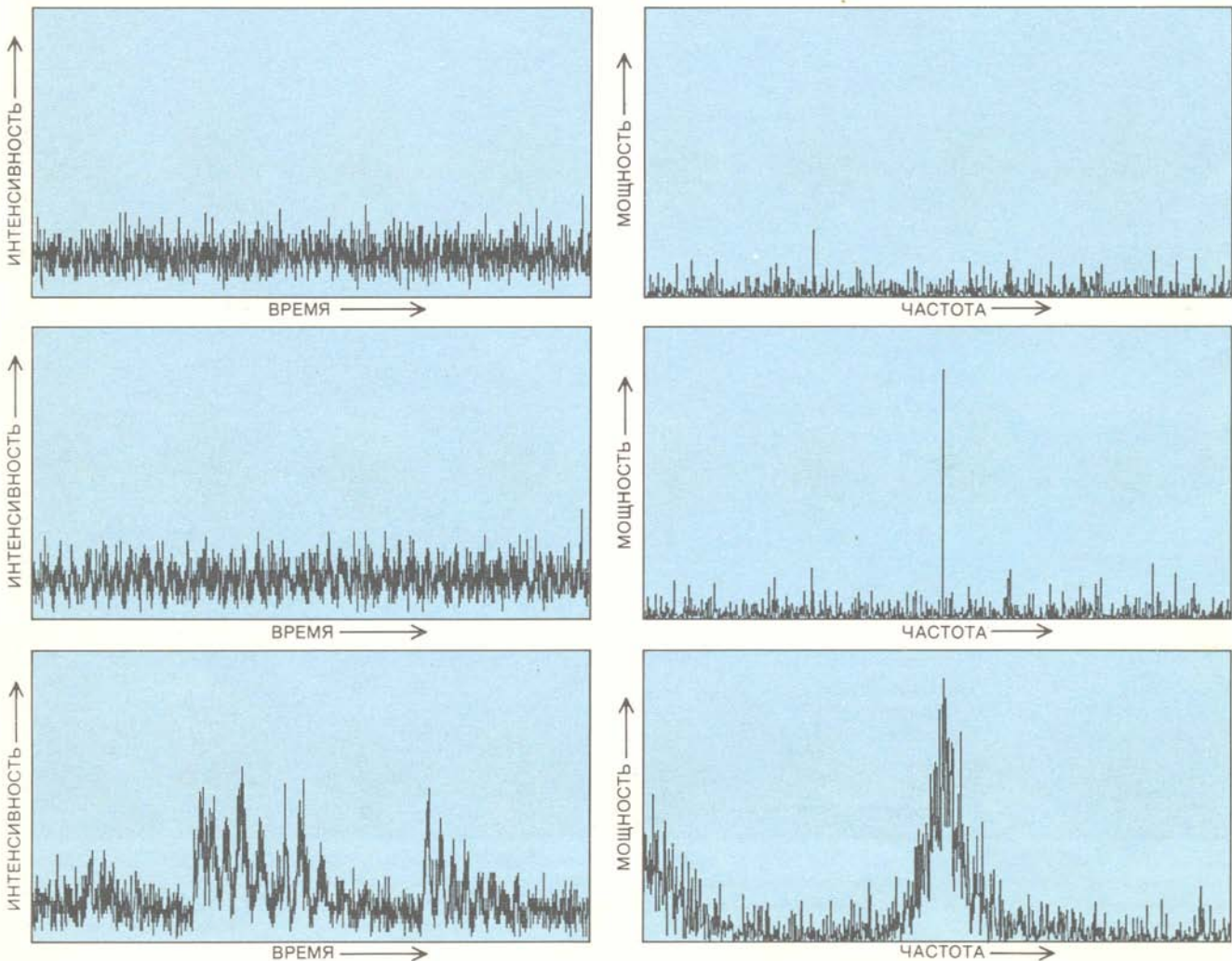
У большинства ярких рентгеновских источников компактная звезда движется по орбите вокруг нормальной звезды (компаньона) столь близко к ней, что ее гравитационное поле способно «сдирать» плазму (ионизованный газ) прямо с внешних слоев

компаньона. Захваченная плазма закручивается вокруг компактного объекта, образуя вращающийся диск, называемый аккреционным диском, в центре которого расположена сколлапсировавшая звезда. Из аккреционного диска плазма, двигаясь по спирали, в конечном итоге падает на поверхность звезды. По мере приближения к звезде вещество разгоняется до скорости, близкой к скорости света, и нагревается до температур, достигающих до 100 млн. кельвинов (К). В результате громадное количество

• Здесь реальная картина дисковой аккреции несколько упрощена. В действительности радиальное движение вещества в диске обусловлено обменом моментом количества движения между соседними слоями диска. Этот процесс своей сути стохастичен, и его качественное описание подобно задачам диффузии или теплопроводности. - *Прим. ред.*

энергии выделяется в виде рентгеновского излучения.

Аккреция вещества на компактные объекты - высокоэффективный способ генерации излучения. Если аккреция происходит на нейтронную звезду, то в энергию излучения может переходить до 20% массы аккрецируемой плазмы (в соответствии с известной формулой Эйнштейна  $E = mc^2$ ). В случае аккреции на черную дыру эффективность процесса может возрасти до 40%. Чтобы показать, насколько это большая величина, отметим, что самый мощный источник энергии на Земле - термоядерный взрыв - имеет эффективность превращения массы в излучение менее 1%. Яркие рентгеновские источники типа GX5-1 аккрецируют каждую секунду около миллиарда тонн плазмы и излучают в рентгеновском диапазоне за секунду столько энергии, сколько Солнце на всех длинах волн - за несколько дней.



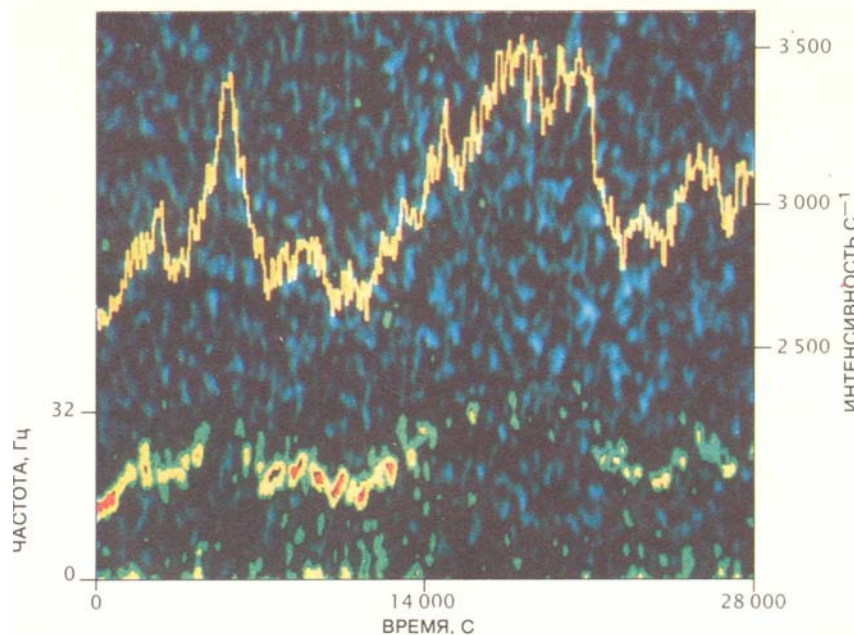
ФУРЬЕ-АНАЛИЗ позволяет разложить изменения интенсивности рентгеновского излучения небесных тел (слева) на отдельные компоненты по частоте в виде так называемого спектра мощности (справа). С помощью этого метода

в рентгеновской астрономии можно надежно отличить фоновый шум (вверху) от периодического сигнала (в середине) и квазипериодических колебаний интенсивности излучения (внизу).

Важно различать «молодые» рентгеновские двойные системы (возраст которых не превышает 10 млн. лет) и «старые» двойные системы, которые существуют уже свыше нескольких сот миллионов лет, поскольку падающая плазма по-разному взаимодействует с нейтронной звездой в этих двух случаях. Молодые рентгеновские двойные системы наблюдаются вблизи спиральных рукавов Галактики, т. е. там, где происходит рождение звезд. Нормальные звезды в этих системах - это гигантские бело-голубые звезды с массой, более чем в 10 раз превышающей массу Солнца. По этой причине такие системы принято называть массивными рентгеновскими двойными.

Старые рентгеновские двойные системы, к числу которых относятся все источники с квазипериодическими колебаниями интенсивности, наблюдаются почти во всех областях нашей Галактики, а не только вблизи областей звездообразования. Поскольку время жизни массивных звезд сравнительно мало, нормальные звезды в старых двойных системах должны иметь небольшую массу (меньшую массу, Солнца). Астрономы смогли непосредственно убедиться в справедливости этого заключения для нескольких старых двойных систем, которые удалось наблюдать с помощью оптических телескопов. Таким образом, старые системы можно называть маломассивными рентгеновскими двойными.

**ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ** коллапсе, в результате которого появляется нейтронная звезда, динамические эффекты могут приводить к возникновению очень сильных магнитных полей с напряженностью до  $10^{12}$  гаусс (Гс), что в тысячу миллиардов раз превосходит напряженность магнитного поля Земли. Такое сильное магнитное поле способно прерывать орбитальное движение плазмы в аккреционном диске на высоте нескольких тысяч километров над поверхностью звезды. Действительно, внутри области, называемой магнитосферой, плазма движется вдоль силовых линий магнитного поля, которые «заставляют» ее падать на нейтронную звезду вблизи магнитных полюсов. В результате на поверхности нейтронной звезды образуются два «горячих пятна» (по одному на каждом магнитном полюсе); именно они становятся основными источниками рентгеновского излучения. Если эти горячие пятна не лежат на оси вращения звезды, то два широких пучка рентгеновского излучения будут описывать круги в пространстве при каждом



ДИНАМИЧЕСКИЙ СПЕКТР МОЩНОСТИ источника GX5-1 показывает, как интенсивность его рентгеновского излучения (верхняя кривая) коррелирует с изменением частоты квазипериодических колебаний (нижняя кривая). Когда интенсивность мала, отчетливо видны отдельные квазипериодические колебания с частотой около 20 Гц. (Величину амплитуды квазипериодических колебаний отражает цветовая раскраска нижней кривой.) По мере возрастания интенсивности частота квазипериодических колебаний также увеличивается до тех пор, пока интенсивность не достигнет максимального значения - в этот момент квазипериодические колебания пропадают. Причина их кажущегося исчезновения состоит в том, что мощность сигнала столь сильно «размазана» по частоте, что его амплитуда не видна на фоне рентгеновского шума,

обороте звезды вокруг оси. Для земного наблюдателя такая нейтронная звезда, называемая рентгеновским пульсаром, будет выглядеть как источник периодически повторяющихся импульсов рентгеновского излучения (подобно тому, как вращение сигнального зеркала маяка дает мигающий свет). Таким образом, если удалось зарегистрировать периодически повторяющиеся импульсы рентгеновского излучения, можно сделать вывод о наличии в двойной системе вращающейся нейтронной звезды с сильным магнитным полем.

Кроме генерации мощного рентгеновского излучения аккреция вещества на нейтронную звезду имеет еще одно важное последствие. По мере того как плазма нагревает внешние слои, она передает звезде свое движение, заставляя звезду еще быстрее вращаться в том же направлении, в котором плазма двигалась в аккреционном диске. Звезда перестанет раскручиваться лишь после того, как скорость ее вращения сравняется со скоростью орбитального движения плазмы. Когда это произойдет, можно сказать, что имеет место вращение с установившимся периодом. Если по какой-то причине период вращения звезды станет меньше этого равно-

весного значения, она начнет отбрасывать падающее вещество в окружающее пространство, что приведет к торможению звезды и уменьшит период ее вращения до равновесной величины.

Если магнитное поле нейтронной звезды достаточно сильно, чтобы сформировалась магнитосфера, то величина равновесного периода будет зависеть от орбитальной скорости плазмы на внешней границе магнитосферы. Причина этого в том, что внутри магнитосферы плазма больше не может свободно двигаться по орбите, а вынуждена следовать за силовыми линиями магнитного поля, которые жестко «связаны» со звездой. При радиусе магнитосферы около нескольких тысяч километров, что характерно для рентгеновских пульсаров в молодых двойных системах, равновесный период должен быть порядка нескольких секунд. Действительно, наблюдается много рентгеновских пульсаров с таким периодом.

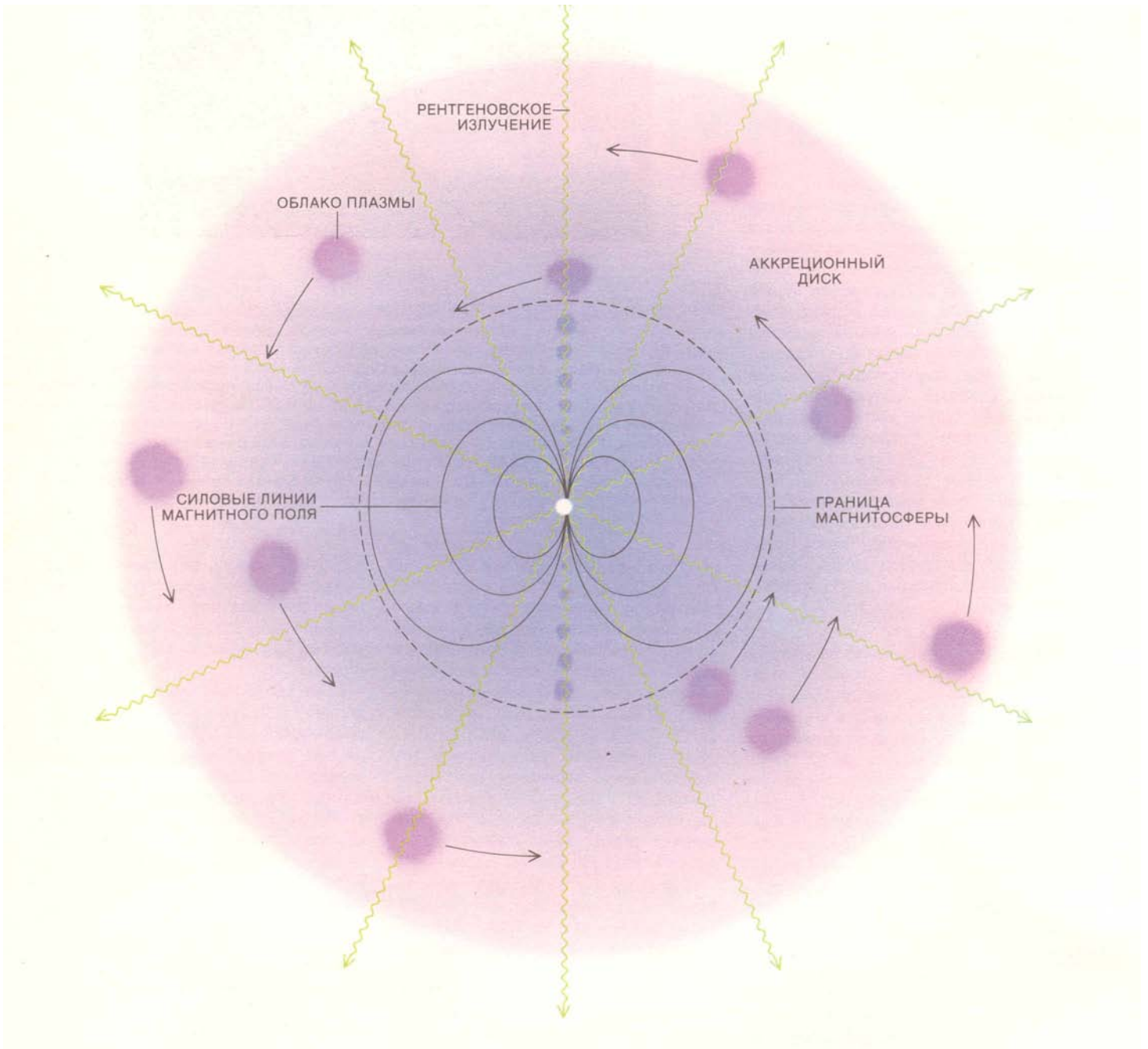
Большинство астрофизиков полагают, что сильное магнитное поле у нейтронной звезды не может существовать вечно и должно постепенно затухать. Поэтому считают, что у нейтронных звезд в старых двойных системах магнитное поле сравнительно

слабое (если оно вообще имеется) и вследствие этого их магнитосфера должна иметь очень небольшие размеры. (В этом отношении рентгеновские двойные, в состав которых входит старая нейтронная звезда, сходны с системами, содержащими черную дыру, поскольку черные дыры не могут иметь магнитного поля.)

Из-за отсутствия сильной магнитосферы в старых двойных системах внутренняя граница аккреционного диска простирается почти до поверхности нейтронной звезды. При этом плазма движется по орбите в непосредственной близости от звезды, что и определяет величину равновесного периода вращения. Поскольку ско-

рость орбитального движения плазмы возрастает по мере уменьшения радиуса орбиты, можно предположить, что равновесный период в старых двойных системах будет очень коротким - порядка 1 мс.

В соответствии с этими общепринятыми представлениями, ожидалось, что в старых двойных системах мож-



ОБЛАКА ПЛАЗМЫ в аккреционном диске, окружающем старую нейтронную звезду (со сравнительно слабым магнитным полем), служат источником «быстрых» квазипериодических колебаний интенсивности излучения - согласно магнитосферной модели с биением частоты. Каждый раз, когда облако плазмы входит в магнитосферу (т. е. проходит область, в которой плазма вынуждена двигаться вдоль силовых линий магнитного поля, жестко связанных со звездой), часть облака падает на поверхность звезды, порождая всплеск рентгеновского излучения. Таким об-

разом возникает набор постепенно затухающих импульсов рентгеновского излучения, частота следования которых равна разности частот орбитального движения плазмы и вращения магнитосферы; эту величину называют частотой биений. Возникающий в результате сигнал имеет в спектре мощности широкий пик, соответствующий квазипериодическим колебаниям. В полный сигнал, идущий из окрестности нейтронной звезды, могут давать вклад одновременно множество плазменных облаков, однако форма спектра мощности при этом не изменяется.

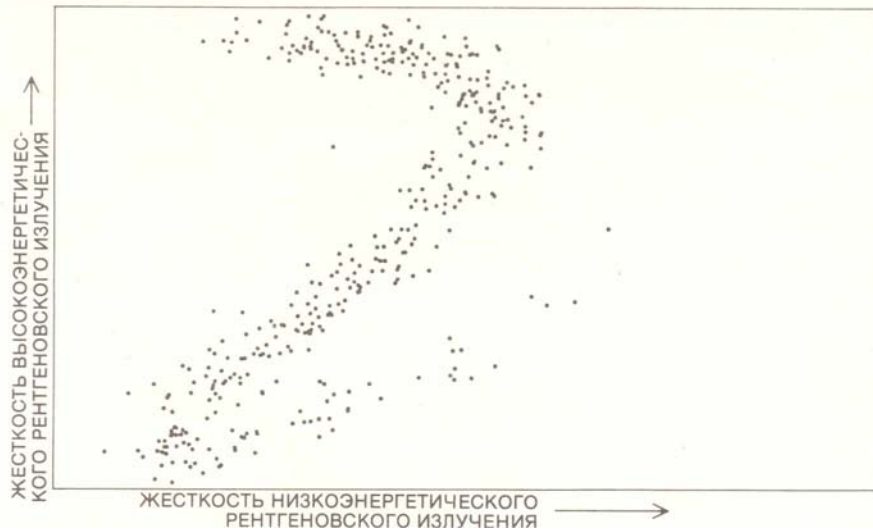
но обнаружить очень быстро вращающиеся нейтронные звезды. Мои коллеги и я как раз и пытались найти миллисекундные периоды у рентгеновских источников, когда наблюдали источник GX5-1. Как выяснилось, нам не удалось непосредственно наблюдать предсказанное быстрое вращение; оно не обнаружено и до сих пор.

**О**ДНАКО это не так удивительно, поскольку слабое магнитное поле не только приводит к быстрому вращению, но и затрудняет его обнаружение. Без сильного магнитного поля плазма не будет направленно двигаться к магнитным полюсам звезды, и на ее поверхности не появятся горячие пятна, а следовательно, не будет различимых импульсов рентгеновского излучения. Итак, можно не только предсказать быстрые колебания интенсивности у старых систем, но и предположить, что они будут слабыми и трудно различимыми.

Наилучший способ выделить такие быстрые, но слабые колебания на фоне рентгеновского «шума» - это использовать фурье-анализ, старый и проверенный метод. С его помощью можно определить так называемый спектр мощности колебаний интенсивности рентгеновского излучения (см. рисунок на с. 16), который позволяет оценить интенсивность всех сигналов, дающих вклад в узкой фиксированной полосе (интервале) частот в окрестностях каждой из интересующих нас частот.

Если интенсивность излучения от данного источника меняется по строго периодическому закону, то в его спектре мощности обнаруживается узкий пик, который расположен на частоте, равной частоте периодических изменений интенсивности. Чем больше продолжительность сеанса наблюдений, тем более отчетливо будет проявляться этот пик по сравнению с шумом в соседних частотных интервалах, поскольку во всех частотных интервалах происходит усреднение шумов, и вся мощность периодического сигнала сосредоточивается в одном интервале частот вокруг частоты повторения сигнала. По этой причине при обнаружении периодического сигнала, как правило, удобно выбирать частотные интервалы в спектре мощности как можно более узкими, поскольку, сосредоточивая всю энергию периодического сигнала в узкой полосе частот, мы увеличиваем высоту пика в спектре мощности на частоте повторения сигнала. Это позволяет обнаруживать даже очень слабые периодические колебания на фоне интенсивного шума.

Если же интенсивность рентгенов-



**СПЕКТРАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ** рентгеновского источника можно определить путем построения диаграммы зависимости жесткости излучения от его полной интенсивности, или, как здесь показано для источника Лебедь X-2, в виде зависимости жесткости одной спектральной полосы от другой. Под жесткостью подразумевается величина, равная отношению числа рентгеновских фотонов высокой и низкой энергий. Диаграмма для источника Лебедь X-2 имеет три ветви, образующие Z-образную кривую; каждая из ветвей соответствует одному из трех различных «спектральных состояний» этого источника. Каждому состоянию присущ особый тип квазипериодических колебаний. «Быстрые» квазипериодические колебания наблюдались у источника Лебедь X-2, когда он находился на верхней горизонтальной ветви, а «медленным» колебаниям соответствует средняя диагональная ветвь.

ского излучения меняется не строго периодически, а квазипериодически, то в спектре мощности пик будет не узким, а широким, поскольку энергия сигнала распределяется теперь по нескольким соседним частотным интервалам. В этом случае малая ширина частотных интервалов лишь затрудняет поиск: из-за увеличения числа частотных интервалов, по которым распределяется энергия сигнала, амплитуда пика в каждом отдельном интервале падает, увеличивая вероятность того, что эти пики станут неразличимы на фоне шума. По-видимому, одна из причин того, что за 25 лет астрономы не смогли обнаружить квазипериодических колебаний интенсивности у рентгеновских источников, заключается как раз в том, что, ожидая найти периодический сигнал, они искали в спектре мощности одиночные пики, разбивая спектр мощности на очень узкие частотные интервалы.

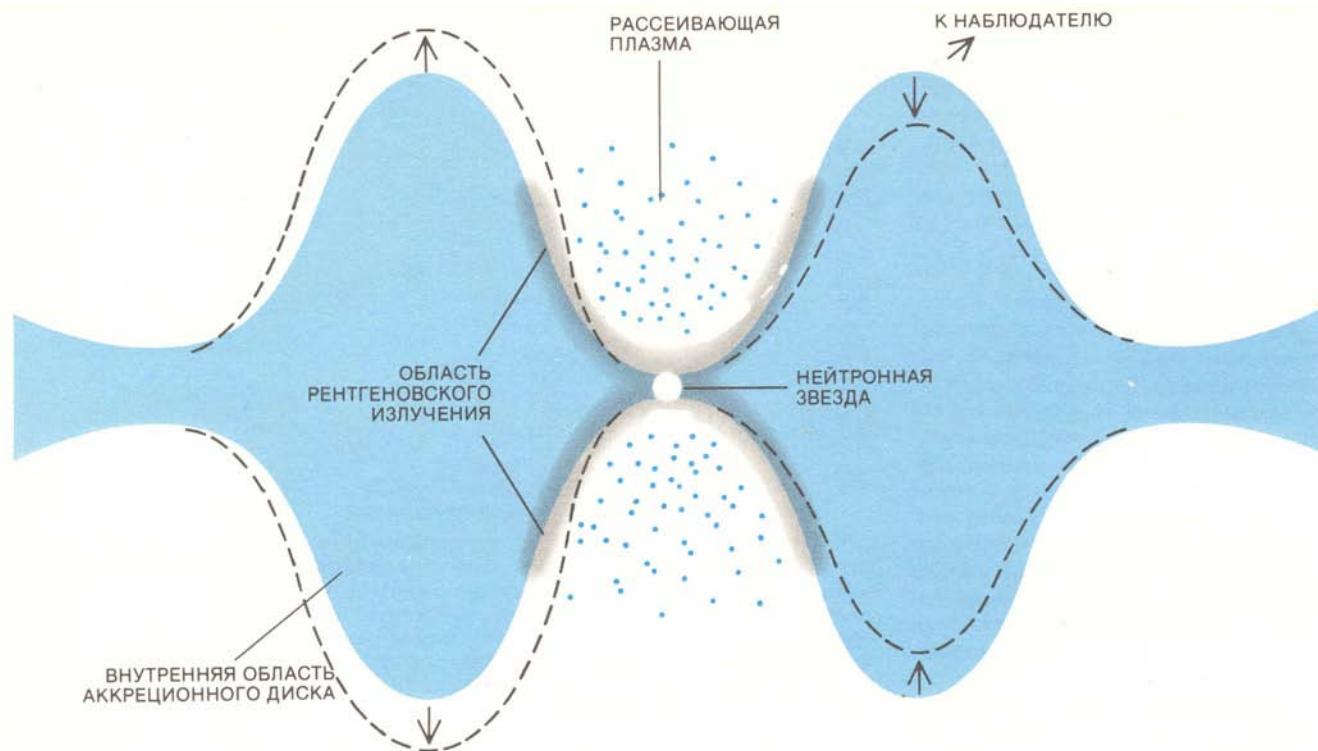
К счастью, мои коллеги и я случайно выбрали частотные интервалы отнительно широкими и квазипериодический характер переменности источника GX5-1 стал для нас очевиден после первых же сеансов наблюдений. Убедившись в наличии широкого пика в спектре мощности, мы построили «динамический» спектр мощности, проследив за тем, как меняется форма пика во времени. Оказалось, что максимум пика у источника GX5-1 может

смещаться в большом диапазоне частот - от 20 до 40 Гц.

Хотя средняя частота квазипериодических колебаний интенсивности была довольно высокой, указывая на то, что их источник располагается вблизи поверхности компактной звезды, нам было ясно, что эти колебания не являются непосредственным проявлением вращения звезды. Тогда скорость вращения должна была бы меняться в два раза за несколько часов, а это невозможно. Но если квазипериодические колебания непосредственно не связаны с вращением звезды, то какова же их природа?

Ключ к этой загадке был найден после дальнейшего изучения динамического спектра мощности источника GX5-1. Оказалось, что по мере увеличения частоты, соответствующей максимуму пика в спектре мощности, возрастает интенсивность рентгеновского излучения. Справедливо также и обратное: при уменьшении соответствующей частоты интенсивность излучения падала. Найденная закономерность указывала на то, что причиной квазипериодических колебаний могут быть какие-то процессы в магнитосфере.

**Р**АЗМЕР окружающей нейтронную звезду магнитосферы зависит от величины двух сил, действующих в противоположных направлениях. В то время как падающая по спирали



РАСШИРЕНИЕ И СЖАТИЕ «раздутой» внутренней части аккреционного диска, напоминающей по форме автомобильный баллон, служит объяснением «медленных» квазипериодических колебаний интенсивности излучения в так

называемой модели затмений. Движение плазмы приводит к повторяющимся затмениям центральной области, из которой выходит рентгеновское излучение.

плазма аккреционного диска стремится сжать магнитосферу, магнитные силы стремятся увеличить ее размеры. В результате возрастание темпа аккреции вещества на нейтронную звезду приводит к двум следствиям. Во-первых, возрастает выделение гравитационной энергии, что проявляется в виде увеличения рентгеновской светимости звезды. Во-вторых, давление вещества оказывается сильнее противодействующих сил магнитного поля и магнитосфера сжимается, поэтому свободно движущаяся на ее внешней границе плазма будет двигаться по орбите меньшего радиуса и с большей скоростью. Следовательно, если колебания интенсивности излучения обусловлены плазмой, движущейся по орбите непосредственно за внешней границей магнитосферы, можно ожидать, что их частота будет возрастать по мере увеличения рентгеновской светимости. Это мы и наблюдали в действительности.

Однако при более тщательном анализе эта гипотеза показалась астрономам несостоятельной: наблюдаемое соотношение между интенсивностью рентгеновского излучения и частотой квазипериодических колебаний не удалось воспроизвести количественно в теоретических расчетах. Позднее М. Алпар из Иллинойского университета в Эрбана-Шампейн и

Я. Шейхем из Колумбийского университета выдвинули замечательную гипотезу, согласно которой наблюдаемая частота колебаний интенсивности не должна быть равна частоте орбитального движения вещества на внешней границе магнитосферы; она может быть равна разности между этой частотой и неизвестной частотой вращения нейтронной звезды.

Смысл сказанного легче понять, рассмотрев движение стрелок часов. Частота оборотов минутной стрелки - один оборот в час, а часовой -  $1/12$  оборота в час. Прохождение минутной стрелки над часовой повторяется с частотой «биений», равной разности двух частот (11112 оборота в час), т. е. это событие повторяется каждый час и пять минут. В модели Алпара - Шейхема частота квазипериодических колебаний интенсивности равна частоте биений между вращением вещества в аккреционном диске и вращением магнитосферы, которая вращается синхронно с нейтронной звездой. По сути дела, частота биений - это частота, с которой отдельные порции плазмы перемещаются относительно силовых линий магнитосферы. Такая модель прекрасно согласуется с наблюдаемой зависимостью между частотой квазипериодических колебаний и интенсивностью рентгеновского излучения.

Из данной модели легко найти, что период вращения нейтронной звезды, расположенной в центральной области источника GX5-I, должен быть равен примерно 10 мс, а напряженность магнитного поля на поверхности - около миллиарда гаусс, т. е. в 1000 раз меньше, чем у молодых нейтронных звезд. Магнитосфера простирается над поверхностью звезды всего на 60 км. Приведенные значения согласуются с существующими представлениями о старых нейтронных звездах и с гипотезой, согласно которой радиопульсары с миллисекундными периодами родились в маломассивных двойных рентгеновских системах (см. статью: Якоб Шейхем. Самые старые пульсары, «В мире науки», 1987, № 4).

Модель Алпара - Шейхема предполагает наличие взаимодействия между аккрецирующим веществом и магнитосферой, которое и приводит к появлению квазипериодических колебаний интенсивности излучения. Какова природа этого взаимодействия? Один из возможных ответов на этот вопрос дали Ф. Лэмб и Н. Сибадзакки из Иллинойского университета в Эрбана-Шампейн совместно с Алпаром и Шейхемом. Предположим, что плазма, движущаяся по орбите сразу же за границей магнитосферы, не является однородной, а представляет

собой совокупность облаков-сгустков, и, кроме того, проникнуть в магнитосферу плазме в каком-то месте легче, а в каком-то труднее. Пусть, например, плазме легче проникнуть в магнитосферу в районе магнитных полюсов нейтронной звезды. Тогда каждый раз, когда плазменный сгусток будет проходить над магнитным полюсом, какая-то его часть «просочится» в магнитосферу, упадет на нейтронную звезду и вызовет всплеск рентгеновского излучения. Это будет повторяться каждый раз, когда сгусток будет проходить над одним и тем же полюсом, т. е. один раз за период биений, и будет длиться до тех пор, пока сгусток плазмы полностью не исчезнет.

Возникающее при этом рентгеновское излучение должно наблюдаться как серия затухающих вспышек малой интенсивности, причем интервал времени между вспышками будет равен периоду биений. Такой набор импульсов представляет собой квазипериодический сигнал, спектр мощности которого содержит два различных пика: один из них обусловлен отдельными вспышками из данного набора, а другой, с частотой близкой к нулю, связан с наличием набора импульсов в целом. Пик на низкой частоте действительно имеется в спектре мощности источника GX5-1. В полный сигнал могут одновременно давать вклад множество плазменных сгустков, порождая столь же большое число перекрывающихся наборов импульсов, но, несмотря на это, общая форма спектра мощности не изменяется.

С самого начала с этой моделью была связана одна трудность. Если в центре источника GX5-1 действительно есть нейтронная звезда, вращающаяся со скоростью нескольких сотен оборотов в секунду и обладающая магнитным полем, способным создавать заметную магнитосферу, то почему мы не наблюдали сверхбыстрого рентгеновского пульсара? В конце концов, окружающая звезду плазма должна захватываться магнитным полем и падать на магнитные полюса звезды, порождая горячие пятна. Это противоречие послужило причиной скептического отношения многих астрофизиков к магнитосферной модели квазипериодических колебаний.

**О**ДНАКО то, что мы не наблюдаем рентгеновского пульсара, не может служить достаточным аргументом, как это может показаться, для того чтобы отказаться от описанной выше модели. Нейтронная звезда источника GX5-1 обладает гораздо более слабым магнитным полем, чем молодые нейтронные звезды, и пото-

му горячие пятна в случае GX5-1 могут быть гораздо большего размера, чем у нейтронных звезд в молодых двойных системах - возможно даже, что они занимают большую часть поверхности звезды. Следовательно, эффект «мигающего маяка» будет у этого источника выражен очень слабо. Кроме того, даже если происходят колебания интенсивности, рассеяние рентгеновских лучей толстым слоем окружающей магнитосферы плазмы может в несколько раз уменьшить их амплитуду.

Гораздо более серьезные сомнения в справедливости магнитосферной модели с биением частоты появились после того, как с помощью спутника EXOSAT были обнаружены другие источники с квазипериодическими изменениями интенсивности. У этих источников наблюдались разнообразные колебания интенсивности рентгеновского излучения, часто совершенно не похожие на источник GX5-1. Во многих случаях частота квазипериодических колебаний оказывалась от 5' до 7 Гц. Кроме того, по мере увеличения яркости в рентгеновском диапазоне частота колебаний, вместо того чтобы увеличиваться, либо оставалась постоянной, либо несколько уменьшалась, а то и вообще менялась хаотически. В спектре мощности этих источников отсутствовали пики вблизи нулевой частоты, наблюдаемые у источника GX5-1, и наличие которых предсказывалось магнитосферной моделью с биением частоты.

Многие астрофизики теперь считают, что благодаря таким свойствам эти источники можно выделить во второй класс квазипериодических колебаний, называемых «медленными». Свою точку зрения они обычно обосновывают следующим фактом: каждый тип квазипериодических колебаний имеет характерное спектральное состояние, т. е. распределение рентгеновских фотонов по энергиям. Тип спектрального состояния источника легко выявляется с помощью графика заВИСИМОСТИ «жесткости» рентгеновского излучения от его интенсивности; под жесткостью подразумевается величина, равная отношению числа рентгеновских фотонов с высокими и низкими энергиями.

Еще задолго до того, как были обнаружены квазипериодические колебания интенсивности, астрофизики знали, что если нанести измеренные спектральные состояния источника GX5-1 и весьма сходного с ним источника Лебедь X-2 на диаграмму жесткость - интенсивность, то они попадут над разные ветви: один на горизонтальную, а другой на диагональную, которые пересекаются в правом

верхнем углу диаграммы. Из последующих наблюдений квазипериодических источников стало ясно, что «быстрые» колебания наблюдались у рентгеновских источников лишь тогда, когда они были в спектральном состоянии, соответствующем верхней горизонтальной ветви, а «медленные» колебания - в том случае, когда спектральное состояние источника соответствовало диагональной ветви.

К сожалению, из этого правила есть буквально «блестящее» исключение: самый яркий на ночном небе рентгеновский источник Скорпион X-1. Поведение этого источника, у которого квазипериодические изменения интенсивности были обнаружены Дж. Миддлдитхом и У. Предгорским из Лос-Аламосской национальной лаборатории в мае 1985 г., на первый взгляд сходно с поведением других источников таких колебаний: в одном спектральном состоянии у него наблюдаются медленные колебания интенсивности, а в других - быстрые, частота которых (от 10 до 20 Гц) коррелирует с изменением яркости в рентгеновском диапазоне. Однако детальный анализ показывает, что Скорпион X-1 по своим свойствам разительно отличается от других источников. Необычными оказались, в частности, две ветви, которые описывают его поведение на диаграмме жесткость - интенсивность излучения; они сходятся не в правом верхнем углу диаграммы, как у остальных источников, а в левом нижнем.

Выход из этой обескураживающей ситуации был найден Г. Хасингером из Института взвешенной физики им. Макса Планка. Он высказал предположение, что отдельные ветви на диаграмме, которые описывают поведение источников Скорпион X-1, GX5-1 и Лебедь X-2, на самом деле представляют собой различные участки единой кривой, имеющей форму буквы «Z». Эта гипотеза объясняет наличие пересечений ветвей как в правом верхнем, так и в левом нижнем углах диаграммы. Последующие наблюдения источника Лебедь X-2, как и других рентгеновских источников, полностью подтвердили сделанное Хасингером предсказание (см. рисунок на с. 19).

Более чем вероятно, что квазипериодические колебания интенсивности с частотой от 10 до 20 Гц, наблюдаемые у источника Скорпион X-1 в спектральном состоянии, соответствующем нижней ветви его диаграммы, представляют собой другую разновидность медленных квазипериодических колебаний. Одна из причин для такого заключения состоит в том, что удалось наблюдать постепенный

переход медленных колебаний в колебания «третьей ветви» по мере того, как спектральное состояние источника Скорпион X-1, огибая угол, из диагональной ветви переходило в третью, нижнюю ветвь. Другой аргумент состоит в том, что квазипериодические колебания на третьей ветви, подобно медленным квазипериодическим колебаниям, не имеют пика в спектре мощности на частоте, близкой к нулю.

Большинство изученных источников с квазипериодическими колебаниями интенсивности соответствуют Z-образной зависимости, хотя и здесь имеется несколько исключений. Одним из наиболее «патологических» исключений служит рентгеновский источник, известный под названием «Rapid Burster». С помощью японского спутника «Хакутё» И. Тавара из Университета в г. Нагойя со своими коллегами обнаружил у этого источника медленные колебания интенсивности с частотой около 2 Гц. Кроме того что колебания источника «Rapid Burster» не укладываются на Z-образную кривую, они отличаются от медленных квазипериодических колебаний и в других отношениях.

**Н**ЕСМОТЯ на то что в принципе можно увязать большинство противоречивых свойств медленных квазипериодических колебаний в рамках магнитосферной модели с биением частоты, многие астрофизики полагают, что для объяснения медленных колебаний необходима иная теория. Было предложено много альтернативных моделей, некоторые из них вообще не опираются на процессы, происходящие в магнитосфере. Одна такая модель, очень простая с точки зрения заложенных в нее идей, использовалась мною и моими коллегами Л. Стелла и Н. Уайтом по наблюдательной группе EXOSA T для объяснения медленных квазипериодических колебаний у источника Скорпион X-1. В модели заложены два основных свойства, присущие всем известным источникам с квазипериодическими колебаниями интенсивности: во-первых, предполагалось, что аккреционный диск почти касается поверхности компактного объекта, а, во-вторых, мы считали, что интенсивность рентгеновского излучения чрезвычайно высока. (На самом деле, до сих пор до конца не ясно, является ли второе свойство отличительной особенностью всех источников с квазипериодическими изменениями интенсивности, или это иллюзия, порожденная тем, что такого рода колебания легче обнаружить у ярких рентгеновских источников.) Сочетание этих

свойств - если оно есть в действительности - имеет важное значение для рассматриваемого класса объектов.

Огромное число рентгеновских фотонных, излучаемых в окрестности компактной звезды, порождает направленное наружу давление на окружающую плазму. По мере увеличения светимости рентгеновского источника возрастает и давление излучения. Оно может стать настолько сильным, что превзойдет действующую на плазму силу гравитации; тогда рентгеновские фотоны смогут выдуть плазму из окрестности нейтронной звезды. Светимость рентгеновского излучения в этом случае называют эддингтоновским пределом (в честь английского астронома А. Эддингтона). Для типичной нейтронной звезды эддингтоновская светимость примерно в 100 000 раз превосходит светимость Солнца. Почти у всех источников с квазипериодическими колебаниями интенсивности рентгеновская светимость близка к эддингтоновскому пределу - с теоретической точки зрения превзойти этот предел источники не могут, поскольку в противном случае давление излучения остановит аккрецию.

Наличие у рентгеновских источников светимости с величиной, чуть меньшей эддингтоновского предела, имеет важное значение. Считают, в частности, что при таких светимостях давление излучения достаточно велико для того, чтобы внутренние области аккреционного диска «разбухли» и стали похожими на автомобильный баллон (см. рисунок на с. 20). В зависимости от угла между осью вращения диска и лучом зрения такой плазменный баллон может частично или даже полностью заслонить рентгеновское излучение от центральной впадины, где расположена нейтронная звезда. Если плазменный баллон будет расширяться и сжиматься в направлении, параллельном оси вращения диска, то из-за того, что излучение центрального источника будет то задерживаться, то пропускаться, возникнут квазипериодические колебания интенсивности излучения. И хотя свойства такого пульсирующего аккреционного диска не совсем понятны, из элементарных физических соображений можно показать, что соответствующие колебания плазмы будут происходить с частотой, близкой к наблюдаемой у источников с квазипериодическими колебаниями интенсивности.

**М**ОЖНО ли исследовать внутренние области ярких, маломассивных двойных рентгеновских систем, чтобы установить, какая из моделей

правильна: магнитосферная с биением частоты, затмений (экранирующего плазменного баллона) или какая-то другая? Одна из возможностей заключается в измерении временного запаздывания между приходом импульсов рентгеновского излучения высокой и низкой энергии от таких источников. Хасингер обнаружил запаздывание у источника Лебедь X-2. Мы наблюдали также у источника GX5-1 запаздывание прихода импульсов высокой энергии по сравнению с импульсами меньшей энергии. Величина запаздывания оказалась очень малой - всего лишь несколько миллисекунд, однако сам факт запаздывания не вызывает сомнения.

Вполне вероятно, что наблюдаемое запаздывание обусловлено процессом, называемым обратным комптоновским рассеянием, которое происходит, когда фотоны рассеиваются плазмой, нагретой до чрезвычайно высокой температуры. Каждый раз при взаимодействии фотона с одним из быстро движущихся электронов горячей плазмы происходит передача части энергии электрона фотону. В результате после многократного рассеяния фотоны превращаются в рентгеновское излучение высокой энергии, а если взаимодействий было мало - в низкоэнергетическое рентгеновское излучение. Кроме того, поскольку фотоны, превратившиеся в жесткое излучение, испытали гораздо большее число актов рассеяния, чем те, которые остались низкоэнергетическими, первые должны были «просачиваться» через плазму дольше вторых. (Именно этим эффектом «растяжения» длительности импульса вследствие обратного комптоновского рассеяния, возможно, объясняется то, что до сих пор не удалось наблюдать миллисекундных рентгеновских пульсаров.)

Время запаздывания зависит от нескольких важных факторов, таких как температура, плотность и характерные размеры рассеивающей излучение плазмы. Таким образом, имеется принципиальная возможность получить непосредственно из наблюдений информацию об условиях во внутренних областях маломассивных рентгеновских двойных систем путем регистрации и последующего анализа величины запаздывания между приходом импульсов рентгеновского излучения высокой и низкой энергий.

Это только один пример того, как изучение квазипериодических колебаний интенсивности позволяет приоткрыть завесу над наиболее таинственными областями астрофизики высоких энергий. Сейчас мы только приступаем к изучению этих новых явлений.



# Книги Издательства "Мир"



*А. Пич.*

**Операторные  
идеалы.**

1982, 29 л. Цена 3 р. 20 к.



*Э. Органик.*  
**Организация  
системы  
Интел 432.**

1987, 26 л. Цена 2 р. 20 к.



*М. Краус, Э. Кучбах,  
Е.-Г. Вошни.*

**Сбор данных  
в управляющих  
вычислительных  
системах.**

1988, 25 л. Цена 2 р. 10 к.

Эти книги вы можете получить иложенным платежом,  
направив заказ по адресу:

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



# Причины метастазирования раковых клеток

**Клетки, с которыми рак распространяется по всему организму БОЛЬНОГО, обладают отличительными молекулярными особенностями, Знание этих особенностей позволяет превращать злокачественные клетки в доброкачественные**

**МАЙКЛ ФЕЛ ЁДМАН, ЛИА ЭЙЗЕН БАХ**

**Г**ЛАВНОЙ проблемой в лечении рака остается метастазирование, которое заключается в том, что раковые клетки мигрируют по кровеносной и лимфатической системе и дают начало новым опухолям в различных частях организма. Если бы не возникали метастазы, хирургического удаления опухоли было бы достаточно для излечения рака. Однако, как правило, когда удается обнаружить «первичную» опухоль, часть клеток уже покинула ее и осела в других органах, как семена «вторичного» рака. В дальнейшей борьбе против злокачественного перерождения, очень редко удается одержать победу.

Если бы удалось контролировать образование метастазов, рак не был бы столь грозным заболеванием. К счастью, изучение метастазирования развивается очень быстро. Пятнадцать лет назад, когда начинались наши исследования в Вейцманновском институте в Израиле, было уже понятно, что некоторые опухоли метастазируют в большей степени, чем другие. Было также ясно, что в любой данной опухоли клетки различаются по своей способности к образованию метастазов: некоторые клетки метастазируют значительно эффективнее. Эти факты послужили основой для исследований, в которых мы продемонстрировали, что метастазирующие клетки по ряду признаков отличаются от неметастазирующих.

Наши данные помогают разобраться в том, как клетки образуют метастазы и как это можно предотвратить. Недавно, основываясь на результатах своих исследований, мы добились успешной иммунизации против метастазов рака легких у мышей. Подобные эксперименты могут послужить основой для разработки «противораковой вакцины».

Конечно, предстоит еще много сделать. Свойства метастазирующих клеток изучены далеко не полностью. Кроме того, до сих пор неясно, в какой мере наши данные, полученные в

опытах на мышах, применимы для лечения человека. Мы исследуем также связь между образованием метастазов и действием онкогенов (генов, активация которых приводит к развитию рака), поскольку неизвестно, являются ли эти гены, которые определяют неконтролируемый рост, ответственными и за распространение рака. Мы надеемся, что наши исследования помогут найти ответы также на ряд сопутствующих вопросов: почему одни опухоли метастазируют сильнее, а другие слабее, почему опухоли мозга не метастазируют, хотя опухоли других органов метастазируют в мозг. Собственно наша работа составляет лишь часть обширных непрекращающихся исследований, цель которых - установить молекулярные основы злокачественного перерождения.

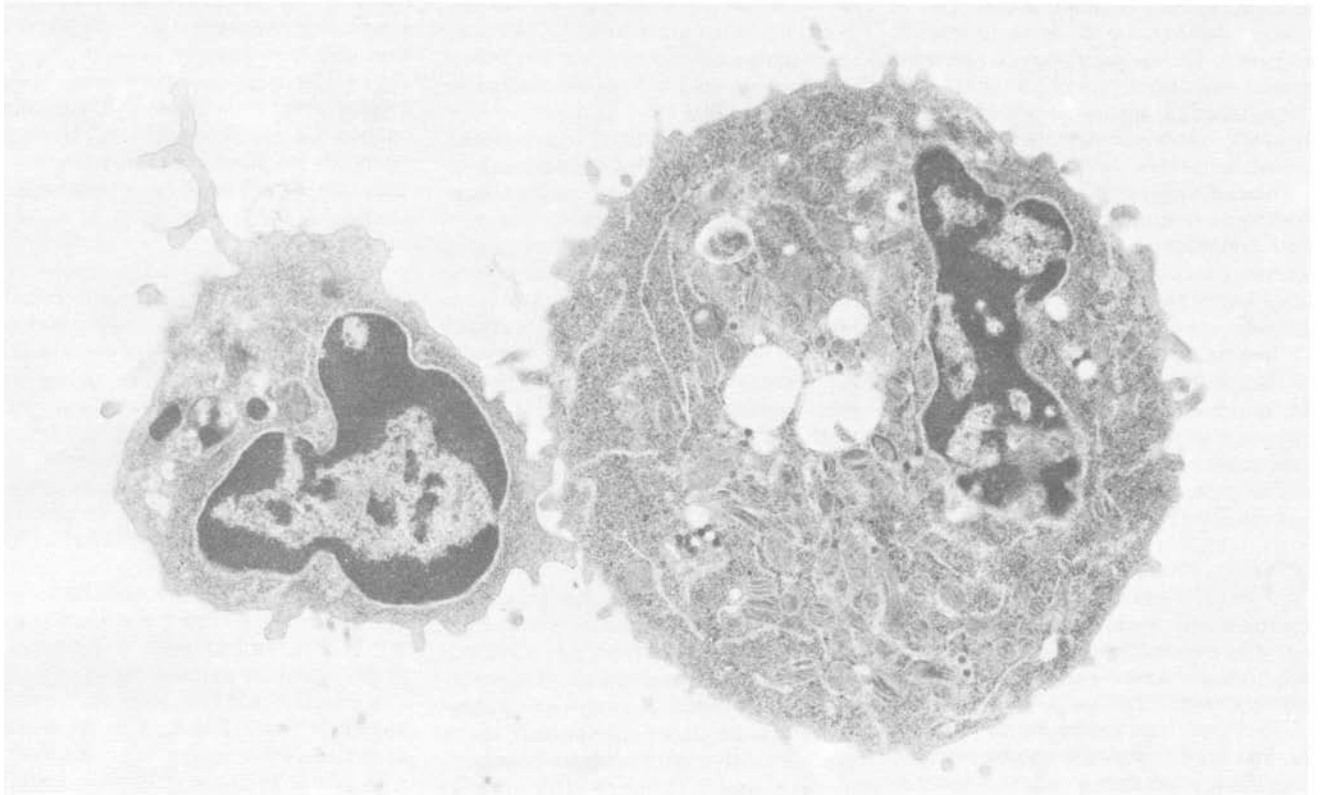
**П**ЕРВЫЕ указания на то, что клетки одной и той же опухоли могут различаться по способности к образованию метастазов, были получены в 1970-х годах А. Фидлером и М. Крипке, работавшими тогда в Национальном институте рака США. Фидлер и Крипке изучали на мышах меланому - рак кожи, который часто дает метастазы в легкие. Чтобы установить способность к образованию метастазов у индивидуальных клеток, они выделили клетки из первичной опухоли и из каждой клетки по отдельности вырастили клон. (Все клетки в клонированной популяции идентичны, поскольку являются потомками одной и той же клетки.) Клетки этих клонов трансплантировали здоровым мышам и затем наблюдали за образованием метастазов в легких. Оказалось, что некоторые клоны образывали гораздо больше метастазов, чем другие, а некоторые вообще не приводили к возникновению рака легких (см. рисунок на с. 28 - 29). Из этого можно было заключить, что метастазирование связано со специфической функцией.

Теперь никого уже не удивляет тот факт, что метастазируют не все опухолевые клетки. Поражает как раз другое - что вообще некоторые из них способны к этому. Метастазирующей клетке приходится высвободиться из исходной опухоли, проникнуть в межклеточный матрикс, а затем пройти сквозь стенку кровеносного сосуда. Она должна уцелеть, пока мигрирует в кровотоке, где «патрулируют» враждебные ей клетки иммунной системы, и выйти из него в удобном для этого участке. На новом месте клетке нужно индуцировать рост новых кровеносных сосудов в окружающей ткани, необходимых для питания образующейся опухоли (см. рисунок на с. 26 - 27).

Вероятно, каждый из этих этапов контролируется своей молекулярной системой; и сбой в любой из них, скорее всего, приведет к тому, что клетка будет не способна метастазировать. Таким образом, различия между метастазирующими и неметастазирующими клетками на молекулярном уровне могут быть многочисленными, но возможно также, что этих различий, наоборот, немного. Поиск таких отличительных признаков мы начали с изучения ферментов, необходимых для начальных этапов распространения опухолевых клеток по организму.

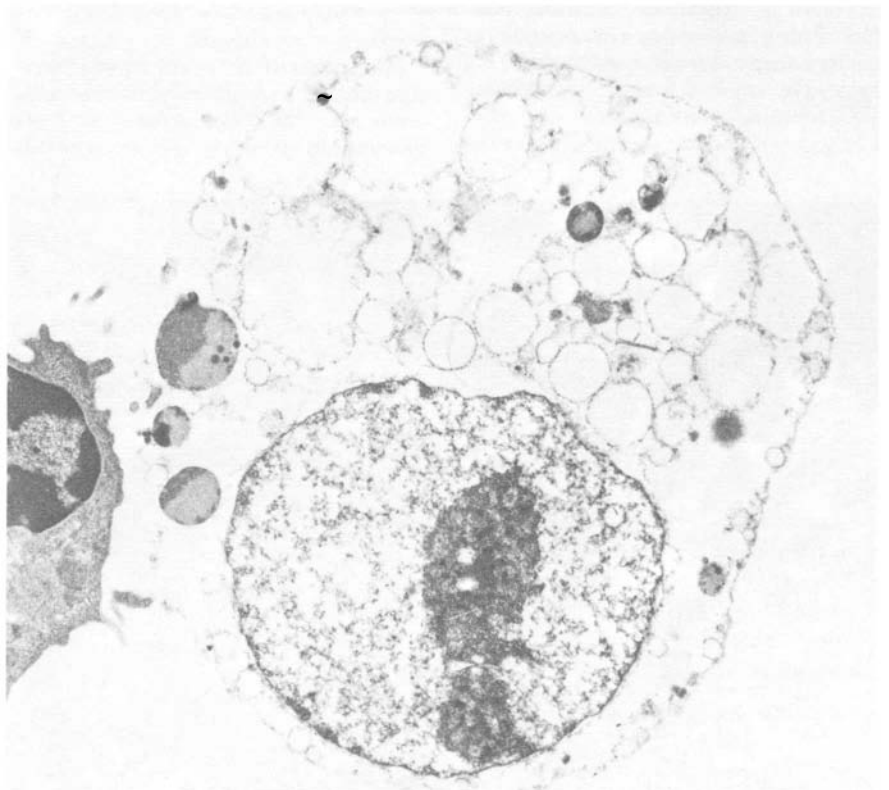
Один из этих ферментов, называемый коллагеназой типа IV, «прогрызает» стенки кровеносных сосудов, осуществляя деградацию их главного структурного компонента - коллагена IV. Ранее было показано, что доброкачественные и злокачественные опухоли различаются по своей способности синтезировать и секретировать коллагеназу. Нас заинтересовал вопрос, не образуют ли клетки одной и той же злокачественной опухоли различные количества этого фермента.

В этих и в большинстве последующих экспериментов мы использовали распространенные опухоли мышей,



которые известны под названием карцинома 3LL (от англ. Lewis lung carcinoma - карцинома легких Льюиса) и саркома ТЮ. Карциномы и саркомы - это солидные опухоли; карцинома представляет собой опухоль эпителиальной ткани, например молочной железы, кишечника или легкого, а саркома - опухоль соединительной ткани. Мы получили клоны клеток из опухолей этих двух типов и выбранные случайным образом клоны исследовали на способность к образованию метастазов. При этом для каждого клона измеряли также синтез и секрецию коллагеназы. Оказалось, что метастазирующие и неметастазирующие клоны по уровню синтеза коллагеназы различались мало. По-видимому, клетки обоих типов способны к тем стадиям распространения опухоли, которые зависят от коллагеназы.

Затем мы сравнили в метастазирующих и неметастазирующих клонах уровень другого фермента, требующегося для проникновения опухолевых клеток сквозь стенки кровеносных сосудов. Ранее было показано, что фермент, называемый активатором плазминогена, играет важную роль в образовании метастазов. Действительно, мы установили, что метастазирующие клоны производят больше этого фермента, чем неметастазирующие. Однако такая разница, видимо, не влияет на потенциальную способность к образованию метаста-



РАКОВАЯ КЛЕТКА (вверху справа) подверглась атаке со стороны цитотоксического Т-лимфоцита (слева), который распознает ее по специфическим молекулам, расположенным на клеточной поверхности. Т-лимфоцит связывается с клеткой-мишенью и вырабатывает вещество, которое вызывает ее разрыв (внизу). В организме гибнут многие клетки, отделившиеся от опухолей, однако некоторые из них несут на своей поверхности молекулы, позволяющие им ускользать от распознавания иммунной системой. Такие клетки имеют гораздо больше шансов уцелеть во время миграции по кровотоку.

зов, поскольку клетки обоих типов могут проникать в межклеточный матрикс. Позже выяснилась причина этого: оказалось, что неметазирующие клетки каким-то образом вызывают локальное накопление клеток крови, называемых макрофагами, которые секретируют активатор плазминогена в большом количестве. Таким образом, неметазирующие клетки способны проникать в кровотоки, заимствуя ферменты у макрофагов.

Опыты с ферментами навели нас на мысль о том, что во взаимодействиях, которые определяют способность клеток метастазировать, должны участвовать другие элементы. Внимания заслуживала прежде всего иммунная система.

**ОПУХОЛЕВЫЕ** клетки сталкиваются с клетками иммунной системы и при локальном росте. Клетки, обеспечивающие иммунный надзор, продолжают вылавливать их в течение всего процесса образования метастазов: в межклеточном матриксе, при проникновении в кровеносные сосуды и особенно в самом кровотоке. Благодаря совместной деятельности клеток иммунной системы подвергается атаке любое чужеродное тело, на поверхности которого имеются отличительные маркеры - антигены. Передний край защиты - это белые клетки крови, носящие название

цитотоксических Т-лимфоцитов, или Т-киллеров (от англ. killer - убийца); их функция заключается в истреблении клеток, несущих на своей поверхности антигены.

Хотя раковые клетки происходят из тканей самого организма, становясь злокачественными, они начинают производить специфические опухолевые антигены. Таким образом, опухолевая клетка распознается иммунной системой как чужая, а не своя. Мы предположили, что метастазлирующие и неметазирующие опухолевые клетки в различной степени распознаются Т-киллерами как чужеродные.

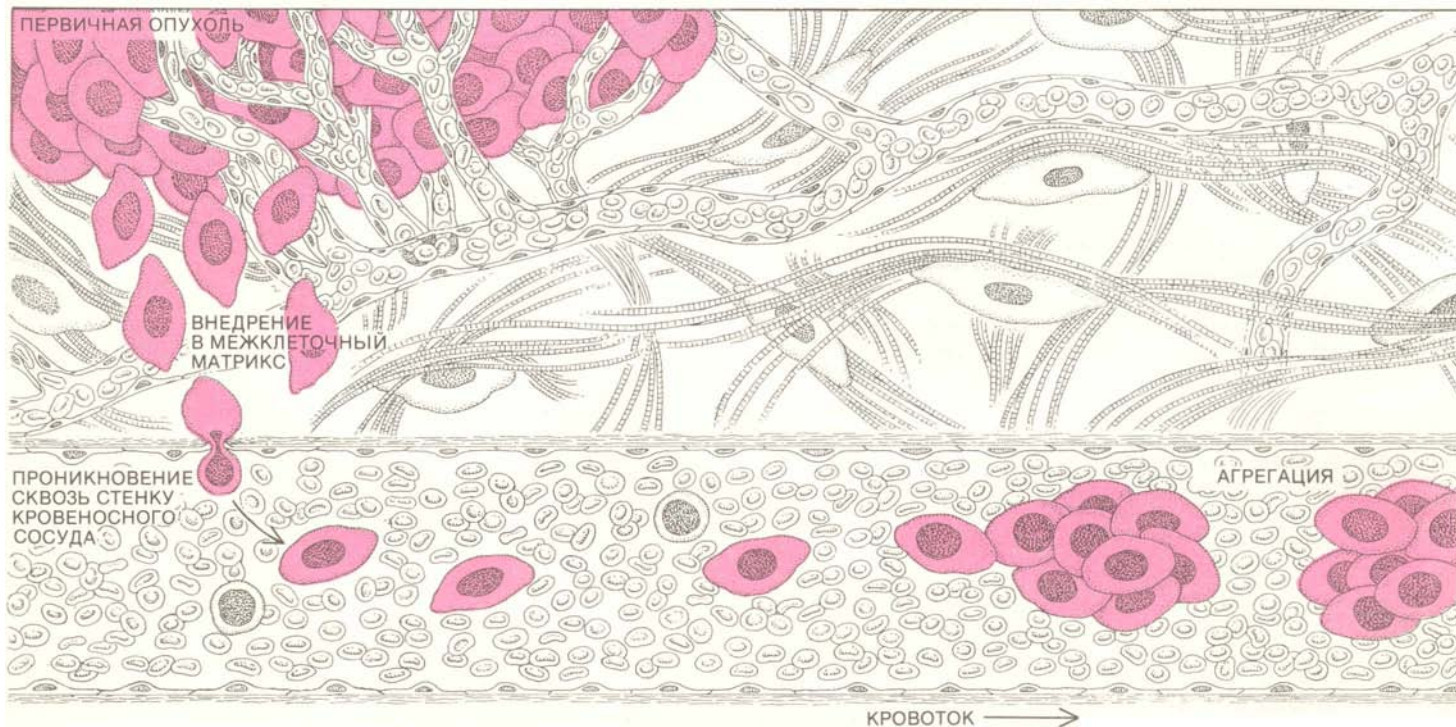
Прежде всего, на наш взгляд, имело смысл сравнить иммуногенность опухолевых антигенов метастазлирующих и неметазирующих клонов, однако эти антигены до сих пор не выделены и не охарактеризованы. Альтернативный подход заключается в изучении другой группы молекул, располагающихся на поверхности клеток и участвующих в обычном иммунном распознавании, которые составляют часть так называемого главного комплекса гистосовместимости (сокращенно **МНЕ** - от англ. Major Histocompatibility complex). Эта идея оказалась весьма плодотворной.

Молекулы **МНЕ** - это гликопротеины (белки, к которым присоединены молекулы сахаров), играющие роль отпечатков пальцев на биохимиче-

ском уровне: их структура уникальна у каждого индивида. Для иммунной системы они служат знаками «своего». Чужеродные антигены представляются иммунной системе связанными с молекулами **МНЕ**. Иммунная система распознает не просто чужеродный антиген, а комбинацию молекул **МНЕ** и антигена, т. е. своего и чужого.

Молекулы **МНЕ** подразделяются на два класса; из них только молекулы класса I непосредственно участвуют во взаимодействии Т-киллеров с клетками-мишенями. Эти молекулы имеются на поверхности почти всех клеток организма. Они служат участками присоединения Т-киллеров, которые обладают рецепторами, специфичными для определенных сочетаний антигенов и молекул **МНЕ**. При пересадках органов они сами могут служить антигенами и вызывать отторжение трансплантированной ткани. Могут ли различия в молекулах **МНЕ**, расположенных на поверхности раковых клеток, нарушать их узнавание Т-киллерами и тем самым влиять на образование метастазов?

В конце 1970-х годов этот вопрос звучал весьма странно, потому что считалось, что все молекулы **МНЕ** класса I в организме имеют функционально очень близкий, если не идентичный, иммуногенный потенциал. У мыши, например, молекулы **МНЕ** класса I кодируются двумя генами.



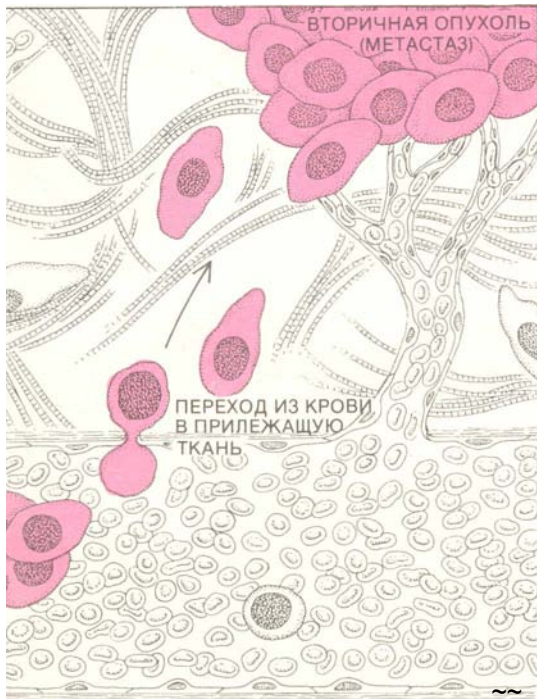
**МЕТАСТАЗ** - это новая, «вторичная» опухоль, образовавшаяся из раковой клетки, которая отделилась от «первичной» опухоли и мигрировала по кровотоку. Такая клетка сначала внедряется в межклеточный матрикс, окружающий

первичную опухоль. Затем она проникает сквозь стенку кровеносного сосуда в кровь, где может агрегировать с другими метастазлирующими опухолевыми клетками. Наконец в подходящем месте клетка покидает кровотоки и оседает

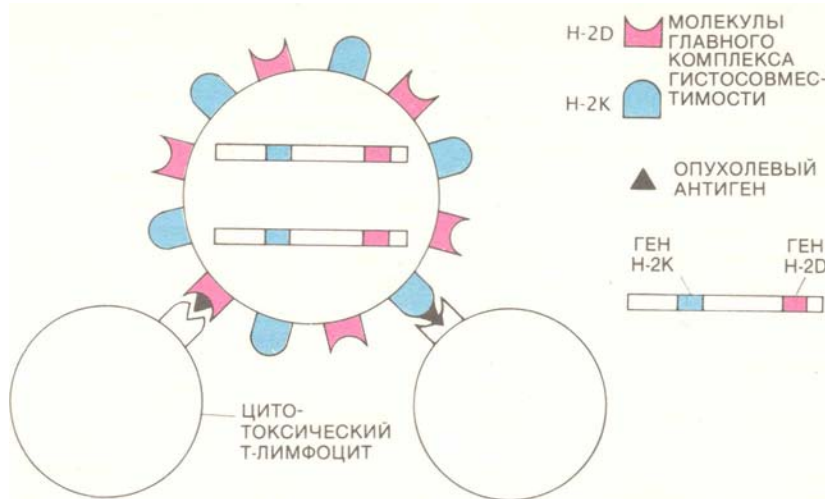
Эти гены и их продукты обозначаются H-2K и H-2D. В большинстве клеток синтезируются в различных количествах и H-2K, и H-2D. За исключением отдельных разрозненных сообщений, не было никаких оснований предполагать, что продукты этих генов различаются по функциям.

Однако одна статья вызвала большой интерес. В ней Г. Клэман из Центра здравоохранения Колорадского университета предположил, что H-2D, но не H-2K может быть связан с развитием иммунологической толерантности - отсутствием реакции иммунной системы на определенный антиген. Это навело нас на мысль, что молекулы **MNE** одного и того же индивида могут различаться по иммуногенности; возможно, H-2D подавляет иммунное распознавание. В таком случае опухолевые антигены, связанные с H-2K, будут привлекать Т-киллеров, а те же антигены в комплексе с H-2D останутся «невидимыми» для них. Возможно, способность опухолевой клетки к образованию метастазов как-то связана со степенью экспрессии генов H-2K и H-2D.

Мы решили проверить эту гипотезу, используя карциному 3LL мыши. Ранее в наших экспериментах были получены сильно метастазирующий клон D122 и клон A9, практически не способный к образованию метастазов. Обнаружил ось, что, как мы и предполагали, на поверхности клеток



в прилегающей ткани. Здесь она размножается и индуцирует рост сети питающих ее кровеносных сосудов. В результате образуется новая опухоль.



МОЛЕКУЛЫ главного комплекса гистосовместимости (MHC), расположенные на клеточной поверхности, служат маркерами «своего», а также участвуют в представлении антигенов, распознаваемых иммунной системой как чужие. У мыши два типа молекул MHC кодируются двумя различными генами - H-2K и H-2D. Цитотоксические Т-лимфоциты (клетки-киллеры), специфичные к типу MHC, при взаимодействии с соответствующими молекулами MHC, представляющими антигены, получают стимул для разрушения клеток, несущих эти антигены. Становясь раковой, клетка кодирует специфические опухолевые антигены, однако молекулы H-2D мешают узнаванию таких антигенов киллерами.

D122 имелось большое количество молекул H-2D и почти не было H-2K, а на клетках A9 эти молекулы присутствовали примерно в равном количестве.

Связаны ли различия в молекулах H-2K и H-2D со специфическими различиями в иммуногенности? Мы исследовали этот вопрос, вводя клетки D122 и A9 здоровым мышам и наблюдая их иммунный ответ. Чтобы быть уверенными, что иммунная реакция была вызвана комплексом опухолевого антигена с молекулами **MNE**, а не просто распознаванием чужеродного **MNE**, пришлось использовать мышей, молекулы **MNE** которых не отличались от соответствующих молекул опухолевых клеток. Таких «сингенных» мышей удается получить в результате длительного инбридинга; их молекулы **MNE** идентичны.

Опухолевые клетки, прежде чем их вводили мышам, подвергали рентгеновскому излучению, поэтому опухоли у животных не развивались. Через две недели после инъекции у этих мышей выделяли Т-киллеры и исследовали их взаимодействие с опухолевыми клетками в культуре. У животных, которым вводили клетки метастазирующего клона D122, иммунный ответ был очень слабым; лишь немногие из их Т-киллеров атаковали в культуре опухолевые клетки. Напротив, клетки A9 вызывали сильный иммунный ответ: у животных, которым они были введены, образовывались Т-киллеры, разрушавшие в куль-

туре как клетки A9, так и (в меньшей степени) клетки D122.

**Ч**ТОБЫ выяснить, есть ли корреляция между типом **MNE** и способностью к образованию метастазов, мы исследовали более 90 клонов 3LL. Действительно, обнаружилась явная корреляция, причем важна была не просто абсолютная плотность распределения молекул H-2K на поверхности опухолевых клеток, а соотношение количеств молекул H-2K и H-2D. Мы пришли к выводу, что комплекс H-2D с антигеном не просто иммунологически инертен, а способен подавлять иммунный ответ, как это предполагалось в работе Клэмана.

Убедившись в корреляции, мы сделали следующий шаг - попытались установить причинно-следственную связь. Для этого мы изменяли относительную экспрессию генов H-2K и H-2D в культуре опухолевых клеток с тем, чтобы затем определить, изменятся ли в результате способность клеток к образованию метастазов. В начале изменение экспрессии генов достигалось путем культивирования клеток в присутствии веществ, которые, как было известно, индуцируют экспрессию ряда генов, не только генов **MNE**. Эти опыты дали положительный результат. Например, при культивировании клеток с ретиноевой кислотой наблюдалось усиление экспрессии гена H-2D, и через 7 дней культивирования обычно неметастазирующие клетки A9 приобретали

способность давать обширные метастазы в легких у сингенных мышей.

Обработка клеток интерферонами дала результаты, которые согласовывались с нашей гипотезой, но тем не менее были поразительными. По-видимому, различные интерфероны -  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ - действуют на разные гены. Интерфероны  $\alpha$  и  $\beta$  введенные вместе, индуцируют экспрессию гена H-2D в большей степени, чем H-2K, тогда как  $\gamma$ -интерферон обладает противоположным действием. Поэтому в клетках, обработанных интерферонами  $\alpha$  и  $\beta$  отношение H-2K/H-2D уменьшалось и одновременно возрастала способность к образованию метастазов как у клеток A9, так и у клеток D122. В результате обработки  $\gamma$ -интерфероном возрастало относительное количество H-2K, и клетки D122 метастазировали слабее.

На этом этапе исследований все еще не было уверенности, что наблюдавшиеся изменения в способности к образованию метастазов обусловлены изменениями в соотношении молекул MHC, поскольку действие ретиноевой кислоты и интерферонов не ограничивается генами MHC. К счастью, методы генной инженерии позволяют бо-

лее тонко изменять экспрессию генов. В частности, ген H-2K выделили из нормальных клеток мыши, в которых уровень его экспрессии высок, и ввели в клетки клона D122, в которых собственный ген H-2K практически неактивен. После такого переноса (трансфекции) любое изменение способности к образованию метастазов у клеток D122 можно считать связанным с активностью привнесенного гена H-2K.

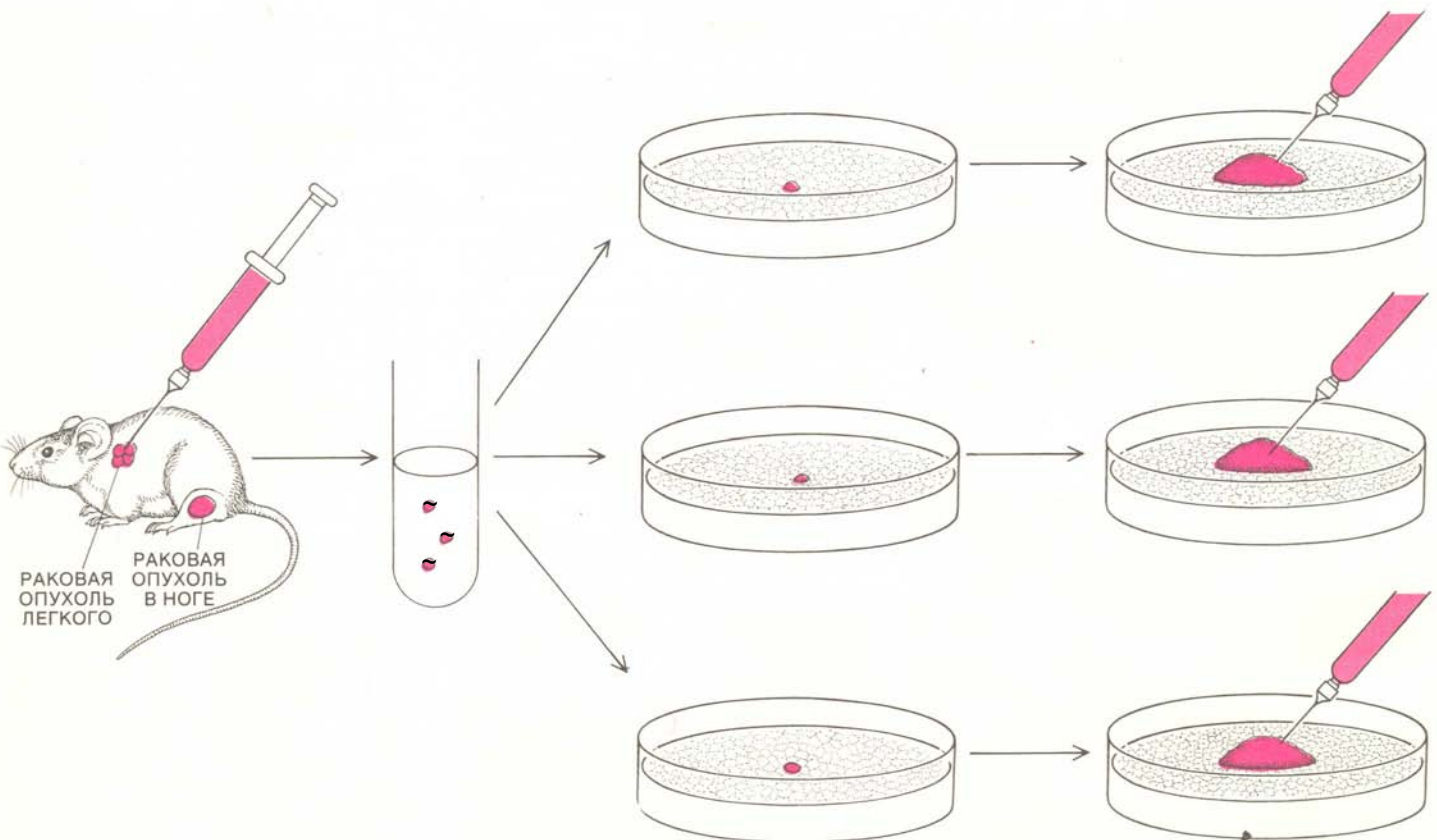
Это осуществил в нашей лаборатории Д. Плаксин, используя кольцевые молекулы ДНК, называемые плазмидами (см. рисунок на с. 3D). Плазмиды послужили векторами для переноса гена H-2K, полученного из нормальных клеток, в ядро клетки D122, где они обеспечили встраивание этого гена в хромосомную ДНК. Такие клетки-«трансфектанты» часто содержали до шести копий введенного гена H-2K. В этих клетках уровень экспрессии гена H-2K был выше, чем гена H-2D, и соотношение белков H-2K/H-2D в трансфектантах D122 выше, чем даже в неметастазирующих клетках клона A9.

Когда клетки трансфицированных клонов трансплантировали синген-

ным мышам, в месте трансплантации развивалась опухоль, однако в 7 случаях из 9 метастазов в легких было мало или вообще не было. Это однозначно доказывало, что изменение экспрессии молекул MHC существенно влияет на способность клеток к образованию метастазов.

**МЫ ПОВТОРИЛИ** эти эксперименты с генами H-2K из нескольких других линий мышей и получили близкие результаты. Чтобы выяснить, имеет ли отношение выявленная закономерность к опухолям других типов, такие опыты были проведены с клетками саркомы T10. Сотрудники нашей лаборатории, в том числе Ш. Кацав и Ш. Сегал (в настоящее время работает в Университете Бена Гуриона в Негеве) при участии Г. Хаммерлинга из Онкологического центра в Гейдельберге (ФРГ), получили по сути те же результаты: введение гена H-2K в опухолевые клетки нарушало их способность к образованию метастазов.

Это навело нас на мысль использовать клетки с внесенным геном H-2K, которые обладают высокой иммуно-



**СПОСОБНОСТЬ КЛЕТК К ОБРАЗОВАНИЮ МЕТАСТАЗОВ** может быть различной в одной и той же опухоли. Клетки, выделенные из раковой опухоли легкого мыши, разделяли и культивировали по отдельности, так что из каждой клет,

ки получался клон - популяция идентичных клеток. Клетки этих клонов трансплантировали мышам. Вместе трансплантации всякий раз развивалась опухоль, однако клоны сильно различались по количеству метастазов, возникаю-

против образования метастазов. Реально ли это? Обычно в ходе злокачественного перерождения иммунная система истребляет метастазирующие клетки, у которых велико отношение количества белков Н-2К/Н-2Д на поверхности, но не затрагивает клетки с низким уровнем экспрессии гена Н-2К. Однако, если бы иммунный ответ был достаточно мощным, от него, возможно, не ускользнули бы даже клетки с низкой плотностью молекул Н-2К на поверхности.

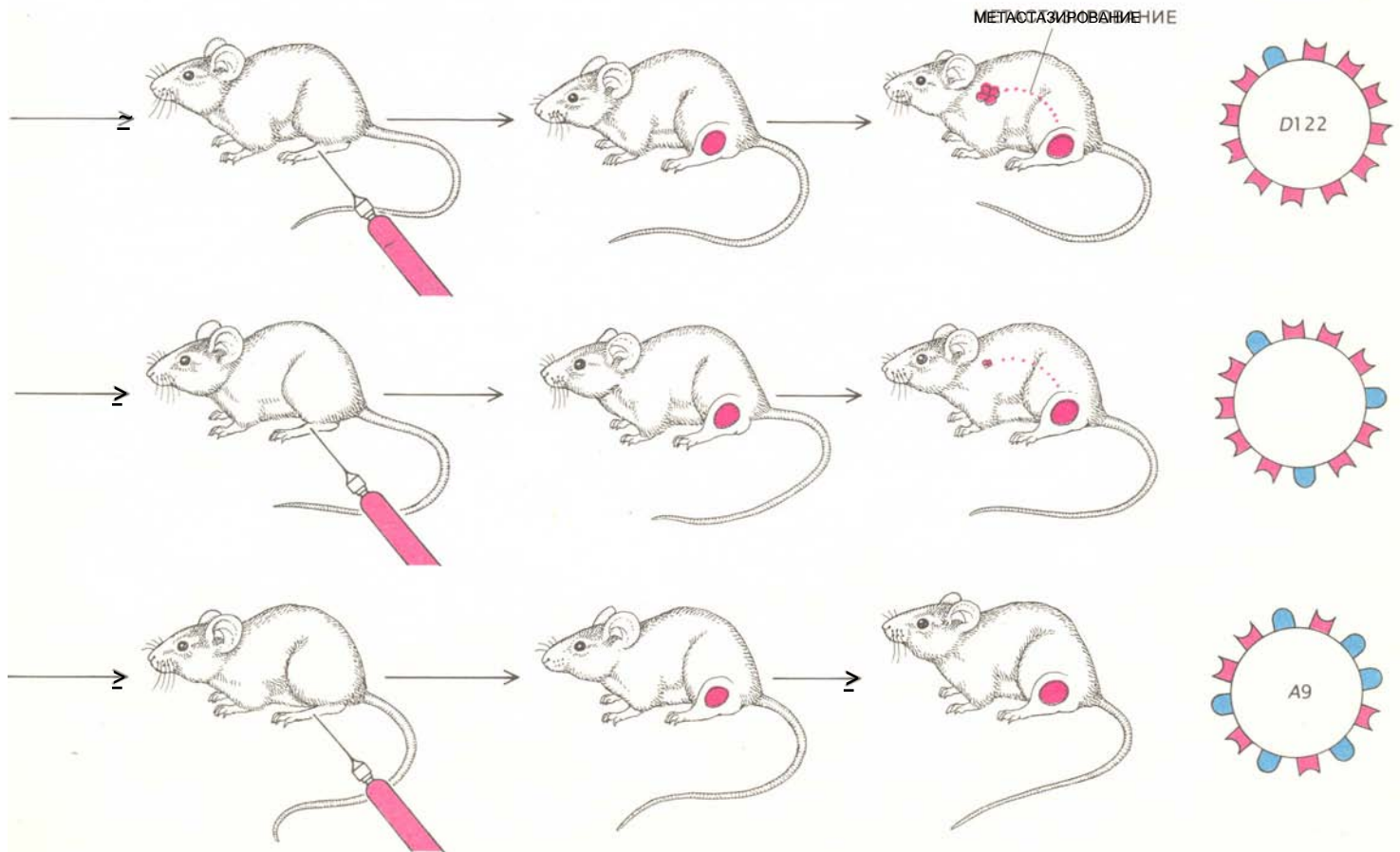
Плаксин и К. Гельбер в нашей лаборатории сначала иммунизировали мышей клетками-трансфектантами D122, содержащими ген Н-2К, которые предварительно облучали, чтобы подавить их активность. Когда затем они трансплантировали этим же животным активно метастазирующие клетки клона D122, метастазы у них не развивались, тогда как у неиммунизированных мышей в легких появлялись многочисленные метастазы. В качестве контроля некоторых особей «иммунизировали» инактивированными клетками D122; после пересадки нормальных клеток D122 у них наблюдались выраженные метастазы в легких (см. рисунок на с. 31).

Таким образом, удалось предотвратить развитие метастазов путем иммунизации клетками-трансфектантами с геном Н-2К. Можно ли этим способом остановить образование метастазов уже после того, как опухоль обнаружена? Плаксин пересадил здоровым мышам клетки D122, а через неделю, когда появилась первичная опухоль, начал еженедельно вводить группе животных клетки-трансфектанты с геном Н-2К. Через 3 недели количество метастазов в легких у иммунизированных мышей значительно снизилось по сравнению с неиммунизированными животными контрольной группы. Теоретически такой подход может быть использован для лечения людей. Чтобы обеспечить гистосовместимость тканей пациента и предназначенных для лечения клеток, их следует выделять из первичной опухоли больного и вносить в них ген Н-2К.

Следует отметить, что ни в одном из наших опытов по иммунизации не удалось остановить рост первичной опухоли. По-видимому, к тому времени, когда опухоль достигает достаточных размеров, чтобы ее могла «заметить» иммунная система, она

уже достаточно велика для того чтобы противостоять иммунному ответу, даже если иммунная система заранее подготовлена к нему иммунизацией. Однако в экспериментах, проведенных Х. Фестенстейном и его коллегами в Медицинском колледже Лондонской городской больницы, было продемонстрировано, что из пересаженных клеток лимфомы мыши не образуется даже локальной опухоли, если в них внесен ген Н-2К. В то же время трансфицированные клетки размножались в организме мышей, иммунная система которых была подавлена облучением. По-видимому, в некоторых случаях иммунная система способна победить даже первичную опухоль.

**РАССМОТРЕННЫЕ** эксперименты показывают, что молекулы МНС служат по меньшей мере одним из факторов, определяющих способность опухолевых клеток к образованию метастазов. Однако является ли этот фактор единственным? Мы довольно легко получили ответ, сравнив количество метастазов, возникающих у мышей с подавленной иммунной системой после трансплантации им кле-



щих в легких. Потенциальная способность клона к образованию метастазов определяется соотношением молекул Н-2К и Н-2Д на клеточной поверхности; чем выше отноше-

ние Н-2К/Н-2Д, тем меньше способность клетки к метастазированию (справа). Один из наиболее активно метастазирующих клонов обозначен D122, а наименее активный - A9.

ток метастазирующих и неметастазирующих клонов. Если соотношение различных молекул **MNE** является единственным фактором, определяющим способность к образованию метастазов, то количество метастазов в обоих случаях должно быть одинаковым. Действительно, неметастазирующие клетки образовывали метастазы в легких у таких мышей, однако метастазирующие клетки у тех же животных давали больше метастазов. Таким образом, потенциальная способность к метастазированию зависит еще от какого-то другого свойства (или свойств) клетки. Пытаясь нащупать подходы к поиску этих свойств, мы решили исследовать продукты онкогенов.

Онкогенами называют имеющиеся у нормальных клеток гены, которые, активировавшись в результате мутации или транслокации, участвуют в развитии рака. В нормальном состоянии эти гены называют протоонкогенами и их экспрессия зачастую играет важную роль в нормальной жизнедеятельности клеток. Впервые существование онкогенов было продемонстрировано в конце 1970-х годов, когда Р. Вайнберг из Массачусетского технологического института обнаружил, что если ДНК из опухолевых клеток перенести в нормальные клетки, то последние «трансформируются», становятся раковыми. С тех пор было идентифицировано и выделено приблизительно 40 специфических онкогенов, однако до сих пор остается неясным, в какой степени и каким образом онкогены определяют развитие свойств раковых клеток, или, что с нашей точки зрения более важно,

зависит ли от них появление метастазов.

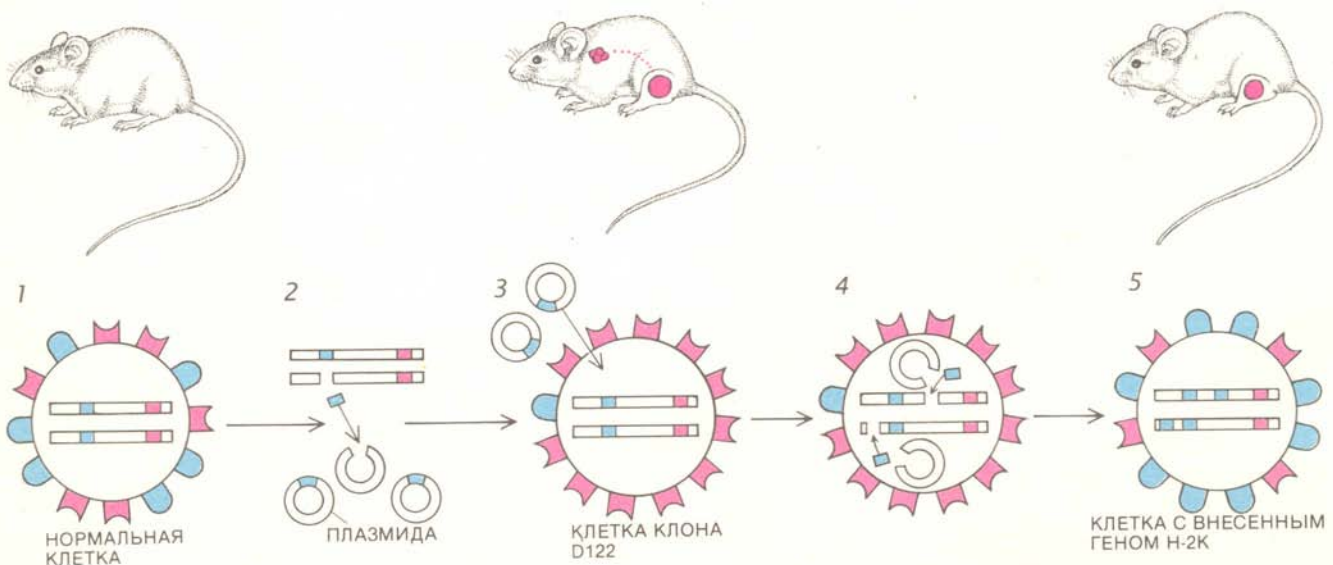
Может быть, ответить на эти вопросы удастся, поняв связана ли способность к образованию метастазов с эффективностью трансформации. Если да, то ДНК из метастазирующих и неметастазирующих клонов должна различаться по способности трансформировать нормальные клетки. Мы провели такие эксперименты по трансфекции ДНК, используя клоны карциномы 3LL и саркомы ТЮ с различной способностью к образованию метастазов, и корреляции между метастазирующей и трансформирующей активностями не обнаружилось. Можно было заключить, что злокачественная трансформация клеток и приобретение ими способности метастазировать - это разные процессы, которые не зависят от одних и тех же онкогенов.

Однако не исключалась возможность, что способность к образованию метастазов определяется онкогенами, которые не участвуют в начальной трансформации. Представлялось важным установить, функционируют ли в опухолевых клетках, с которыми мы экспериментировали, какие-либо из известных онкогенов, и если да, то какие. Мы исследовали клоны клеток карциномы и саркомы с помощью ДНК-зондов, позволяющих выявить многие из известных онкогенов. Было обнаружено несколько онкогенов. Один из них, *myc*, в клетках карциномы присутствовал в необычайно большом числе копий (до 60 копий на клетку), однако степень амплификации в метастазирующих и в неметастазирующих кломах оказалась близ-

кой и поэтому, вероятно, не была связана с потенциальной способностью к образованию метастазов.

Другой онкоген, называемый *fos*, вызывал больший интерес. К нашему удивлению, в неметастазирующих и слабо метастазирующих кломах его экспрессия наблюдалась, а в активно метастазирующих клетках - нет. В этом отношении он напоминал ген Н-2К. Мы задались вопросом, не связан ли ген *fos* с регуляцией генов МНС. При участии Дж. Барзиля в нашей лаборатории было показано, что в клетках D122 перед усилением синтеза Н-2К под действием  $\gamma$ -интерферона активируется ген *fos*. Позднее другой член нашей группы, Дж. Куштай, вводил в клетки O122 мышинный ген *fos* и его человеческий и вирусный аналоги. Во всех случаях наблюдалась экспрессия гена Н-2К, который в клетках O122 обычно неактивен; на клеточной поверхности появлялись молекулы Н-2К, причем экспрессия Н-2К начиналась опять-таки после активации привнесенного гена *fos*. Таким образом, ген *fos*, по видимому, «включает» в клетках O122 экспрессию их собственного гена Н-2К МНС. Недавно мы установили, что, как и следовало ожидать, у клеток D122 после введения в них гена *fos* способность к образованию метастазов резко уменьшается.

Такую же связь между активацией гена *fos* и экспрессией генов **MNE** мы наблюдали в лейкозных клетках человека. Ген *fos*, судя по всему, не участвует в развитии лейкоза у человека, поэтому обычно в этих клетках он не активен. Однако лейкозные клетки в культуре удается индуцировать с по-



ГЕН Н-2К из нормальных клеток мыши (1), перенесенный в клетки активно метастазирующего клон D122, уменьшает их способность к образованию метастазов. Ген вводят в клетки в составе плазмид - небольших кольцевых моле-

кул ДНК (2), которые обеспечивают встраивание нескольких копий гена в клеточную ДНК (3-4). В результате в этих клетках синтезируется больше молекул Н-2К, чем Н-2D(5), и их способность метастазировать уменьшается.



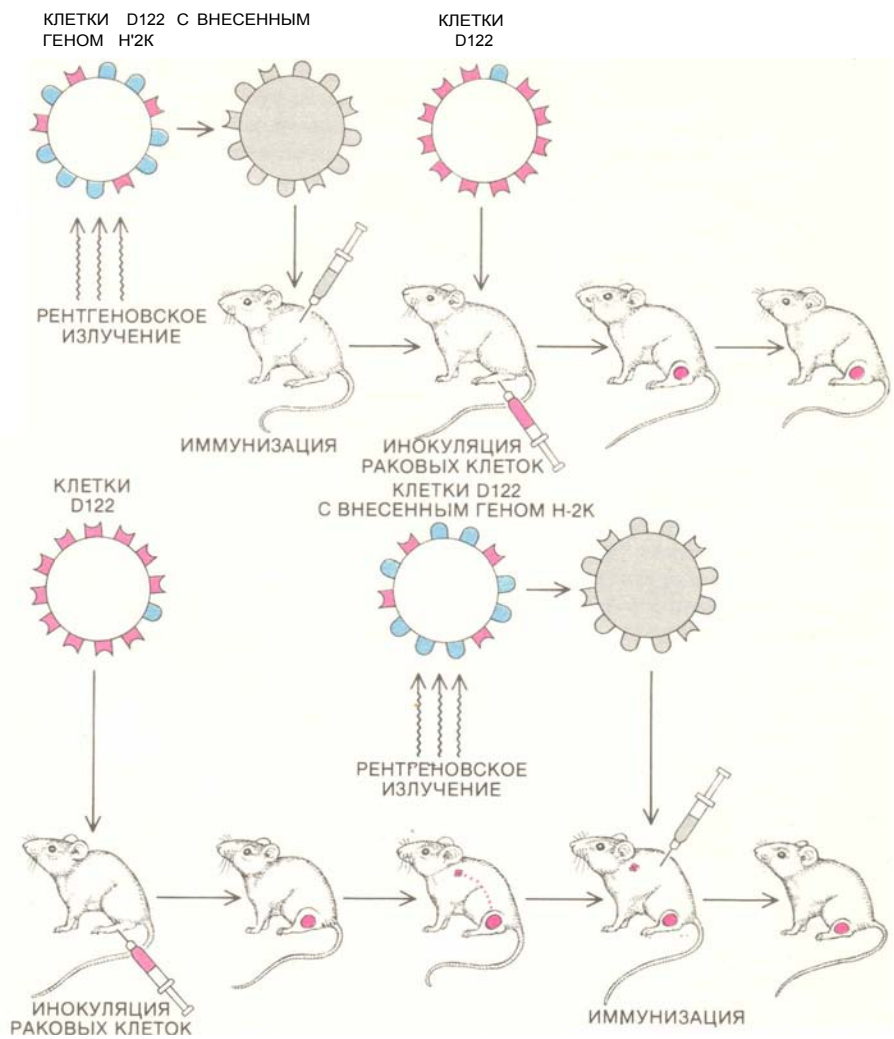
мощью различных веществ так, что у них вновь появляются свойства нормальных клеток крови, и когда это происходит, может изменяться и набор молекул МНС на их поверхности. Например, созревание макрофагов сопровождается увеличением плотности молекул МНС на их поверхности. Созревание гранулоцитов, напротив, сопряжено с исчезновением антигенов **MNE**.

Выяснилось, что активность гена *fos* связана с подобными изменениями молекул **MNE**. Когда мы индуцировали созревание лейкозных клеток человека, так что они превращались в макрофаги, происходила экспрессия гена *fos* и вслед за этим на поверхности клеток появлялись антигены **MNE**. Когда же индуцировалось превращение лейкозных клеток в гранулоциты, ген *fos* не активировался.

Похоже, что наше заключение о роли гена *fos* в регуляции экспрессии генов МНС в случае карциномы мыши имеет более общее значение. Действительно, корреляции, которые мы установили в этих опытах, позволяют предполагать, что именно продукт гена *fos* контролирует экспрессию генов МНС в нормальных клетках.

**О**БНАРУЖЕННЫЕ нами связи между экспрессией генов МНС, онкогена *fos* и способностью клеток к образованию метастазов расширяют представления о взаимодействиях между метастазирующими клетками и иммунной системой. Но свои исследования онкогенов мы начали с намерением определить специфические свойства метастазирующих клеток, *не* связанные с их иммуногенностью. И в конце концов это удалось. Нашелся неидентифицированный до сих пор ген, который экспрессируется преимущественно в метастазирующих клонах карциномы 3LL и саркомы T10. С помощью ДНК-зонда, позволяющего выявить экспрессию онкогена *fms*, который кодирует расположенный на поверхности клетки рецептор фактора роста, стимулирующего созревание клеток крови, мы обнаружили, что этот ген кодирует белок, более крупный, чем продукт онкогена *fms*, но близкий к нему по структуре. Может быть, неидентифицированный ген также кодирует рецептор фактора роста?

Исследование мембран эффективно метастазирующих клеток показало, что они действительно обладают биохимическими свойствами, типичными для поверхностных рецепторов факторов роста. Более того, недавно мы обнаружили, что в метастазирующих клетках из других опухолей мыши, которые дают метастазы в легких, также экспрессируется ген,



**ИММУНИЗАЦИЯ** против метастазов может быть достигнута с помощью клеток 0122 с внесенным геном H-2K. В одном эксперименте здоровым мышам ввели такие клетки, предварительно инактивированные рентгеновским излучением и потому не способные дать начало первичной опухоли. Затем этим животным трансплантировали метастазирующие клетки 0122 (вверху). Теперь у них возникли первичные опухоли, но метастазы не появлялись. В другом эксперименте мышам, у которых уже образовались первичные и вторичные опухоли, вводили инактивированные клетки 0122 с дополнительным геном H-2K и метастазы уменьшались. Видимо, эти клетки индуцировали иммунный ответ, достаточный для того, чтобы справиться с активно метастазирующими клетками и вторичными опухолями. Однако мощности иммунного ответа не хватает, чтобы остановить первичный рост метастазирующего клона.

по структуре близкий к онкогену *fms*. Сейчас в нашей лаборатории Дж. Губбэй занимается клонированием этого гена и пытается его охарактеризовать. Мы предполагаем, что этот ген кодирует рецептор некоего фактора роста, специфичного для ткани легкого.

Привлекательность этой идеи в том, что она замыкает круг различий между метастазирующими и неметастазирующими опухолевыми клетками. Результаты наших исследований ферментов позволяют предполагать, что большинство опухолевых клеток способны внедряться в межклеточный матрикс и проникать в кровотоки сквозь стенки кровеносных сосудов.

Изучение молекул МНС показывает, что во время миграции по кровотоку некоторые клетки способны уцелеть в большей степени, чем другие, поскольку могут ускользать от действия Т-киллеров. И вот становится понятно, почему одни клетки лучше, чем другие, образуют опухоли, когда достигают конечной точки своего путешествия: они могут нести рецептор для фактора роста, что способствует их пролиферации.

В какой мере установленные закономерности справедливы для организма человека? В настоящее время мы исследуем эту проблему совместно с сотрудниками Онкологического центра им. Слоана - Кеттеринга в

Нью-Йорке. Прежде всего необходимо определить, в какой степени способность опухолей человека к образованию метастазов определяется соотношением типов молекул МНС. Если закономерности злокачественного перерождения, изученные у мыши, дей-

ствуют и у человека, нам удастся в итоге внести вклад в создание методов иммунотерапии рака. А пока мы продолжаем фундаментальные исследования на мышах, чтобы найти новые факторы, влияющие на образование метастазов.

ми Института социальных проблем при Мичиганском университете. Помимо общих слов о так называемой наркотической эпидемии в обзоре приводятся данные, которые говорят о том, что потребление кокаина и марихуаны в прошлом году снизилось и что в течение последних пяти лет потребление запрещенных наркотиков в общем сокращается из года в год. Л. Джонстон, который руководит составлением обзора, признает, что этот документ имеет один очевидный недостаток: он не учитывает информацию о тех, кто бросил учебу в высших учебных заведениях. Джонстон указывает, что желательнее было бы расширить контингент исследуемых лиц; но, пожалуй, более важно то, что он хотел бы включать данные о людях, охватываемых различными программами по профилактике и лечению наркомании, с тем чтобы можно было оценить эффективность этих программ.

Также необходимы более полные сведения о биологическом действии наркотиков, указывает Мэри Дж. Крик из Рокфеллеровского университета. Эти исследования помогут разработать лечебные препараты, подобные метадону, нетоксичному заменителю героина. Не менее 0010 наркоманов, проходящих курс лечения метадонем, прекращают принимать героин; участники этой программы более способны удерживаться на работе и менее склонны к совершению преступлений, и поскольку метадон принимается через рот, а не вводится внутривенно, риск заражения СПИДом значительно снижается. Исследователи в настоящее время изучают другие наркотические средства, которые могут помочь в лечении наркоманов, принимающих кокаин. Исследование наркомании может также изменить сложившееся мнение, будто она является единственно результатом отсутствия воли и устойчивых моральных принципов. Крик утверждает, что ее собственная работа приводит к выводу, что пристрастие к героину связано с нарушением обмена веществ.

Результаты исследований могут оказать помощь в профилактике злоупотребления наркотиками, если эти результаты сделать достоянием общности и заострить ее внимание на тех опасных явлениях, к которым она может привести. Множество новых сообщений содержит подробные сведения о нездоровых последствиях, к которым приводит употребление кокаина, всего 6-7 лет назад считавшегося многими относительно безопасным. Один из тревожных выводов заключается в том, что употребление кокаина беременными женщинами, особенно в виде курительного

## Наука и общество

### Наркомания глазами ученых и политиков

В ПОСЛЕДНЕЕ время конгресс США неоднократно заслушивал социологов, медиков и других специалистов о злоупотреблении наркотиками. Общее мнение ученых лучше всего, пожалуй, выразила в своем докладе по этому вопросу Американская медицинская ассоциация, которая рекомендует «отказаться от чувства враждебности к тем, кого нужно лечить». (Хотя в процессе публичного обсуждения данной проблемы были выявлены сторонники отмены уголовной ответственности за употребление наркотиков, ни упомянутая ассоциация, ни большинство других влиятельных организаций не выразили своей поддержки этому шагу.)

Прислушивается ли правительство к мнению своих научных советников? Во время правления рейгановской администрации превалировало враждебное отношение к наркоманам. Данные Центрального финансового управления свидетельствуют о том, что за последние 7 лет средства, расходующиеся на меры по пресечению нелегального ввоза наркотиков в США и на усиление борьбы с наркоманией путем введения новых законов, увеличились почти в 5 раз и достигли в прошлом году 2,5 млрд. долл.; не считая средств, затрачиваемых на борьбу со СПИДом, сумма, расходуемая на профилактику и лечение наркомании и реабилитацию наркоманов, а также на исследования, связанные с определением масштабов и изучением причин злоупотребления наркотиками, в основном остается стабильной — около 500 млн. долл. в год.

В сентябре прошлого года палата представителей выразила свое отношение к рекомендациям специалистов, приняв законопроект о выделении 6 млрд. долл. на борьбу с наркоманией. Это самая большая сумма, которая когда-либо отпускалась на эти цели. Хотя на профилактику и лечение наркомании предусматривается выделить дополнительные средства, с терпимым отношением к наркоманам решено покончить: законопроект предусматривает лишение права

пользоваться ссудами на оплату обучения, обеспечение жильем и получение какой-либо другой помощи из правительственных фондов даже тех, кто, не являясь наркоманом, замечен в употреблении наркотиков. Законопроект также разрешит судам при рассмотрении дел о нарушениях законов в отношении употребления наркотических средств принимать во внимание нелегально добытые сведения, если полиция подтвердит, что они собирались из «благих побуждений». Сенат также готовится рассмотреть подобный законопроект.

По словам бывшего заместителя директора Национального института по проблемам наркомании, а ныне представителя Ассоциации по проблемам алкоголизма и наркомании К. Бестемана, «политики считают, что когда речь идет о злоупотреблении наркотиками, то наука здесь ни при чем. Только когда они окунаются в этот нарастающий ужас, они начинают проявлять беспокойство о защите интересов общества». А общество хотело «крутого» законопроекта, направленного на усиление борьбы с наркоманией, отмечает Бестеман, и палата представителей приняла его, несмотря на то, что по сути он игнорирует точку зрения ученых и специалистов.

Бестеман и другие эксперты понимают, что они не знают ответов на все вопросы. И это абсолютно верно, как говорят они сами, потому что злоупотребление наркотиками как социальное явление недостаточно изучено и в этой области потребуются провести еще немало исследований. Почти все такие работы финансируются Национальным институтом по проблемам наркомании. В 1989 г. бюджет этого института составит 253 млн. долл., но около половины этой суммы лишь недавно было добавлено на проведение исследований, связанных со СПИДом.

Особенно мало имеется данных эпидемиологического характера. Существует только один источник, из которого можно черпать необходимые статистические данные о масштабах нелегального употребления наркотиков — это ежегодный обзор, составляемый научными сотрудни-

го порошка и в форме, называемой крэком, вызывающей наибольшую к нему привязанность, может привести к необратимым процессам, опасным для плода в утробе. Исследователи, однако, не всегда могут сделать политически приемлемые выводы. Летом прошлого года участники конференции в Белом доме под названием «Америка без наркотиков», вошедшие в состав так называемой экстренной группы, назначенной президентом, критиковали Национальный институт по проблемам наркомании за то, что он не заявил однозначно, что марихуана является наркотическим средством. Если институт официально не засвидетельствовал, что марихуана опасна, то не потому, что не было проведено достаточное количество испытаний, как заявил один из официальных представителей упомянутого института. «Никогда еще не тратилось столько денег на то, чтобы выяснить вред препарата и при этом был бы получен такой ничтожный результат», - заявил он.

Д. Масто из Йельского университета, который описал историю нелегального распространения наркотиков в США в своей книге «Американская болезнь», выпущенной в 1973 г., указывает, что политические пристрастия часто нежелательно влияют на выбор направлений и финансирование исследований, связанных с изучением нелегального распространения наркотиков. В результате исследователи лишаются необходимых ассигнований на получение сведений, требуемых для эффективной борьбы с новыми тенденциями в злоупотреблении наркотиками. «Исследователи нуждаются в устойчивом финансировании и в спокойной атмосфере, - сказал Масто. - На сегодняшний день - это лишь голубая мечта».

### Искусная подделка

**В** 1356г. Жоффре де Шарни из Франции нашел, по его словам, плащаницу, в которую было завернуто тело Христа, снятое с распятия. находка представляла собой льняное полотно с проступающими на нем очертаниями человека с бородой, у которого на лбу, туловище, руках и ногах были раны. Хотя епископ города Труа сразу же признал, что найденная плащаница всего лишь искусная подделка местного художника, люди были склонны поверить в подлинность находки де Шарни. В настоящее время это полотно хранится в Турине (Италия) в соборе Св. Джiovанни Батисты и продолжает привлекать к себе многочисленных паломников.

И вот тайна Туринской плащаницы

разгадана. По просьбе Туринского архиепископа исследователи из Оксфордского университета, Университета шт. Аризона и Федеративной политехнической школы в Цюрихе установили возраст погребального полотна, измерив содержание изотопов углерода ( $^{14}\text{C}$ ) в его волокнах. Координировал работу этих исследователей Британский музей. Архиепископ не спешил сообщать результаты датировки, однако они просочились в прессу в сентябре прошлого года. Согласно этим результатам, лен, из которого соткано полотно, выращен не во времена Христа, а в период жизни де Шарни.

Уолтер К. Маккроун, специализирующийся на установлении подлинности произведений искусства с помощью микроскопического анализа, сказал в интервью журналу «Scientific American», что один официальный представитель католической церкви из Турина поведал ему с грустью, что сведения, просочившиеся в прессу, были достоверными. У. Маккроуна, который возглавляет исследовательский институт в Чикаго, это не вызвало удивления. Около 10 лет назад он сам исследовал плащаницу и пришел к выводу, что это погребальное полотно - искусная подделка, относящаяся к XIV в.

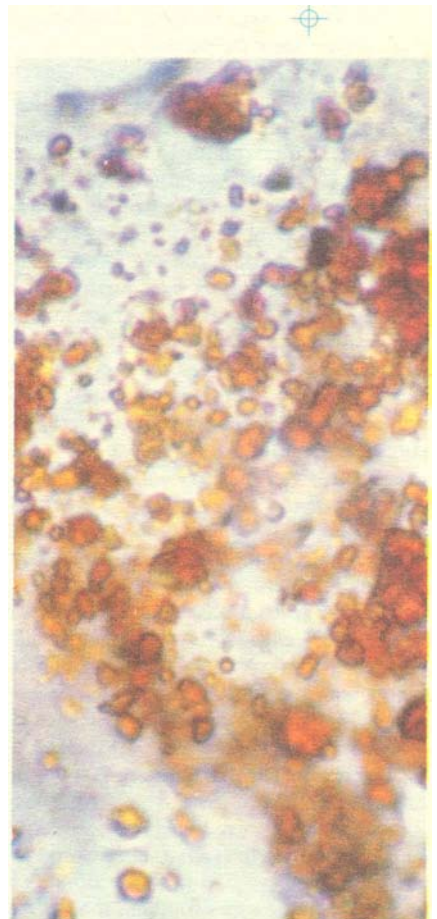
В конце 70-х годов Маккроун присоединился к группе других американских ученых, состоявшей примерно из 30 человек (большинство из них - сотрудники правительственных научных лабораторий), которая исследовала образцы материала с поверхности плащаницы из Туринского собора. По словам Маккроуна, он с самого начала не нашел общего языка с остальными членами группы. «Во время первой нашей встречи, - вспоминает он, - почти у каждого из них на шее висел большой крест. Я подумал тогда, что они не могут быть беспристрастными».

Работая отдельно от остальных членов группы, Маккроун исследовал волокна и другие материалы с поверхности плащаницы. Эти образцы были отобраны с помощью клейкой ленты. Он установил, что в той части плащаницы, где видны следы человеческого тела, волокна были пропитаны светлым, желатинообразным веществом, содержащим частицы красной охры. Волокна с темных, «окровавленных» участков были окрашены не кровью, а Вермильоном, или искусственной киноварью.

Все, что можно различить на полотне, несомненно, было выполнено красками. Но когда? Красная охра, которую получают из окиси железа - природного минерала, используется в качестве пигмента уже тыся-

чи лет. Столь же древнее применение имеет киноварь, приготавливаемая из минерала ртути. Однако киноварь на плащанице была искусственной, а ее научились получать лишь в средние века. Кроме того, в конце XIII в. для росписи тканей стали использовать краски на желатиновой основе (темпера на тканях) и этот способ был широко распространен в XIV в. Маккроун пришел к выводу, что епископ города Труа был прав: плащаница была подделкой, выполненной художником в XIV в.

По словам Маккроуна, «все проигнорировали его результаты». Представители церкви предпочли опубликовать заключение, сделанное другими членами названной группы исследователей: лико Христа и следы его тела отпечатались на полотне в результате сильного выделения энергии, следы крови остались от ран. Сейчас, когда результаты его работы подтвердились, Маккроун говорит, что вместе с чувством удовлетворения он испытывает некоторую симпатию к тем, кто верил в подлинность плащаницы. «Я и сам хотел, чтобы плащаница была подлинной», - признается он.



ЧАСТИЦЫ КРАСНОЙ ОХРЫ - компоненты краски на желатиновой основе, нанесенной на поверхность Туринской плащаницы. Микрофотография сделана У. Маккроуном.

# Электризация грозовых облаков

**Хотя уже двести лет известно, что молния - один из видов электрического разряда, микрофизические процессы, приводящие к зарядке грозовых облаков, остаются предметом споров**

**ЭРЛ Р. ВИЛЬЯМС**

**И**<sup>З</sup> ВСЕХ явлений природы молния - одно из наиболее распространенных и зрелищных. В течение двух веков - с тех пор как Б. Франклин доказал, что рассекающие небо вспышки есть не что иное, как мощные электрические разряды, молнии и грозы продолжают интенсивно изучаться. Но несмотря на обилие новых приборов и методов исследования, разгадка истинной природы молнии и механизма, обуславливающего электризацию грозовых облаков, ускользает от ученых.

Сложность проблемы объясняется тем, что величины физических параметров, характеризующих молнию и грозу, изменяются на 15 порядков величины. Рассматривая явления атомных масштабов, вызывающие электризацию грозового облака, приходится иметь дело с расстояниями порядка 10-13 км; движения же воздуха во всем грозовом облаке, которые завершают процесс заряда, могут охватывать расстояния в десятки и сотни километров. Основные физические процессы этих предельных масштабов еще не познаны.

Сам Франклин, возможно, не подозревая, обнажил одну из основных трудностей. В 1752 г. он писал, что «облака в грозе, как правило, несут отрицательный электрический заряд, но иногда и положительный». Ответ на вопрос, связана ли эта неопределенность с некорректностью наблюдений или она присуща грозовым облакам, был получен совсем недавно. Тем не менее с тех самых пор, когда Франклин написал приведенные выше слова, принято считать, что молния - это перенос либо положительных, либо отрицательных электрических зарядов от одной зоны облака к другой или между облаком и землей. Для того чтобы такой перенос стал возможным, облако должно быть электризовано, т. е. положительные и отрицательные заряды должны быть разделены. Как же происходит разделение зарядов?

Из дальнейшего читатель увидит, что на этот вопрос можно ответить лишь частично. В предметах, с которыми мы имеем дело в повседневной жизни, будь то чашки или телефоны, количество положительных и отрицательных зарядов одинаково; более того, эти заряды в предмете распределены равномерно, что позволяет говорить о нем как электрически нейтральном, или незаряженном. Однако многие микрофизические процессы могут привести к разделению зарядов и тогда в предмете, который в целом остается электрически нейтральным, образуются участки, где будут преобладать Положительные или отрицательные заряды. В таком случае говорят, что данный предмет заряжен или наэлектризован. Разделение зарядов приводит к появлению разности потенциалов, которую можно выражать в вольтах (В); чем больше зарядов разделено, тем больше разность потенциалов. Когда вы проходите по комнате, то в целом комната остается электрически нейтральной, но от трения подошвы о покрытие пола подошвы и покрытие могут приобрести заряды противоположного знака. В этом случае разность потенциалов на расстоянии нескольких сантиметров может стать равной 100000 В, что вы и ощутите, если возьметесь за ручку двери.

Обычная молния возникает при разности потенциалов в несколько сот миллионов вольт, при этом суммарный заряд, переносимый к земле,

**МОЛНИЯ НАД СИЭТЛОМ** во время исключительно сильной грозы 31 июля 1984 г. Обычный атмосферный электрический разряд возникает при разности потенциалов в несколько сот миллионов вольт; при этом за долю секунды переносится примерно  $10^2$  электронов и максимальная величина тока достигает 10 кА. Гроза умеренной силы «вырабатывает» электрическую мощность в несколько сот мегаватт, что сравнимо с мощностью небольшой атомной электростанции.

может достигать 10 кулон (К) и более что соответствует примерно  $10^2$  электронов. Перенос заряда в 1 К за 1 с по принятому определению соответствует току в один ампер (А). Молния представляет собой ток значительно больше 10 А, так как ее длительность намного меньше 1 с. Грозовые облака умеренных размеров «производят» несколько вспышек в минуту - каждая мощностью не-



сколько сот мегаватт, что эквивалентно мощности небольшой атомной электростанции. Выяснить, каковы точное распределение зарядов и физический механизм, создающий разряд такой силы, - вот главная задача физиков, занимающихся изучением грозowych явлений. Исторически сложилась так, что исследования в этой области концентрировались на электрической структуре облаков.

Исходя из наблюдений Франклина, было естественно предположить, что распределение зарядов в грозовом облаке соответствует простейшей схеме: положительные заряды скапливаются в одной части облака, а отрицательные - в другой. Такое распределение зарядов называется диполем. Пытаясь объяснить структуру грозowych облаков, ученые разработали две принципиально различные модели: в одной ключевая роль отдается атмосферным осадкам, в другой - конвекции.

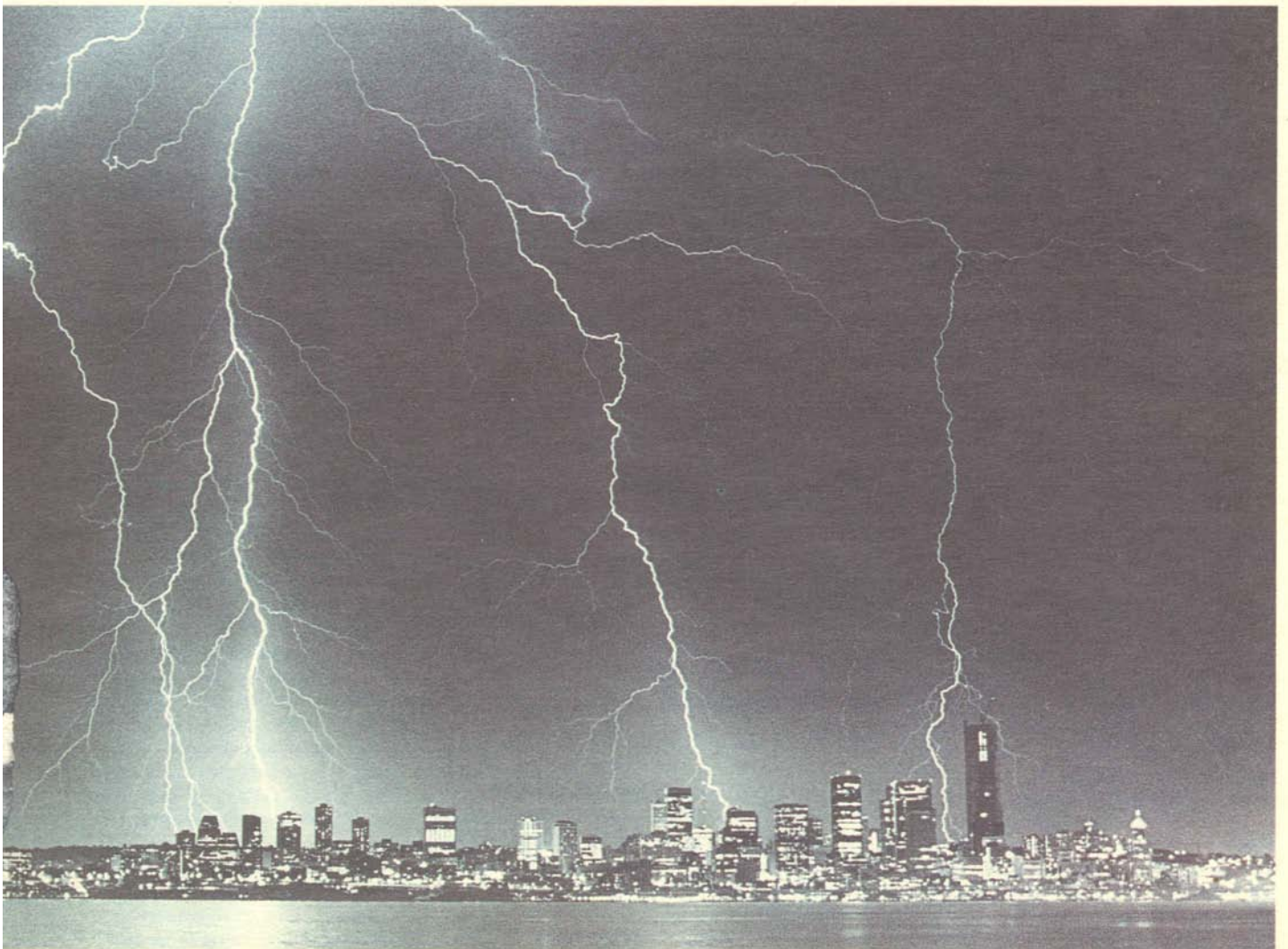
### *Осадки или конвекция?*

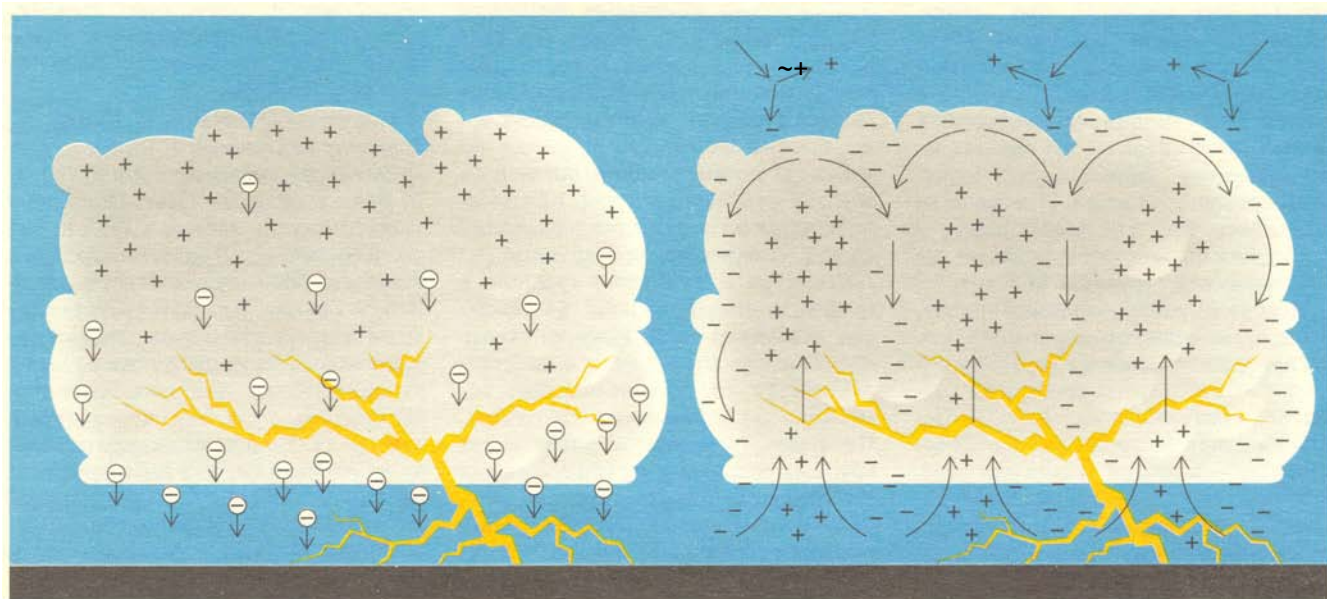
«Гипотеза осадков», впервые сфор-

мулированная немецкими физиками Ю. Эльстером и Х. Гейтелем в 1885 г., основана на явлении, которое можно наблюдать при работе садового разбрызгивателя: крупные капли воды быстро падают на землю, в то время как мелкие капельки остаются в воздухе и уносятся ветром. Как предполагается в гипотезе осадков, капли дождя, снежная крупа и крупные (до сантиметра в диаметре) градины в грозовом облаке падают на землю под действием силы тяжести сквозь массу мелких капель воды и кристалликов льда, которые находятся в атмосфере во взвешенном состоянии. Полагают, что при столкновениях крупных падающих частиц с мелкими взвешенными первым передается отрицательный заряд (подобно тому как заряд с коврового покрытия переносится на обувь), а вторым - в силу закона сохранения заряда - положительный заряд. Если падающие частицы становятся отрицательно заряженными, нижняя часть облака будет накапливать отрицательный заряд, а верхняя часть - положительный (см. рисунок на с. 36 слева). Такое про-

странственное разделение зарядов, когда положительный полюс находится вверху, называется положительным диполем.

«Гипотеза конвекции», сформулированная независимо Г. Гренетом из Парижского университета в 1947 г. и Б. Воннегутом из Нью-Йоркского университета в Элбани в 1953 г., несколько сложнее. В качестве аналога в данном случае можно взять генератор Ван-де-Граафа. В этом устройстве положительные или отрицательные заряды наносятся на движущуюся ленту из диэлектрика, доставляющую эти заряды (ионы) к высоковольтному электроду. Модель конвекции основана на допущении, что первоначально электрические заряды в облаке образуются благодаря двум внешним источникам. Первый - это космические лучи, которые сталкиваются с молекулами воздуха над облаком и ионизируют их (в результате происходит разделение положительных и отрицательных зарядов). Вторым источником служит сильное электрическое поле, возникающее у концов острых объектов на земной поверхности и по-





ДВЕ МОДЕЛИ, созданные для объяснения электрической структуры грозных облаков. Модель осадков (слева) основана на предположении, что сила тяжести заставляет падать большие капли дождя, градины и частицы льда миллиметрового размера, называемые снежной крупой, сквозь взвесь мелких капель воды и кристалликов льда. Считается, что в результате столкновений падающих и взвешенных в воздухе частиц первым передается отрицательный заряд, а вторым - положительный. Соответственно нижняя часть облака становится отрицательно заряженной, а верхняя заряжается положительно. Такую структуру называют положительным диполем. В модели

конвекции (справа) принимается, что восходящие потоки теплого воздуха переносят положительный заряд с поверхности земли к верхней части облака. Отрицательные заряды, создаваемые над облаками космическими лучами, притягиваются к периферии облака находящимися внутри него положительными зарядами. Они соединяются с частицами облака, образуя «экранирующий слой». Полагают, что нисходящие потоки воздуха переносят отрицательные заряды вниз; в результате создается тот же положительный диполь. Характерно, что модель конвекции не учитывает влияние осадков, а модель осадков - конвекцию.

рождающее так называемый коронарный разряд с образованием положительных ионов. Эти положительные ионы переносятся вверх восходящим потоком теплого воздуха. Перемещаясь в результате конвекции воздушные массы в этом случае выполняют ту же роль, что и движущаяся лента в генераторе Ван-де-Граафа. Достигнув верхней части облака, положительные ионы притягивают к себе отрицательные ионы, образованные над облаком космическими лучами. Отрицательные ионы входят в облако и тут же оседают на каплях воды и кристалликах льда, создавая тем самым отрицательно заряженный «экранирующий слой». Как следует из гипотезы, нисходящие потоки воздуха на периферии облака переносят затем отрицательно заряженные частицы из экранирующего слоя вниз; в этом случае также возникает положительный диполь.

Хотя выпадение осадков и конвекция наблюдаются во всех облаках, порождающих молнии (и в мощных кучево-дождевых облаках эти явления действительно неразделимы), трудно видеть, что в гипотезе осадков не учитывается конвекция, а в гипотезе конвекции - выпадение осадков. Это явное различие между двумя моделями сыграло важную роль в прояс-

нении вопроса о взаимосвязи эффектов осадкообразования и конвекции в электризации облаков.

Модели были разработаны для того, чтобы объяснить дипольную структуру грозных облаков. Но, как уже упоминалось, первые наблюдения Франклина в 1752 г. установили неоднозначность явления: какие заряды находятся сверху - положительные или отрицательные? Этот вопрос привел к полемике между Ч. Вильсоном и Дж. Симпсоном относительно характера разделения зарядов в грозных облаках. Спор этих двух ученых поучителен, поскольку он вскрывает ряд трудностей, с которыми сталкиваются исследователи, пытающиеся получить значимые данные о грозах.

### Положительный или отрицательный диполь?

В 20-е годы Вильсон, который до этого изобрел пузырьковую камеру, наблюдал с большого расстояния несколько гроз и пришел к заключению, что в основе структуры грозного облака лежит положительный диполь. Примерно в то же время Симпсон, занимавшийся измерением заряда дождя, выпадающего из грозного об-

лака, сделал противоположный вывод. Именно что нижняя часть грозного облака заряжена положительно, а верхняя - отрицательно, т. е. что облако представляет собой отрицательный диполь.

Лишь в последние двадцать лет исследователям удалось объяснить это кажущееся расхождение. Теперь мы можем сказать, что основная причина, по которой это расхождение во взглядах сохраняло ось так долго, заключается в том, что заряд непосредственно в грозном облаке измеряют очень редко - о нем судят по результатам измерений создаваемого облаком электрического поля. Электрическое поле вокруг заряженного тела во многом схоже с гравитационным полем некоторой массы. И то и другое поле заставляет перемещаться находящиеся в них объекты: гравитационное поле действует на массу, а электрическое - на заряды. Сила гравитационного притяжения или электростатическая сила, действующая на такие «пробные объекты, обратно пропорциональна квадрату расстояния между пробным объектом и источником поля. Оба поля, следовательно, характеризуются напряженностью (зависящей от расстояния до притягиваемого или отталкиваемого тела) и направлением силы (притяже-

нием или отталкиванием). Поля, характеризующие напряженностью и направлением, называются векторными.

Если заряженных тел несколько, то электрическое поле может быть очень сложным. Кроме того, определенной напряженности и направлению поля в данной точке могут соответствовать бесконечно много конфигураций заряженных объектов. Поэтому по одному-единственному измерению электрического поля нельзя однозначно восстановить картину распределения зарядов. Для этого требуется проведение нескольких измерений; в принципе, чтобы определить истинное распределение зарядов, электрическое поле необходимо измерить во всех точках. Вильсон и Симпсон проводили измерения в одном месте, что было недостаточно для правильно го определения расположения зарядов.

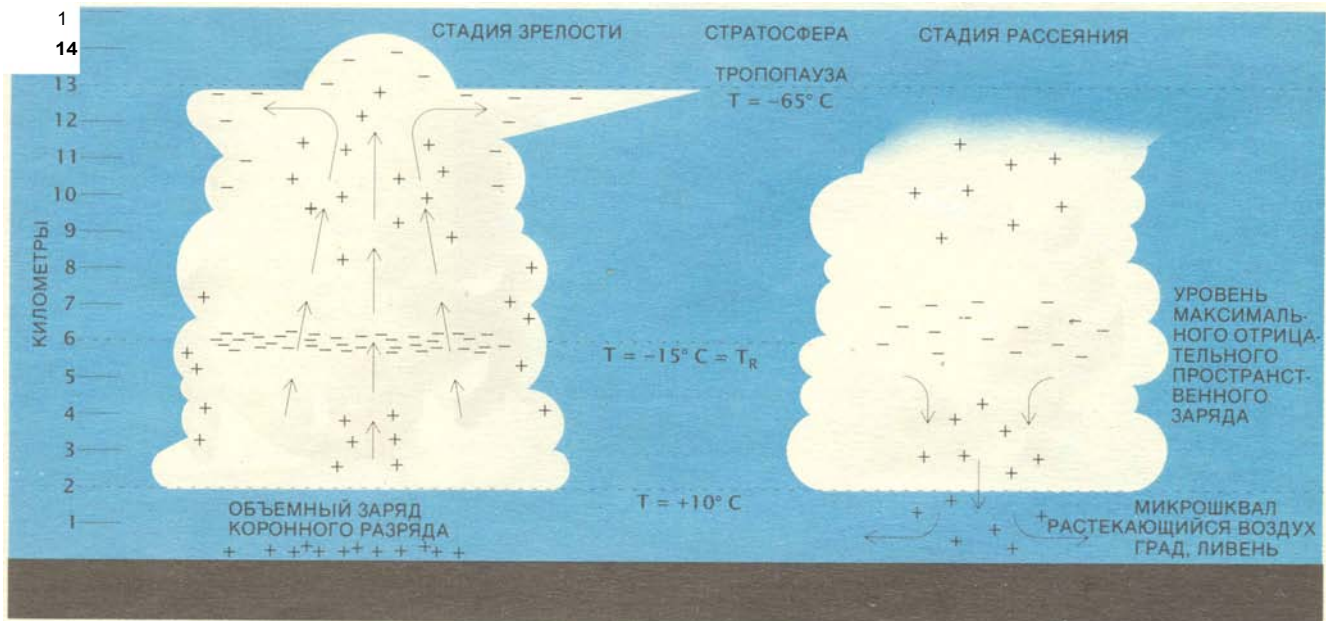
За 50 лет, прошедших с того момента, как было установлено противоречие Вильсона - Симпсона, удалось узнать, что в основе своей структура грозовых облаков не двухзарядная, а трехзарядная: в центре облака располагается основная зона отрицательного заряда, над ней - зона положительного заряда, а под ней - вторая,

меньшая, но тоже положительно заряженная (см. рисунок внизу). Наиболее характерная особенность этого главного отрицательно заряженного слоя заключается в том, что он относительно плоский (как лелешка): его размер по вертикали меньше одного километра, а в горизонтальном направлении он может простирается на несколько километров и даже больше. Располагается он на высоте примерно 6 км, где температура воздуха около - 15 ОС. На этой высоте вода может, как правило, существовать одновременно во всех трех фазах - в виде жидкости, льда и пара. Самые сильные электрические поля в грозовых облаках возникают у верхней и нижней границ этого основного отрицательно заряженного слоя.

Верхняя положительно заряженная область занимает больший объем по сравнению с отрицательно заряженным тонким слоем и может иметь толщину несколько километров, достигающая верхней границы самого облака. Нижняя же область положительного заряда настолько мала, что электрическое поле у поверхности земли часто формируется основной областью отрицательного заряда.

Многие облака имеют еще одну характерную зону: отрицательно заряженный слой толщиной около 100 м над верхней областью положительного заряда. Не исключено, что этот слой образован отрицательными ионами, рождающимися над облаком и рядом с ним и затем захватываемыми каплями воды или ледяными частицами в облаке; это и есть экранирующий слой, предсказываемый гипотезой конвекции. Независимо от его природы, однако, экранирующий слой, похоже, играет второстепенную роль и не меняет по существу основную трехзарядную структуру облака.

Представление о трехзарядной структуре позволяет объяснить результаты наблюдений Вильсона и Симпсона. Вильсон проводил измерения на большом расстоянии от облака; в этом случае влияние небольшого положительно заряженного слоя, расположенного у основания облака, подавлялось влиянием основного отрицательно заряженного слоя. Вильсон, следовательно, обнаруживал только самый верхний положительный заряд и отрицательный заряд под ним, т. е. положительный диполь. Симпсон же проводил наблюдения непосредственно под обла-



**РЕАЛЬНАЯ СТРУКТУРА** грозового облака не двух-, а трехзарядная: основной отрицательный заряженный слой расположен между двумя положительно заряженными областями. В грозовом облаке (слева) основной слой отрицательного заряда располагается на высоте около 6 км, а температура в нем равна примерно -15 ОС. Толщина этого слоя не превышает нескольких сот метров. Верхняя положительно заряженная область часто достигает тропопазузы на высоте около 13 км. На самом верху находится тонкий слой отрицательных зарядов, называемый экранирующим слоем. Возможно, его происхождение связано с космическими лучами, ионизирующими молекулы воздуха. В нижней части облака имеется вторая область положительных зарядов, меньшая первой. В грозовом облаке доминируют

восходящие потоки воздуха (стрелки), в рассеивающемся облаке (справа) расположенные внизу положительные заряды уносятся вниз нисходящими потоками воздуха. В простейшем виде гипотеза осадков не предполагает наличие у облака трехзарядной структуры. Модель конвекции объясняет существование трех областей зарядов, допуская, что нижняя положительно заряженная область образуется за счет так называемого коронного разряда на острых концах наземных объектов. Недавние наблюдения, однако, показали, что правильно объяснить трехзарядную структуру можно только, учитывая микрофизические процессы, обуславливающие перенос зарядов между частицами крупы и кристалликами льда.

ком. Его приборы обнаружили нижнюю положительно заряженную область, расположенную непосредственно над наблюдателем. Поскольку расположенный выше слой ОТРИЦАТЕЛЬНОГО заряда экранировал верхнюю положительно заряженную область, Симпсон сделал вывод, что отрицательный заряд располагается на самом веру и, следовательно, облако представляет собой отрицательный диполь.

### Микрофизические процессы

Представление о трехзарядной

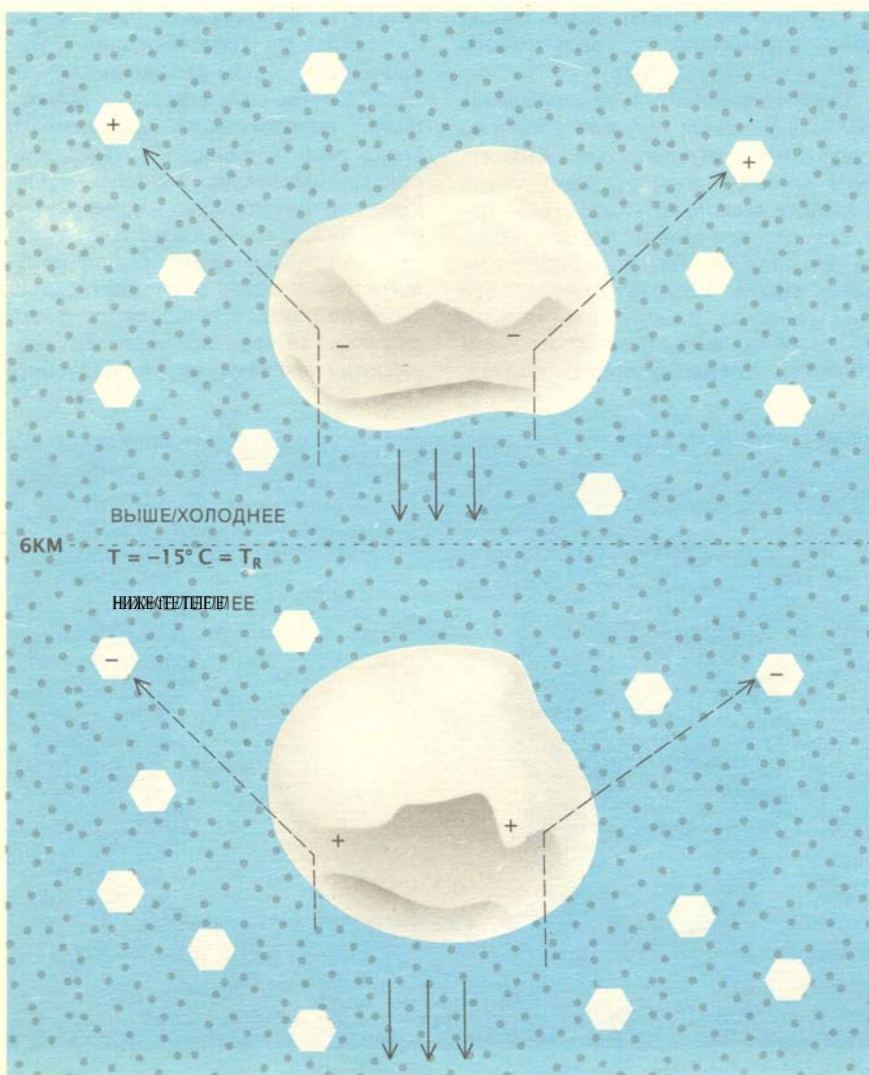
структуре грозового облака требует внесения изменений в простую модель грозы, учитывающую выпадение осадков; эта модель может объяснить только существование простого диполя и не учитывает того, что микрофизический механизм генерации заряда фактически остается необъясненным. В то же время может показаться, что гипотеза конвекции более естественно ведет к представлению о трехзарядной структуре, поскольку опирается на то, что коронный разряд на заостренных объектах на поверхности земли создает поток положительных зарядов в направлении к

основанию облака. Считалось, что этот поток может быть ответствен за нижнюю положительно заряженную область грозового облака. Однако результаты недавних проведенных измерений этого потока показали, что он, скорее всего, на порядок величины меньше, чем нужно, чтобы с его помощью объяснить наблюдаемую скорость образования заряда в облаке. Отчасти по этой причине гипотеза конвекции утратила свою популярность. Теперь предпринимаются попытки модифицировать гипотезу осадков.

Предлагалось несколько вариантов этой гипотезы, учитывающих существование нижней положительно заряженной области, а также тот факт, что дождь обычно несет с собой положительный заряд. Первым, кто попытался объяснить эти наблюдения, был Симпсон. На основании изучения водопадов известно, что некоторые крупные капли в брызгах, разбиваясь, заряжаются положительно. Симпсон предположил, что в грозовом облаке падающие капли воды также разбиваются на более мелкие капли у основания облака и благодаря этому в нижней части облака возникает положительно заряженный слой. Однако измерения, проведенные в грозовых облаках под слоем основного отрицательного заряда, показали, что здесь частицы осадков несут значительно большие заряды, чем капли воды в брызгах водопада; этот факт ставит под сомнение предположение о том, что дробление крупных капель на более мелкие является причиной образования трехзарядной структуры с положительно заряженной областью в нижней части облака. Кроме того, уже известно, что положительно заряженные частицы, которые опускаются ниже области основного отрицательного заряда, - это в основном не капли воды, а кристаллики льда.

Наличие льда учитывается и в других моделях, объясняющих трехзарядную структуру грозового облака. Лабораторные исследования, проведенные в 40-х годах, показали, что при таянии частицы льда приобретают большой положительный заряд. Этот факт все еще часто используют для объяснения образования нижнего положительно заряженного слоя в облаке. Хотя таянием можно объяснить присутствие положительно заряженных частиц на высотах до 4000 м, где в грозовых облаках на средних широтах лед, как правило, начинает таять, оно не объясняет присутствие положительно заряженных частиц на больших высотах.

Хотя таяние льда, судя по всему, не играет никакой роли в образовании



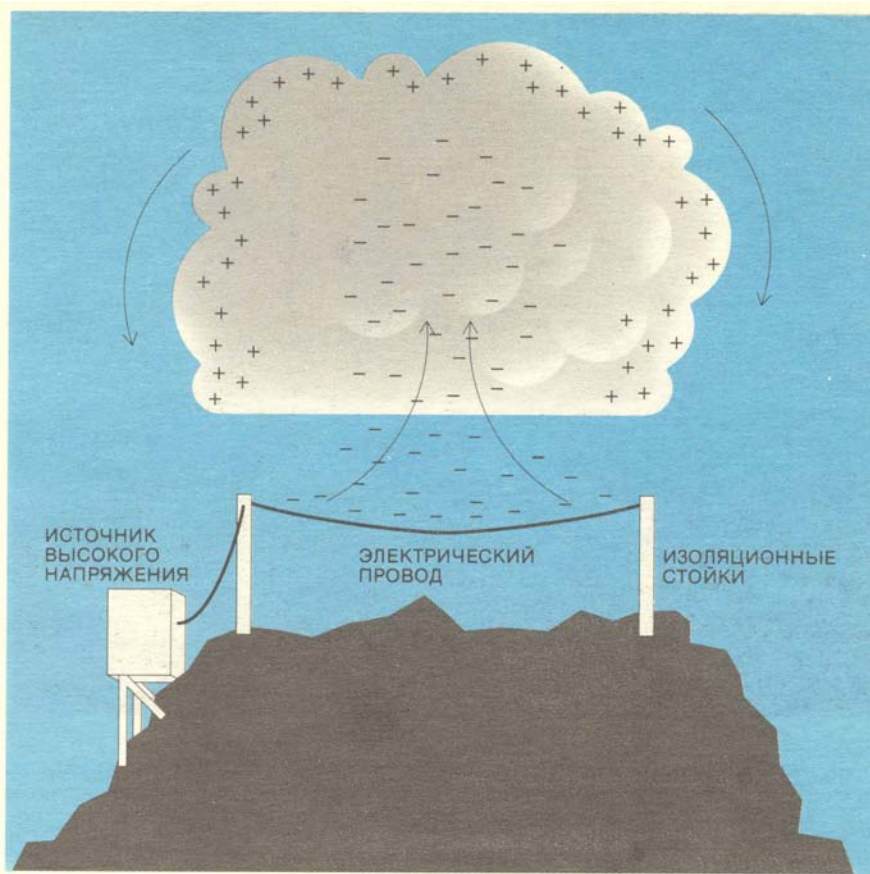
МИКРОФИЗИКА ПЕРЕНОСА ЗАРЯДА учитывает столкновения между снежной крупой и кристалликами льда. Тяжелые частицы крупы падают сквозь взвесь более мелких кристалликов льда (шестиугольники) и переохлажденных капелек воды (точки). Лабораторные эксперименты показывают, что когда температура опускается ниже так называемой температуры реверса заряда ( $T_R$ ) падающие частицы крупы при столкновении с кристалликами льда приобретают отрицательный заряд. При температуре выше  $T_R$  они заряжаются положительно. Считается, что  $T_R$  примерно равна  $-15^\circ\text{C}$ , температуре основного слоя отрицательного заряда; таким образом, частицы крупы приобретают положительный заряд, когда опускаются ниже этого слоя, в зону с более высокой температурой. Недавно получены данные о том, что эти положительно заряженные частицы формируют нижнюю область в трехзарядном грозовом облаке.



трехзарядной структуры, получены убедительные свидетельства, что ответственность за это несут столкновения между кристалликами льда и снежной крупой. Лабораторные исследования, проведенные в последние 20 лет многими учеными, в частности С. Рейнольдсом, М. Бруком и их коллегами из Горного института в Нью-Мексико, Т. Такахаси из Гавайского университета в Маноа, а также К. Сондерсом, Дж. Латманом и Э. Иллингвортом из Университета Виктории в Манчестере, показали, что знак заряда крупы, возникающего при столкновении крупы с кристалликами льда, существенно зависит от температуры. При температурах ниже критической, называемой температурой реверса (обращения) заряда, крупе сообщается отрицательный заряд; при более высоких температурах (соответствующих той, которая характерна для нижней части грозовых облаков) ей сообщается положительный заряд (см. рисунок на с. 38). Точное значение температуры реверса заряда пока не установлено, но считается, что оно лежит в пределах от  $-20$  до  $-10$  °C.

Результаты исследований грозовых облаков с помощью различных методов говорят о том, что основной отрицательно заряженный слой расположен на высоте, где температура примерно  $-15$  °C. Гипотеза реверса заряда объясняет, почему на более низких высотах отрицательных зарядов меньше: когда падающие частицы крупы сталкиваются со взвешенными в воздухе кристалликами льда, они приобретают положительный заряд. Эти положительно заряженные частицы образуют нижний положительно заряженный слой трехзарядной структуры. Более того, измеренное в лаборатории количество заряда, передаваемое за одно столкновение, кажется достаточным для объяснения суммарного заряда, переносимого молнией в облаках с умеренной электрической активностью. Определение температуры реверса заряда, согласующейся как с результатами лабораторных экспериментов, так и с данными наблюдений грозовых облаков, следует рассматривать как главное достижение в исследовании электричества гроз за последние 20 лет.

В то же время микрофизические процессы, которые объяснили бы устойчивую передачу заряда одного знака снежной крупе, равно как и существование температуры реверса заряда, остаются почти совершенно неизвестными. Лежащий в основе этих явлений физический механизм, возможно, аналогичен тому, что заставляет обувь приобретать заряд, когда человек ходит по ковру, или электри-



ЭКСПЕРИМЕНТЫ, выполненные Ч. Муром и Б. Воннегутом, должны были проверить гипотезу конвекции. Воздух под кучевым облаком заряжался положительно с помощью провода, подсоединенного к высоковольтному источнику тока. Измерения с борта самолета показали, что заряды, стекающие с провода, переносятся конвективными потоками вверх через облако. Изменение полярности источника тока приводит к изменению полярности облака. Результаты эксперимента показали, что при конвекции заряды переносятся вверх; однако напряженность создаваемого электрического поля примерно в 1000 раз меньше той, которая необходима для возникновения молнии в грозовых облаках, поэтому вопрос о том, насколько эти результаты объясняют реальные явления в грозовых облаках, остается открытым.

зваться стеклянную палочку, когда ее трут о шерсть. Хотя эти явления известны с древних времен, лежащие в их основе микрофизические процессы и до наших дней остаются неизученными. Отсутствие микрофизической трактовки статической электризации — это самый серьезный пробел в изучении электризации грозовых облаков.

### Конвекция

Несмотря на то что модель конвекции, возможно, недооценивает роль нижнего положительно заряженного слоя, имеется немало данных в пользу того, что грозы «привязаны» к областям сильного восходящего и нисходящего движения воздуха, т. е. конвекции. Также обнаружено, что больше всего молний вспыхивает в областях восходящего движения снежной крупы и крупных градин над основ-

ным слоем отрицательного заряда. Это представление противоречит элементарной гипотезе осадков, в соответствии с которой электризацию вызывают только движущиеся вниз частицы крупы. Возможно, однако, что разделение зарядов в больших масштабах происходит из-за относительного движения кристалликов льда и снежной крупы.

Важное требование состоит в том, чтобы кристаллики льда поднимались относительно земли быстрее, чем снежная крупка; это эквивалентно падению частиц крупы. Кроме того, наличие мощных восходящих потоков не только не противодействует электризации, но и является непрерывным ее условием; восходящий поток постоянно приносит переохлажденные капельки воды в зону, лежащую выше области реверса заряда. Эти капли обеспечивают рост частиц крупы, которые, вырастая, превращаются в активные агенты электри-



МОЛНИИ внутри облака в действительности возникают гораздо чаще, чем между облаком и землей, но видны они реже, поскольку в массе облака свет сильно рассеивается. В настоящее время для исследования молний внутри облаков ученые используют радиолокаторы, радиопеленгаторы и микрофоны, способные «видеть» сквозь облака.



ГЕОМЕТРИЯ канала разряда бывает весьма необычной. В научной литературе утверждается и то, что траектория молнии случайна, и что она определяется конфигурацией электрического поля, и что зависит от пространственного распределения электрических зарядов. Последняя версия объясняет многие наблюдения.

зации, и к тому же, как свидетельствуют результаты уже упоминавшихся лабораторных экспериментов, в отсутствие капель воды перенос заряда между частицами крупы и кристалликами льда невозможен.

В последнее десятилетие изучение нисходящего движения воздушных масс во время грозы привлекало большое внимание исследователей в связи с опасностью, которую это явление представляет для авиации. Полагают, что чрезвычайно мощные нисходящие потоки, которые Т. Фуджита из Чикагского университета окрестил микрошквалами, и были причиной самых крупных катастроф на гражданских авиалиниях. Недавние исследования гроз показали, что такие нисходящие потоки возникают через 5-10 мин после того, как восходящий поток и внутриоблачная грозовая активность достигают наибольшей мощности; нисходящие потоки также связаны с обильными осадками, которые, в свою очередь, способствуют затуханию восходящих потоков. Результаты измерений свидетельствуют также, что в указанное время электрическое поле у поверхности земли меняет свою полярность: силовые линии, направленные вверх, меняют направление на обратное. Осадки несут на себе положительный заряд, и это дает основание предполагать, что в период микрошквала при нисходящем движении нижняя положительно заряженная часть облака перемещается к земле. Частота возникновения внутриоблачных молний и изменения направления электрического поля для диспетчеров воздушных линий могут служить предупреждением об опасных условиях у поверхности земли.

Учитывая, что столь сильные конвективные потоки воздуха являются характерной чертой гроз, можно подумать, что модель конвекции способна объяснить некоторые аспекты электризации облаков. Как уже упоминалось, из этой модели следует наличие экранирующего слоя. Именно по этой причине Ч. Мур из Горного института в Нью-Мексико, Б. Воннегут и другие исследователи продолжают проверять модель конвекции. С помощью проводника, подсоединенного к высоковольтному источнику тока, экспериментаторы заряжали воздух под легким кучевым облаком (см. рисунок на с. 39). Наблюдения с самолета показали, что заряд, стекавший с проводника при коронном разряде, переносился вверх через облако с восходящим потоком воздуха. Кроме того, после поступления в воздух положительного заряда верхняя часть облака стано вилась заряженной положительно, а нижняя - отрицательно,

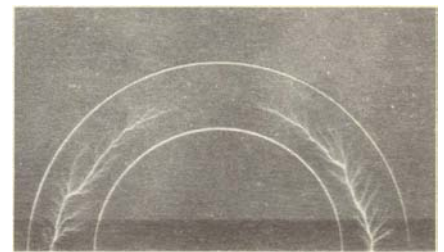
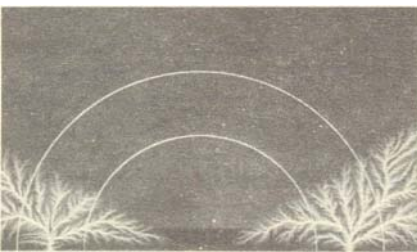
т. е. возникал положительный диполь. Когда же полярность источника тока меняли на обратную и стекавший с провода заряд становился отрицательным, облако превращалось в отрицательный диполь. Эти результаты показали, что конвективные потоки переносят заряды в верхнюю часть облака.

Однако суммарный заряд, созданный внутри облака в этих экспериментах, был примерно в 100 раз меньше, чем заряд, который несут облака во время грозы, а электрическое поле было в 1000 раз слабее, чем поле, которое, как считается, способно вызвать молнию. Таким образом, эти эксперименты не позволили выявить явную роль конвекции в электрических явлениях в грозах, сопровождаемых выпадением осадков, поэтому

нельзя сказать, что гипотезу конвекции удалось подтвердить.

Похожие эксперименты были проведены недавно под облаками большего размера, дающими осадки. Искусственное «введение отрицательного заряда в нескольких случаях приводило к образованию отрицательно заряженной верхней части облака и положительно заряженной нижней части. Этот результат согласуется с выводами из более ранних экспериментов и с гипотезой конвекции. Однако его нельзя интерпретировать однозначно: поскольку происходят выпадения осадков, положительные заряды внизу могут создаваться в результате уже рассмотренных микрофизических процессов переноса заряда между ледяными кристалликами и снежной крупой.

Более однозначен другой установленный в ходе наблюдений факт, имеющий непосредственное отношение к гипотезе конвекции: а именно что основной отрицательно заряженный слой находится примерно на одной высоте и имеет постоянную температуру. В модели конвекции принимается, что конвективные потоки переносят отрицательно заряженные частицы экранирующего слоя на несколько километров вниз. Исходя из этого, трудно понять, почему отрицательный заряд должен концентрироваться в плоской области толщиной всего несколько сот метров. Как уже отмечалось, это наблюдение лучше объясняется с учетом микрофизических процессов реверса заряда и оно, пожалуй, является главным аргументом против гипотезы конвекции.



ИСПЫТАНИЕ водородной бомбы «IVY-MIKE» мощностью 10 Мт в 1952 г. В первые 10 мс после взрыва возникла молния. Мощное гамма-излучение, порожденное взрывом, ионизировало молекулы атмосферных газов в процессе комптоновского рассеяния; более легкие электроны быстро удаляются от превратившихся в положительно заряженные ионы молекул, что приводит к разделению зарядов. Полусферическая симметрия взрыва позволяет смоделировать это разделение зарядов в лабораторных условиях. Фотографии в нижней части рисунка показывают результаты трех экспериментов, проведенных в Высоковольтной лаборатории Массачусетского технологического институ-

та; электрический заряд инжектировался в определенные участки блока, сделанного из диэлектрика. Во всех моделях электрическое поле вблизи «земли» было одинаковым, но распределение зарядов различалось. Только третья модель дала такую же траекторию молнии, как при взрыве бомбы «IVY-MIKE», это говорит о том, что конфигурация молнии определяется главным образом распределением зарядов, а не конфигурацией электрического поля. Молния возникает в том месте на земле, где велика напряженность электрического поля, и распространяется вверх к области наибольшего отрицательного заряда.

В итоге, сравнивая обе модели, можно сказать, что модель осадков более полно объясняет электризацию облаков, чем модель конвекции, но делает она это, не учитывая одну из наиболее характерных особенностей гроз - конвекцию. В будущем, вероятно, лучшие стороны обеих моделей будут объединены и войдут в одну универсальную теорию.

## Молния

Как только грозовое облако накопит заряд, при котором электрическое поле окажется способным преодолеть диэлектрическую «прочность» атмосферы, т. е. ее способность удерживать заряды в разделенном состоянии, происходит разряд молнии. Напряженность электрического поля в этот момент достигает  $10^6$  В/м, и менее чем за секунду молниевый раз-

ряд переносит  $10^{20}$  электронов, что эквивалентно мощности примерно 100 млн. обычных электроламп. За доли секунды электростатическая энергия накопленного заряда превращается в электромагнитную энергию (в виде вспышки света и радиоизлучения), звуковую энергию (раскаты грома) и в конечном счете в тепловую энергию.

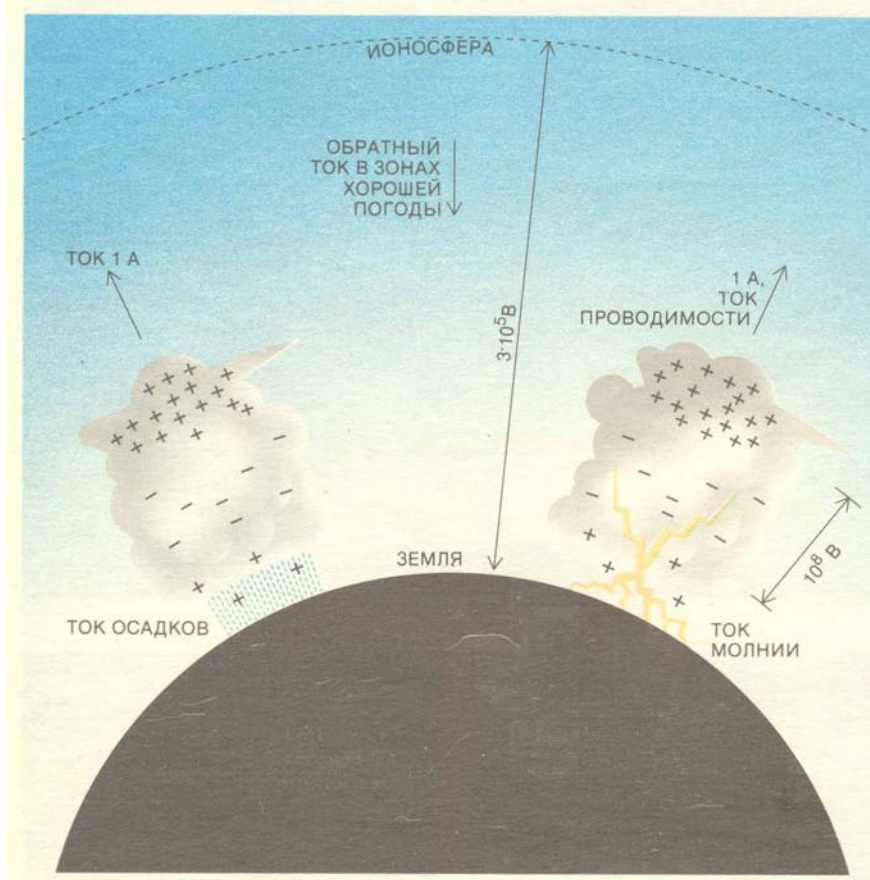
Почти все молнии в природе возникают внутри облаков и принимают форму дерева с кронами на обоих концах ствола, одна из которых входит в область отрицательного заряда, а другая - в область положительного заряда. В случае разряда между облаком и землей отрицательно заряженная крона дерева превращается в так называемый ступенчатый лидер, через который к земле течет ток несколько сот ампер. Когда лидер опускается до высоты 100 м, с поверхности земли выбрасывается ответный

разряд, стример, который характеризуется направленным вверх током величиной 10 кА (или 10 000 кулон в секунду). Именно этот яркий ответный стример мы и видим; поэтому, говоря о молнии между облаком и землей, следует иметь в виду, что молния распространяется в двух направлениях - иногда несколько десятков раз (см. Arthur Few, Thunder, "Scientific American", July 1975).

Первые исследования молний в основном и были связаны с изучением разрядов между облаком и землей, поскольку они наиболее легко поддаются визуальному наблюдению и фотографированию. Оказалось, однако, что гораздо чаще молнии возникают внутри самого облака, где они скрыты от глаз. Позже исследователи стали изучать внутриоблачные молнии с использованием радиолокаторов, радиопеленгаторов и микрофонов, сосредоточив внимание на конфигурации разрядов и их связи со строением облака.

Молнии наблюдаются и там, где выпадают осадки, и там, где их нет, внутри облака и вне его, и их конфигурация часто бывает хаотичной; много раз утверждалось, что конфигурация молний случайна. В теоретических моделях, описывающих траекторию молний, основное внимание часто уделялось рассмотрению роли электрического поля. Другими словами, считалось, что конфигурация молнии определяется напряженностью и направлением электрического поля в том месте, где происходит атмосферный разряд. До недавних пор роль самого электрического заряда почти игнорировалась. Хотя заряд и порождает поле - из чего можно заключить, что, зная одно, можно узнать и другое, - не следует забывать, что определенное электрическое поле в данном месте может быть создано бесконечным множеством различных распределений зарядов. Следовательно, зная, как располагаются заряды, это не то же самое, что знать конфигурацию электрического поля в данном месте. Проблема усложняется тем, что распределение зарядов и конфигурация электрического поля не статичны: по мере формирования и нарастания молния сильно изменяет поле, что существенно затрудняет моделирование рассматриваемого процесса.

Имеющиеся данные указывают на то, что оба конца «дерева молнии» проходят, как правило, по местам наибольшей концентрации зарядов. Так, на основании множества наблюдений удалось установить, что молнии преимущественно возникают внутри основного отрицательного заряженного слоя.



ГЛОБАЛЬНАЯ ЦЕПЬ заряжается грозами. Между отрицательно заряженной поверхностью земли и верхними слоями атмосферы поддерживается почти постоянная разность потенциалов величиной  $300\,000$  В. Токи порядка 1 А, текущие от вершин грозовых облаков, помогают поддерживать указанную разность потенциалов; примерно такой же ток должен течь от поверхности земли к нижним частям облаков. В больших масштабах ток в зонах «хорошей погоды» величиной около 2000 А, который переносит положительный заряд от верхних слоев атмосферы к земле, нейтрализовывал бы разность потенциалов  $300\,000$  В, если бы грозовые разряды не «перезаряжали» глобальную электрическую цепь. Можно предположить, что тропические грозы, которые переносят огромное количество отрицательных зарядов к земле, в основном компенсируют ток в зонах хорошей погоды.

Однако самым убедительным свидетельством того, что конфигурация молнии зависит от распределения зарядов, являются, пожалуй, результаты изучения молний, возникающих при взрывах ядерных зарядов. На фотографиях взрывов водородных бомб во время испытаний в 50-е годы видно, что огненный шар часто окружен вспышками молний (см. рисунок на с. 41). В отличие от грозовых облаков для этих случаев механизм разделения зарядов хорошо изучен. Радиальный поток высокоэнергичных фотонов, излучаемых огненным шаром, выбивает электроны из молекул окружающего воздуха (эффект Комптона). Отрицательно заряженные электроны, таким образом, концентрируются в полусферической оболочке вокруг «нуля» на поверхности земли, между тем как в огненном шаре остается положительно заряженная область.

Полусферическая симметрия взрыва позволяет построить простые теоретические и лабораторные модели распределения зарядов и изучить их влияние на форму молнии. Ч. Кук, К. Райт и автор статьи выполнили такое моделирование в Высоковольтной исследовательской лаборатории Массачусетского технологического института. Заряд инжектировался по замкнутой круговой орбите в блоки из пластмассы с хорошими изоляционными свойствами, захватывающие заряд так, как предусматривает теоретическая модель. В результате возникло электрическое поле, которое было достаточно сильным, чтобы вызвать разряды, подобные молнии.

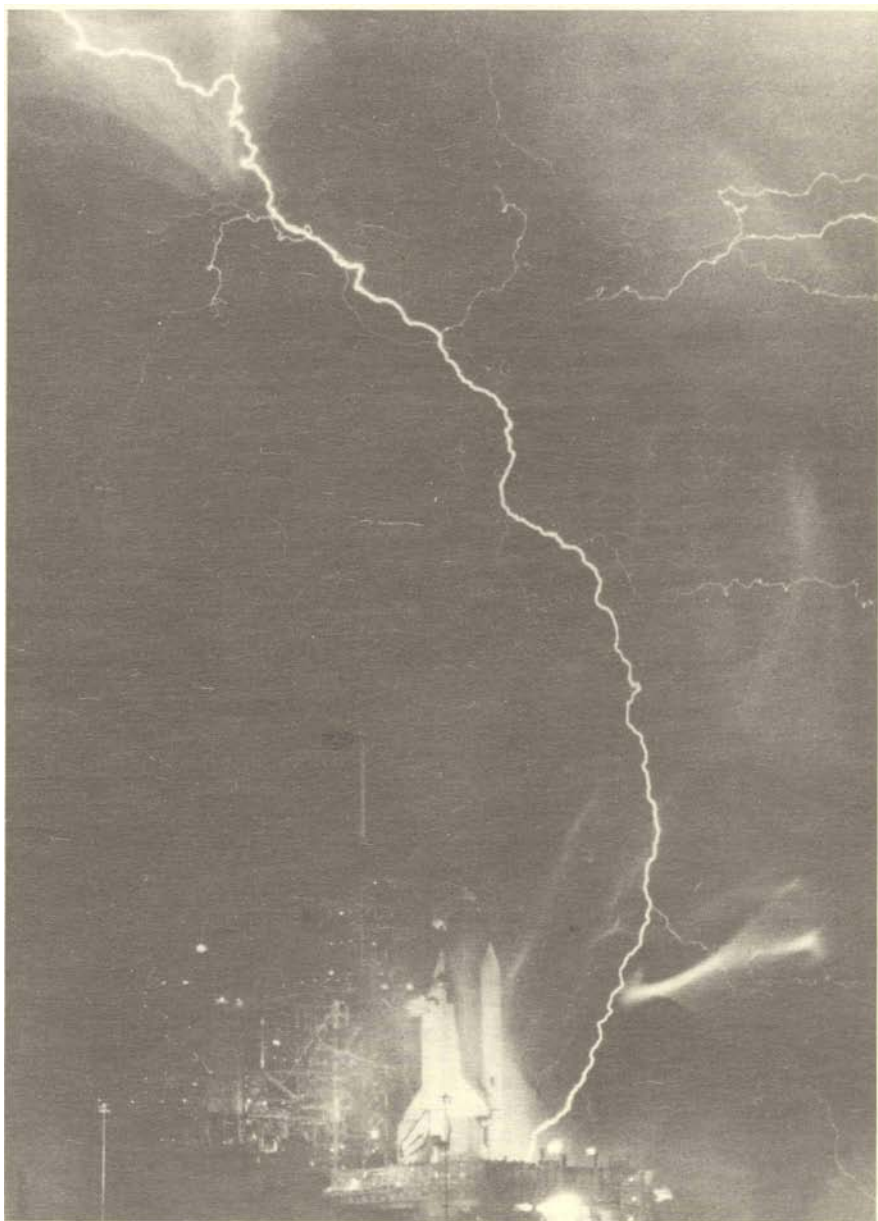
Нам удалось установить, что молния возникает в месте, близком к моделируемой нулевой точке земли, где электрическое поле наиболее сильное; разряд затем распространяется вверх через область наибольшего ОТРИЦАТЕЛЬНОГО заряда. Конфигурация молнии во многом подобна тем, которые запечатлены на фотографиях ядерных взрывов. Можно провести эксперименты и с такими распределениями зарядов, которые дают другие теоретические модели. Хотя в некоторых из этих моделей конфигурация электрического поля у земли одинакова, распределение зарядов может быть совершенно иным. Траектории этих молний совершенно не похожи на те, что наблюдались во время ядерных взрывов; это говорит о том, что конфигурация молнии определяется главным образом распределением зарядов.

### *Энергия и глобальная электрическая цепь*

Считается, что большая часть электрической энергии грозы высво-

бождается в виде разрядов молнии. Как уже говорилось, гроза умеренной силы порождает несколько вспышек в минуту, а высвобождаемая при этом энергия эквивалентна выработке атомной электростанции. Простые законы подобия, выводимые из уравнений электромагнетизма, показывают, что вырабатываемая грозой мощность пропорциональна пятой степени линейных размеров облака; вдвое большее облако вырабатывает в 30 раз большую мощность. При сильных грозах может возникнуть более 100 молний в минуту.

Хорошо известное в физике правило гласит: ничто не берется из ничего. Высвобождаемая молнией электрическая энергия должна откуда-то взяться. Ее первичный источник - теплота, которая заставляет водяной пар расширяться, становится менее плотным, чем окружающий воздух, и подниматься. По мере того как водяной пар поднимается, он конденсируется или замерзает; скрытая теплота высвобождается и жидкая вода или лед выпадают в виде осадков. Потенциальная энергия, высвобождаемая при выпадении осадков, как следует



МОЛНИЯ, ударившая вблизи стартовой площадки космического корабля «спейс-шаттл», чуть было не повредила его. Это случилось 30 августа 1983 г. прямо перед запуском корабля в Космическом центре им. Джона Кеннеди во Флориде. Гроза прошла и корабль был запущен без задержки. Ежедневно на земном шаре возникает приблизительно 44 тыс. гроз и 8 млн. вспышек молнии. Только в США молнии ежегодно убивают около 150 человек и причиняют ущерб на сумму 20 млн. долл., не считая того, что они становятся причиной 10 тыс. лесных пожаров, в результате которых сгорает древесины на сумму 30 млн. долл.

из модели осадков, идет на электризацию облака; численно она равна произведению действующей на осадки силы земного притяжения и расстояния, пройденного ими при падении.

Измерения с помощью радиолокаторов показывают, что во время гроз умеренной силы гравитационная энергия фактически намного больше электрической энергии молнии. При сильных грозах, когда электрическая энергия может возрастать на несколько порядков, гравитационная и электрическая энергии, как показывают расчеты, примерно равны. Поэтому, имея в виду закон сохранения энергии, можно ожидать, что в момент разряда молнии, когда электрические силы резко ослабевают, скорость падения осадков должна значительно увеличиваться. Были предприняты попытки измерить количественные характеристики этого явления по доплеровскому смещению частоты с помощью радиолокатора, который регистрирует скорость движущихся объектов, но пока такие попытки не привели к успеху. В целом отсутствие внезапных изменений скорости до сих пор не получило удовлетворительного объяснения, хотя можно считать, что небольшие ускорения могут камуфлироваться турбулентностью.

Существует еще один энергетический баланс, который должен выдерживаться: баланс глобальной электрической цепи. Земная атмосфера представляет собой исключительно хороший диэлектрик, расположенный между двумя хорошими проводниками - поверхностью земли снизу и верхними слоями атмосферы, включая ионосферу, сверху (см. рисунок на с. 42). Эти слои являются пассивными компонентами глобальной электрической цепи.

Между отрицательно заряженной поверхностью земли и положительно заряженной верхней атмосферой поддерживается постоянная разность потенциалов величиной около 300 000 В. В соответствии с идеей, впервые высказанной Вильсоном 70 лет назад, сейчас принято считать, что этот «ионосферный потенциал является результатом заряда, получаемого от гроз, которые создают глобальную электрическую «батарею». Электрические токи величиной около 1 А, возникающие во время каждой грозы, текут вверх от положительно заряженных вершин грозовых облаков и возвращаются к Земле в зонах хорошей погоды.

Поскольку заряд не накапливается в облаках до бесконечности, от земли к нижней части облака должен течь ток величиной 1 А. Дождевые потоки, коронные разряды и молнии - каждое

из этих явлений вносит свой вклад в процесс переноса заряда, но на средних широтах их недостаточно, чтобы компенсировать обратный ток. Где же восполняется дефицит? Отсутствующие батареи обнаружены в тропиках, где грозы на несколько порядков сильнее, чем в средних широтах, и достаточно «насыщены» молниями, чтобы заряжать глобальную цепь.

Можно, однако, задаться вопросом: а почему, собственно, поверхность земли заряжена отрицательно? Наиболее приемлемый ответ на сегодня заключается в том, что земля расположена у отрицательного полю-

са грозовой батареи. Этот вопрос, таким образом, порождает другой - почему нижняя часть грозового облака заряжена преимущественно отрицательно? Ответ на этот второй вопрос, судя по всему, упирается в слабо изученную микрофизику льда.

Несмотря на то что немало вопросов остается без ответа, картина электризации облаков начинает постепенно вырисовываться; в ней увязаны разделение зарядов на уровне отдельных атомов, вспышки молний, покрывающих расстояния в несколько километров, и электрическая цепь, охватывающая весь земной шар.

## Наука и общество

### Нейронные сети в действии

С ОБРАВИШИЕСЯ в выставочном зале отеля «Шератон-Харбор-Айленд» в Сан-Диего участники 11 Ежегодной международной конференции по нейронным сетям, проходившей в июне прошлого года, наблюдали за тем, как игрушечный железнодорожный состав бегал по путям. Сверху на телевизионном экране мелькали черно-белые снимки груза: маленькие пластмассовые бутылочки фирмы Tylenol. Графический дисплей компьютера показывал, что у одной бутылочки потеряна крышка, а у другой перекошена этикетка.

Продемонстрированное устройство вовсе не было детской забавой. «Перед вами первая автоматическая производственная инспекционная система, в которой для классификации объектов применена нейронная сеть, - неторопливо объяснял Дж. Беллилав, один из администраторов фирмы Global Holonetics в Фэрфилде (шт. Айова). В то время как большинство исследователей, занимающихся нейронными сетями, продолжают экспериментировать, как говорят их критики, с «игрушечными проблемами, имеющими скорее теоретическое, нежели практическое значение, компания Global Holonetics разработала устройство, которое способно функционировать в жестких условиях фабричного производства. «Мы уже применили такую систему для проверки пряников, бутылок с сиропом, крышек, батареек; всего система выполняет более 700 различных процедур контроля качества», - заявил Д. Глоувер, ведущий исследователь фирмы.

Нейронную сеть можно легко переключать с одной задачи на другую,

поскольку она не столько программируется, сколько «обучается: вместо того чтобы перечислять правила, позволяющие отличать хорошие бутылки от дефектных, ей просто «показывают примеры. Связи между многочисленными простыми процессорами системы, которые соединяются во многом подобно клеткам мозга, модифицируются таким образом, чтобы при определенных входных данных получать желаемый результат. Вычисления распределяются сразу по многим ветвям, поэтому сеть устанавливает соответствие между входными данными и результатом скорее в статистическом, а не аналитическом смысле. Таким образом, сеть способна обрабатывать неполные данные, например, половину изображения так же, как и человеческий мозг - эта несколько натянутая аналогия служит дополнительной рекламой и привлекает-етбольшой интерес к исследованиям в данной области.

Однако успех фирмы Global Holonetics объясняется не столько самой нейронной сетью, сколько новым способом, с помощью которого видеокамера осуществляет предварительную обработку изображения. Здесь применяются новейшие оптические устройства - пространственные модуляторы света и лазеры. Они позволяют быстро сжимать изображение, состоящее из 65 000 точечных элементов, в 32 числа, содержащих наиболее существенную информацию о форме и ориентации предмета.

На следующем этапе в работу включаются нейронные сети: они относят образ, представленный числами, к определенной категории. Эту задачу можно решать и при помощи обычных статистических методов, но, как говорит Глоувер, «нам нужно,

чтобы система была простой. Человеку, обслуживающему фабричный конвейер, не нужно быть программистом, чтобы обучить машину проверять и классифицировать новые объекты. В настоящее время система проходит испытания в нескольких компаниях, входящих в сотню самых богатых, а в начале следующего года она поступит в продажу.

Нейронные сети хорошо зарекомендовали себя не только в распознавании образов, но и в множестве других задач, связанных с классификацией изменяющихся и сложных данных. В начале 70-х годов в правительственном исследовательском центре EEG Systems Laboratory в Сан-Франциско специалисты пришли к выводу, что с помощью адаптивных сетей можно анализировать электроэнцефалограммы (ЭЭГ), представляющие собой графическую запись многочисленных электрических сигналов, генерируемых различными участками мозга человека. Сотрудники лаборатории переделали старую сеть, разработанную фирмой McDonnell Douglas для анализа фотоснимков, получаемых со спутников, и биомедицинских данных, и к концу 70-х годов в лаборатории была составлена программа, способная обнаружить едва заметные особенности энцефалограмм, соответствующие тем или иным неврологическим состояниям.

Анализируя ЭЭГ эпилептиков, готовившихся к операции, которая должна была устранить у них приступы болезни, сеть правильно предсказала исход операции в 87% случаев. В другом эксперименте сеть контролировала состояние военных летчиков-испытателей, выполнявших трудные задачи, связанные с визуально-моторными реакциями, и по анализу ЭЭГ пилотов предсказывала наступление усталости. «Мы сравнили работу нейронной сети со стандартными статистическими тестами, и она проявила себя лучше<sup>1</sup>», - сказал С. Бресслер, нейрофизиолог, специалист из EEG Systems.

Но если адаптивные системы способны анализировать волновые сигналы мозга и предсказывать, когда пилот перестанет правильно реагировать на обстановку, то, может быть, они смогут также, «щупая пульс экономики», предсказывать результаты или иных решений в сфере бизнеса? Компания Nestor в Провиденсе (шт. Род-Айленд) разрабатывает систему для крупной кредитно-страховой компании, а также программу торговых операций с акциями для фирмы Morgan Stanley. Первая система не только имитирует тактику лучших агентов, но способна также обучаться на опыте, анализируя прош-

лые операции, что позволяет ей предсказывать, кто из обращающихся за кредитом может оказаться неплатежеспособным.

М. Смит, президент компании Adaptive Decision Systems в Андовере (шт. Массачусетс), создал систему, которая определяет степень риска в случае предоставления кредита тому или иному клиенту. Эта система, заказанная финансовой компанией, была обучена на опыте 250 тыс. кредитов, предоставленных в прошлом, и теперь проходит «полевые испытания». По словам администратора одной компании, которую мы не будем называть, существует опасение, что служащие будут препятствовать внедрению такой техники, так как они не понимают, каким образом нейронная сеть принимает решения, однако у сети есть то преимущество, что ее можно легко перенастроить и приспособить к быстро меняющимся экономическим условиям.

Возможно, на сегодняшний день примером самого крупномасштабного применения нейронных сетей в сфере бизнеса является система оптимального заполнения авиалиний фирмы BehavNeuristics в Силвер-Спрингсе (шт. Мэриленд). Программа помогает авиакомпаниям наиболее выгодно распределить места по классам для каждого конкретного рейса с учетом сложных сочетаний различных факторов, таких как время полета, условия конкуренции, неявки пассажиров и т. п. По словам председателя правления фирмы BehavNeuristics К. Стефенса, программа будет проверена на основе имеющихся у фирмы статистических данных.

Другим направлением, где ведутся интенсивные работы по внедрению нейронных систем, является управление производственными процессами. Так, фирма Al Ware в Кливленде установила нейронные сети на химических заводах одной из крупных промышленных компаний. С помощью этих сетей, которые анализируют влияние различных соотношений ингредиентов на свойства конечного продукта, специалисты компании создавали новые виды продукции. Фирма GTE Laboratories в Уолтхеме (шт. Массачусетс) планирует установить сеть на фабрике, выпускающей флюоресцентные лампы. «Мы хотим выяснить, почему фабрика хорошо работает в одни периоды времени и плохо в другие», - сказал представитель фирмы GTE Р. Саттон.

По данным Э. Розенфельда, редактора журнала "Intelligence", который следит за положением дел в рассматриваемой области, сейчас более ста крупных компаний проводят актив-

ные исследования возможности применения адаптивных сетей. Научно-исследовательское агентство Defense Advanced Research Project Agency министерства обороны также собирается всерьез заняться разработками в области нейронных сетей. Однако, как сказал представитель агентства, ежегодные бюджетные ассигнования на эти цели в ближайшие 8 лет будут менее 400 млн. долл., несмотря на заявление, сделанное помощником директора агентства Дж. Лупо на конференции в Сан-Диего, о том, что нейронные сети «будут иметь большее значение, чем атомная бомба».

Пока что устройства, поступающие в продажу, едва ли оправдывают это высказывание. «Реальная ситуация сейчас такова, что нейронные сети лишь ненамного проявляют себя лучше, чем статистические методы», - сказал Смит, представитель компании Adaptive Decision Systems. Однако, принимая во внимание гораздо большие потенциальные возможности нейронных сетей, он считает, что компаниям все же следует продолжать работу по их практическому применению. «Вложение средств в эти системы - стратегически верный шаг, поскольку придет время, когда они станут делать то, чего не могут статистические методы».

*Вниманию  
читателей!*

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

191040 Ленинград,  
ул. Пушкинская, 2,  
магазин № 5 «Техническая книга»

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

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

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



# Сверхтекучая турбулентность

**жидкий гелий, охлажденный до температуры 2,172 К выше абсолютного нуля, течет без вязкости и трения, однако в нем почти всегда возникает турбулентность. Эта необычная турбулентность имеет квантово-механическую природу**

РАССЕЛ ДЖ. ДОННЕЛЛИ

**В** 1932 г. английский физик и математик сэр Хорас Лэмб сказал: «Я уже стар и скоро умру. Есть две физические проблемы, объяснение которых я хотел бы узнать, когда я попаду на небеса. Первая - это квантовая электродинамика, вторая - турбулентное движение жидкостей. Что касается первой, то здесь я настроен оптимистично». Позднее С. Голдштейн из Гарвардского университета писал, что «Лэмб был дважды прав. Все, кто знал его, были уверены в том, что он попадет на небеса; его оптимизм относительно квантовой электродинамики в противоположность турбулентности также был оправдан».

Как правило, течения жидкости в природе и технике являются турбулентными. Поскольку большая часть энергии, теряемой в различных машинах и устройствах, работающих с потоками жидкости, расходуется на преодоление вызываемого турбулентностью сопротивления, ясно, что понимание этого явления может принести немалую практическую выгоду. Однако изучение турбулентности является одной из самых трудноразрешимых задач физики и техники. В настоящее время ни одно сколь-нибудь существенное свойство турбулентного течения не может быть объяснено на основе фундаментальных законов.

Может показаться странным, но не исключено, что легче понять механизм возникновения необычной, так называемой квантово-механической формы турбулентности, появляющейся в сверхтекучем гелии (состояние жидкого гелия, в котором он течет без вязкости и трения), чем классической турбулентности, возникающей в обычной жидкости, например в текущем с большой скоростью потоке или в кипящей воде. Еще более удивителен тот факт, что всего лишь несколько лет назад эта область исследований считалась чем-то вроде «ти-

хой заводи в физике конденсированного состояния.

Сейчас стало ясно, что изучение сверхтекучей турбулентности даст возможность создать упрощенные модели для исследования некоторых форм классической турбулентности. Эти работы могут иметь также и практическое значение. Например, жидкий гелий часто применяется в качестве хладагента в сверхпроводящих устройствах. При этом именно сверхтекучая турбулентность представляет основное препятствие на пути переноса тепла жидким гелием, и понимание этого явления, возможно, позволит создать более эффективные методы охлаждения сверхпроводящих устройств.

**СРЕДА**, в которой возникает сверхтекучая турбулентность - сверхтекучий гелий, - весьма необычна. При атмосферном давлении газообразный гелий превращается в жидкость при охлаждении до 4,2°К (кельвинов), или абсолютный нуль, соответствует температуре примерно - 273 °С]. С помощью вакуумного насоса, с которым соединяется сосуд Дьюара с жидким гелием, его можно охладить до еще более низкой температуры. Применение вакуумного насоса дает возможность понизить давление в сосуде и, следовательно, температуру кипения жидкости; та часть жидкости, температура которой выше новой точки кипения, превращается в газ и отсасывается вакуумным насосом. При охлаждении жидкости от 4,2 до 2,172 К, в ней наблюдается интенсивное образование пузырьков. Гелий, при температурах от 4,2 до 2,172 К, носит название гелия I, ведет себя как обычная жидкость и довольно плохо проводит тепло.

Однако при 2,172 К образование пузырьков прекращается и жидкость приобретает совершенно необычные свойства. Например, она может течь без вязкости, т. е. без трения, а также

просачиваться сквозь такие узкие отверстия, через которые не проникают даже газы. Эта жидкость сохраняет свои необычные свойства при охлаждении вплоть до абсолютного нуля и называется гелий II, или сверхтекучий гелий\* (см. Eugene M. Lifshitz. Superfluidity, "Scientific American", June 1958). Прекращение образования пузырьков в жидком гелии при 2,172 К обусловлено еще одним замечательным свойством гелия II: его теплопроводность аномально высокая (в 10 млн. раз выше теплопроводности гелия I), поэтому никакой участок жидкости не может быть перегрет настолько, чтобы образовался пузырек пара. Первооткрыватели этого явления У. Кеезом и его дочь А. Кеезом из Лейденского университета имели все основания назвать гелий II сверхтеплопроводным.

В чем причина столь необычных свойств гелия II? Подробный ответ на этот вопрос слишком сложен и не может быть дан в рамках данной статьи, но основная идея состоит в том, что гелий II представляет собой квантовую жидкость: при таких низких температурах законы классической механики уже неприменимы и должны быть заменены законами квантовой механики.

Согласно этим законам, атом может находиться лишь на одном из энергетических уровней (или состояний). Значение энергии, соответствующее данному состоянию, зависит от энергий атомных электронов и свойств атома как целого, включая его колебания и движения. При движении атом может приобретать энергию (например, при столкновениях с другими атомами), однако передача

\* Явление сверхтекучести гелия II было экспериментально открыто и исследовано П.Л. Капицей в 1938 г. Теория сверхтекучести, получившая название двухжидкостной гидродинамики, была создана Л.д. Ландау в 1941 г. - Прим.перев.



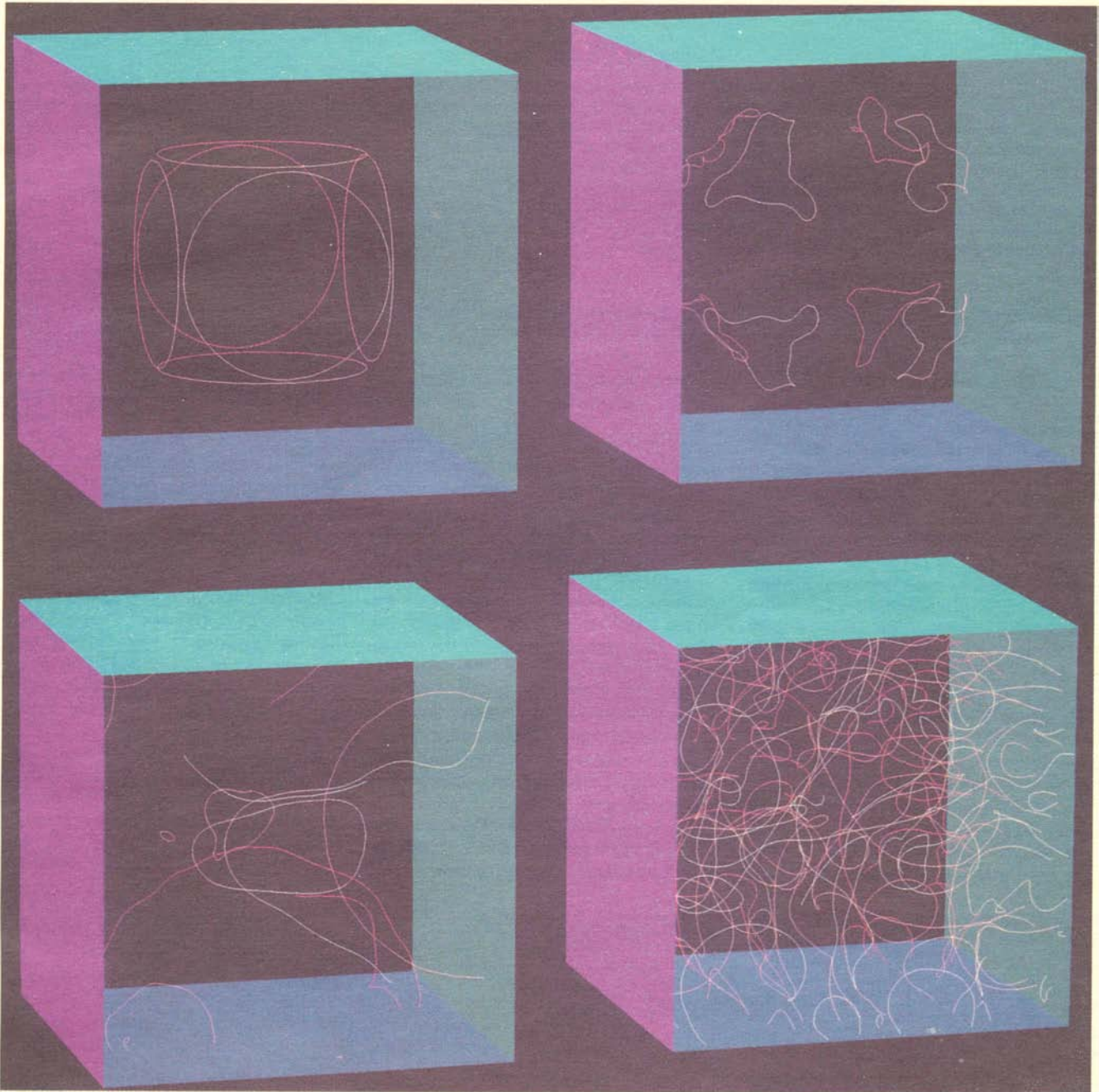
энергии может происходить только определенными порциями: он должен получить ровно столько энергии, сколько ему нужно для того, чтобы перейти в состояние с более высокой энергией.

Вследствие некоторых специфических свойств ядер гелия, при температуре абсолютного нуля многие атомы в жидком гелии переходят в состояние с самой низкой энергией. Энер-

гия следующего состояния значительно больше, поэтому только возмущения со сравнительно высокой энергией могут перевести атомы жидкости в это состояние. Возмущения же с низкой энергией, приводящие обычно к появлению трения, не действуют на жидкость. Следовательно, сверхтекучий гелий будет течь, не испытывая трения.

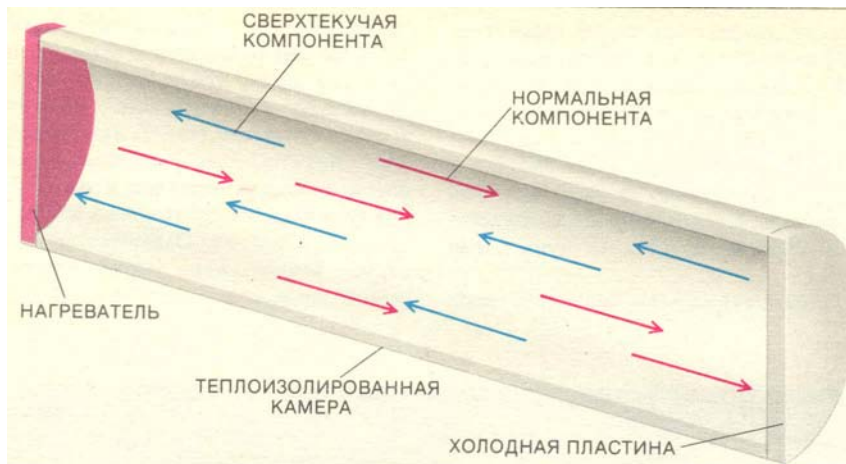
Однако эта схема не описывает всей

сложности явления. Жидкость, находящаяся при температуре выше абсолютного нуля, будет подвергаться случайным возмущениям, обусловленным нагревом (таким как колебания). Энергия некоторых возмущений достаточна для перехода атомов гелия из основного состояния в возбужденные состояния. Оказывается, что такие возмущения могут «течь» сквозь жидкость; например, колеба-



МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА возникновения турбулентности в сверхтекучем гелии (состояние жидкого гелия, в котором он течет без вязкости, т. е. без трения), выполненное К. Шварцем из Исследовательского центра им. Т. Уотсона фирмы IBM в Иорктаун-Хайтс (шт. Нью-Йорк). Тонкие красные линии представляют сердцевинки квантованных вихрей, в которых сверхтекучий гелий циркулирует со

строгими определенными скоростями. В начале моделирования (*вверху слева*) сердцевинки вихрей расположены упорядоченно: каждая сердцевинка имеет форму кольца и эти кольца расположены симметрично. Затем (*вверху справа и внизу слева*) сердцевинки вихрей начинают закручиваться и изгибаться до тех пор, пока не образуют спутанный клубок (*внизу справа*).



**ДВУХКОМПОНЕНТНАЯ МОДЕЛЬ** объясняет многие свойства сверхтекучего гелия. Согласно этой модели, сверхтекучий гелий состоит из двух взаимопроницающих компонент: сверхтекучей (синие стрелки), которая течет без трения и температура которой как бы равна абсолютному нулю, и нормальной (красные стрелки), которая течет с трением и переносит все запасенное в образце тепло. Установленный на одном конце трубки (канала) со сверхтекучим гелием нагреватель вызывает появление противотока: нормальная компонента, «созданная» вблизи нагревателя, течет к другому концу трубки, в то время как сверхтекучая компонента движется в обратном направлении.

ния могут распространяться в жидкости от одного атома к другому. На самом деле эти возмущения ведут себя подобно атомам нормальной жидкости: они могут «сталкиваться» со стенками сосуда и друг с другом.

Квантово-механическое описание этого явления весьма сложно, однако его можно проиллюстрировать следующим образом. Представим себе, что жидкий гелий при температуре, отличной от абсолютного нуля, состоит из смеси двух взаимопроницающих жидкостей - сверхтекучей и нормальной. Температура сверхтекучей компоненты в сущности равна абсолютному нулю, а все запасенное в жидкости тепло переносится нормальной компонентой. Относительная концентрация обеих компонент зависит от температуры: при абсолютном нуле исчезает нормальная компонента, а при температуре 2,172 К - сверхтекучая. Две жидко-сп! могут перемещаться относительно друг друга без трения благодаря

специфическим свойствам сверхтекучей компоненты.

**ДВУХЖИДКОСТНАЯ** модель дает возможность понять, почему же сверхтекучая жидкость так хорошо проводит тепло. Представим себе, что у одного конца заполненной гелием трубки (канала) помещен электрический нагреватель, а у другого - холодная пластина. Около нагревателя сразу же «появляется» нормальная жидкость и начинает течь по направлению к холодной пластине. В то же время сверхтекучая жидкость течет в обратном направлении, полностью компенсируя течение нормальной жидкости. Скорость обоих течений зависит от разности температур между нагревателем и холодной пластиной, а также от относительных концентраций нормальной и сверхтекучей компонент.

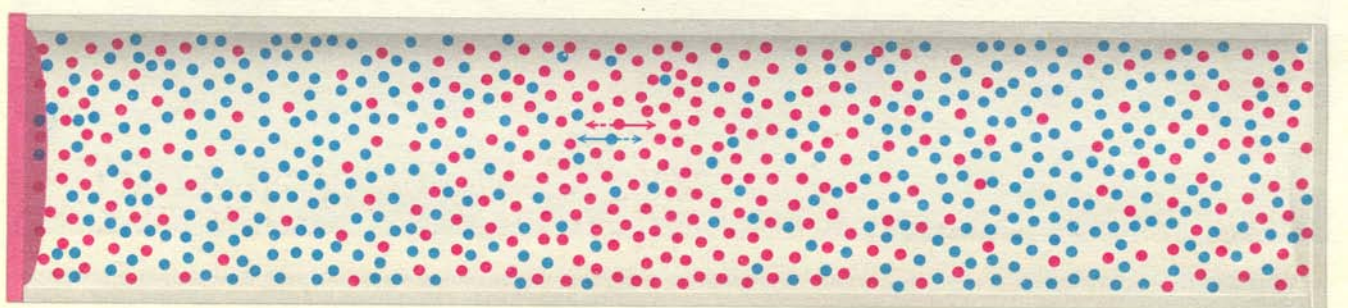
Нормальная компонента, переносящая тепло от нагревателя, испытывает сопротивление со стороны стенок

трубки, в то время как сверхтекучая компонента (которая не переносит тепла) свободно скользит вдоль стенок; обе компоненты текут навстречу друг другу без трения. Таким образом, необычно высокая теплопроводность гелия II не связана с столкновениями атомов при тепловом движении, а полностью обусловлена существованием встречных потоков нормальной и сверхтекучей компонент. Тепло быстро передается от одного конца трубки к другому, а не медленно перемещается за счет диффузии.

При рассмотрении двухкомпонентной модели возникает следующий ключевой вопрос: как будет вести себя такая сложная жидкость в других условиях, например при вращении? Можно предположить, что если гелий II поместить во вращающийся сосуд, то нормальная компонента будет вращаться вместе со стенками сосуда за счет трения, в то время как сверхтекучая компонента останется в покое. Однако это верно только при *очень* медленных скоростях вращения: для сосуда радиусом 1 см скорость вращения не должна превышать 0,03 оборота в минуту, или примерно 40 оборотов в день. При более высоких скоростях вращения обе жидкости начинают вращаться вместе.

В начале 50-х годов Л. Онсагер из Йельского университета и Р. Фейнман из Калифорнийского технологического института, основываясь в первую очередь на теоретических соображениях, предположили, что вращение сверхтекучей компоненты имеет значительно более сложный характер, чем вращение нормальной компоненты. Они высказали гипотезу о том, что во вращающемся сосуде с гелием II возникает множество «квантованных вихрей».

Подобно тому как в классическом турбулентном течении образуются вихри и водовороты, квантованные вихри представляют собой элементы сверхтекучей турбулентности. Это исключительно интересные объекты



«ВТОРОЙ ЗВУК» - явление, в некотором смысле аналогичное обычному звуку, появляется в канале со сверхтекучим гелием при быстром включении и выключении нагревателя на одном его конце. В «волне» второго звука чередуются

области с высокой относительной концентрацией нормальной и сверхтекучей компонент. Обе жидкости быстро «осциллируют» в противоположных направлениях.

Диаметр сердцевин каждого вихря составляет около  $1 \text{ \AA}$  ( $10^{-10} \text{ м}$ ), что примерно в четыре раза меньше среднего расстояния между атомами в такой жидкости, и она не содержит ни одного атома сверхтекучей жидкости (подобно тому как в сердцевине образующегося в сливном отверстии ванны вихря отсутствует вода.) В терминах квантовой механики такая область представляет собой узел «волновой функции», описывающей поведение сверхтекучей жидкости, т. е. вероятность обнаружения атома гелия в этой области равна нулю.

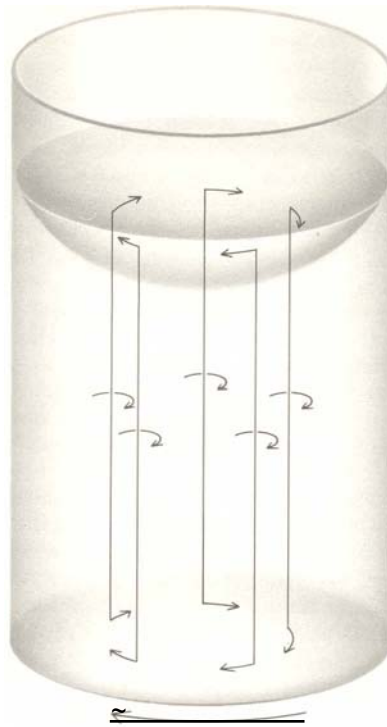
Траектории, по которым атомы вращаются вокруг сердцевин вихря, определяются также законами квантовой механики. В соответствии с этими законами каждый атом сверхтекучего гелия в некотором смысле представляет собой волну. Длина этой волны зависит от скорости вращательного движения атома, и в траектории атома вокруг сердцевин вихря должно укладываться целое число длин волн. В результате скорость движения атома также квантуется: атом, находящийся на некотором расстоянии от сердцевин вихря, может принимать одну из определенного набора скоростей.

Как правило, атомы гелия имеют тенденцию двигаться вокруг сердцевин вихря с наименьшей возможной скоростью. Тогда тангенциальная скорость каждого атома будет равна постоянной Планка (фундаментальная постоянная квантовой механики), деленной на радиус траектории вращения атома, массу атома и  $2\pi$ . Такая формула практически идентична формуле Нильса Бора, описывающей характеристики электронных орбит в атоме.

Сердцевины вихрей пронизывают всю толщу жидкости в сосуде от верхней поверхности до дна. Если в одном вращающемся сосуде образуется набор вихрей, все их сердцевины вращаются с той же угловой скоростью, что и сам сосуд.

Нормальная компонента жидкости не вращается вокруг сердцевин вихрей, однако они воздействуют на нее. Если поток нормальной компоненты проходит вблизи сердцевин вихря, он может изменить свое направление или рассеяться. Следовательно, сердцевины вихрей влияют на процесс теплопереноса в сверхтекучей жидкости. Течение нормальной компоненты также может оказывать воздействие на сердцевины вихрей: когда сердцевина вихря изменяет направление течения нормальной компоненты, она сама слегка сдвигается и искривляется.

Понадобилось много лет, чтобы подтвердить предположение Онсаге-



КВАНТАВАННЫЕ ВИХРИ образуются в сосуде со сверхтекучим гелием, установленном на вращающейся платформе (слева). Сверхтекучая компонента циркулирует вокруг вихрей, а сами вихри движутся вместе с вращающимся сосудом. Скорость, с которой частицы сверхтекучей компоненты вращаются вокруг сердцевин вихря (справа), обратно пропорциональна расстоянию между частицей и сердцевинной вихря, т. е. частицы, расположенные ближе к сердцевине, вращаются быстрее. В самой сердцевине сверхтекучая компонента отсутствует. Когда нормальная компонента (красный цвет) течет вблизи сердцевин вихря, он меняет направление течения и сердцевина слегка сдвигается под действием процесса, называемого взаимным трением. Таким образом, квантованные вихри нарушают распространение тепла (и второго звука) в сосуде.

ра и Фейнмана. Это инеудивительно, если принять во внимание тот факт, что объем сердцевин вихря в сосуде, вращающемся со скоростью 10 оборотов в минуту, составляет примерно одну миллиардную долю объема сосуда.

**ДЕЙСТВИТЕЛЬНО**, как вообще можно обнаружить такие крошечные образования? Один из методов основан на регистрации колебаний, называемых «вторым звуком». Природу этого явления лучше всего объяснить с помощью аналогии с обычным звуком.

В обычном громкоговорителе имеется способная вибрировать пластина. При вибрации она сжимает и растягивает воздух перед собой, создавая в нем чередующиеся области сжатия и разрежения - волну плотности. Это и есть обычная звуковая волна.

Предположим теперь, что у одного из концов заполненной гелием II трубки помещена пластина, в которой проделаны очень маленькие отверстия. Если отверстия достаточно малы, то нормальная компонента гелия II не сможет просочиться сквозь

них, тогда как не имеющая вязкости сверхтекучая компонента сможет это сделать. Когда пластина вибрирует, она двигает нормальную компоненту вперед-назад, не действуя при этом на сверхтекучую компоненту. В результате появляются чередующиеся области с повышенной и пониженной плотностью нормальной компоненты; это и есть волна второго звука.

При распространении волны второго звука вдоль трубки сверхтекучая компонента также начинает совершать колебательные движения, которые противоположны по направлению движению нормальной компоненты, т. е. две компоненты текут одна «сквозь» другую в противоположных направлениях. Следовательно, полная плотность жидкости в канале остается постоянной (в отличие от среды, по которой распространяется обычная звуковая волна). Таким образом, волна второго звука фактически представляет собой волну, в которой изменяются относительные концентрации компонент. Области, в которых велика концентрация нормальной компоненты и низка концентрация сверхтекучей компоненты, чере-

дуются с областями, в которых высока концентрация сверхтекучей компоненты и низка концентрация нормальной компоненты.

Волну второго звука можно рассматривать по-другому - как температурную волну, в которой чередуются области с относительно высокой температурой (области с высокой концентрацией нормальной компоненты) и относительно низкой температурой (области с высокой концентрацией сверхтекучей компоненты). Отсюда следует, что процесс генерации волны второго звука может быть осуществлен и другим способом, а именно путем частого включения и выключения нагревателя. Нагреватель периодически инициирует и «останавливает» обусловленные передачей тепла течения нормальной и сверхтекучей компонент, направленные в противоположные стороны. При большой частоте включений и выключений осциллирующие потоки превращаются в волну второго звука.

Как можно использовать второй

звук для обнаружения квантованных вихрей? Вспомним, что квантованные вихри препятствуют течению нормальной компоненты гелия II, поэтому они нарушают колебательные движения нормальной компоненты, которые и создают волну второго звука. Следовательно, подобно тому как звукопоглощающие перегородки ослабляют обычную звуковую волну, квантованные вихри могут гасить волну второго звука в заполненной гелием II трубке. У. Вайнен и Г. Холл из Кембриджского университета использовали это явление и впервые в 1956 г. наблюдали набор вихрей во вращающемся контейнере, заполненном гелием II.

Чувствительность такого эксперимента чрезвычайно высока. В нашей лаборатории в Орегонском университете мы смогли зарегистрировать изменение длины вихревых нитей всего на 20 см в 1 см<sup>3</sup> гелия II. В подобном эксперименте относительное увеличение объема сердцевин вихря не превышает  $10^{-14}$  полного объема жидкого гелия.

**НАБОР** квантованных вихрей, возникающих во вращающемся сосуде с гелием II, слишком упорядочен, чтобы к нему можно применить термин «сверхтекучая турбулентность». Когда специалисты по гидродинамике говорят о классической турбулентности, они имеют в виду сложное течение, которое может возникнуть в движущемся с большой скоростью потоке жидкости или газа, например в потоке воздуха в аэродинамической трубе. По аналогии с классическим термином мы будем называть «сверхтекучей турбулентностью» сложную систему вихрей, которые могут возникать в заполненной гелием II трубке в том случае, когда относительная скорость противоположно направленных течений нормальной и сверхтекучей компонент достаточно велика.

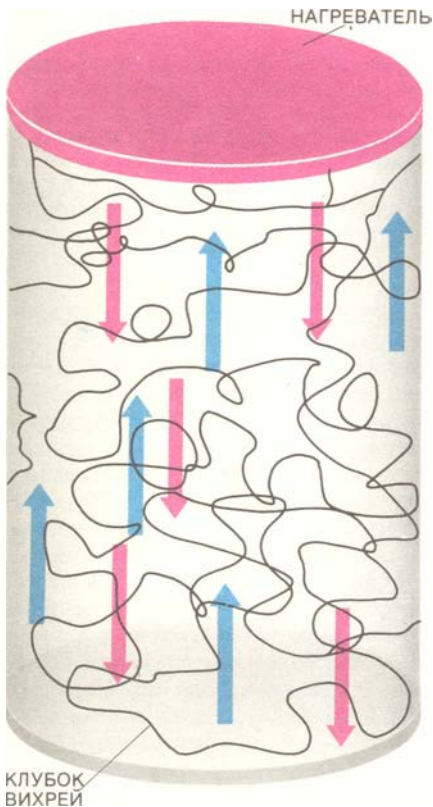
Предположим, например, что мы контролируем температуру на обоих концах заполненной жидким гелием трубки путем постепенного увеличения мощности нагревателя, расположенного на одном из ее концов. Сначала разность температур на концах будет невелика благодаря высокой теплопроводности гелия II. При некоторой критической мощности нагревателя, однако, эта разность быстро возрастает. Другими словами, когда количество переносимого по каналу тепла превысит некоторую величину, т. е. когда относительная скорость течений достигает некоторого критического значения, теплопроводность жидкости резко падает.

Эксперименты по измерению затухания второго звука показали, что резкое снижение теплопроводности вызвано образованием квантовых вихрей, которые воздействуют на противоположные течения. Поглощение второго звука происходит почти одинаково во всех направлениях; это указывает на то, что квантованные вихри - в отличие от появляющихся во вращающемся сосуде - не располагаются вдоль какого-либо одного направления. По-видимому, сердцевин вихрей закручиваются, изгибаются и переплетаются, образуя клубки; некоторые из них приобретают форму замкнутых петель, другие пронизывают, изгибаясь, всю трубку с жидкостью от одной стенки до другой. Таким образом, подобно тому как в быстром потоке воды образуются вихри и водовороты, быстрый противоток нормальной и сверхтекучей компонент приводит к образованию хаотичного скопления квантованных вихрей. Этот эффект был теоретически предсказан Фейнманом еще до того, как Вайнен опубликовал первые результаты наблюдений квантованных вихрей.

Именно такой сложный клубок вихрей, появляющийся в противотоке, мы будем в дальнейшем называть сверхтекучей, или квантовой, турбулентностью. Сверхтекучая турбулентность представляет собой одно из самых удивительных явлений, возникающих в сверхтекучей жидкости. Дело в том, что сердцевина вихря является областью, в которой нет сверхтекучей жидкости. Тем не менее образование и перемещение этого объекта, который практически не имеет массы и занимает ничтожную долю объема, оказывают значительное влияние на процесс передачи тепла в гелии II.

Явление сверхтекучей турбулентности изучается путем измерения разности температур, поглощения второго звука, а также с использованием методики, известной под названием метода захваченных ионов. Суть этой методики состоит в пропускании через заполненную гелием II трубку ионов гелия (электрически заряженных атомов). Некоторые ионы засасываются в сердцевин вихрей и захватываются ими вследствие того, что давление в центре вихря меньше, чем вокруг него. Расположение захваченных ионов можно наблюдать; кроме того, можно проследить за их движением и даже воздействовать на них (и, следовательно, на захватившие их сердцевин вихрей) с помощью внешних электрических полей.

Однако все эти методы наблюдения страдают существенными недостат-



**СВЕРХТЕКУЧАЯ** турбулентность в виде клубка квантованных вихрей появляется в том случае, когда нагреватель у одного конца канала передает в канал количество тепла, превышающее некоторую критическую величину. Противоток нормальной (красные стрелки) и сверхтекучей (синие стрелки) компонент вызывает изгиб и закручивание квантованных вихрей.

ками. В настоящее время невозможно определить местоположение захваченных ионов в турбулентном потоке: и характерные размеры, на которых можно измерить изменение температуры, поглощение пучков ионов и затухание второго звука, значительно больше среднего расстояния между вихрями. Из этих измерений могут быть получены лишь усредненные характеристики клубков вихрей, такие как их плотность (длина сердцевин вихрей на единицу объема). Напротив, для классической турбулентности часто удается измерить локальное распределение скорости и флуктуации давления для каждого вихря.

**ОДНАКО** тогда возникает вопрос: откуда известно, что сверхтекучая турбулентность действительно представляет собой турбулентность? Ответ на него можно получить путем сравнения некоторых характеристик классической и квантовой турбулентности.

Совершенно очевидно, что классическая турбулентность представляет собой хаотический процесс; при квантовой турбулентности клубки вихрей тоже имеют нерегулярную структуру. В случае классической турбулентности возникновение, перемещение и исчезновение локальных вихрей и водоворотов носит случайный характер. Аналогично, закручивание, изгиб и вращение сердцевин вихрей в случае сверхтекучей турбулентности имеет непредсказуемый характер. В классическом турбулентном потоке происходит интенсивная диссипация энергии. При сверхтекучей турбулентности в самой сверхтекучей компоненте, которая и образует квантованные вихри, не может происходить диссипации энергии, поскольку в ней отсутствует вязкость. Однако к интенсивной диссипации приводит трение между сердцевинами вихрей и нормальной компонентой: в турбулентном противотоке происходит выделение тепла за счет вязкой диссипации, обусловленной нарушением упорядоченности движения нормальной компоненты.

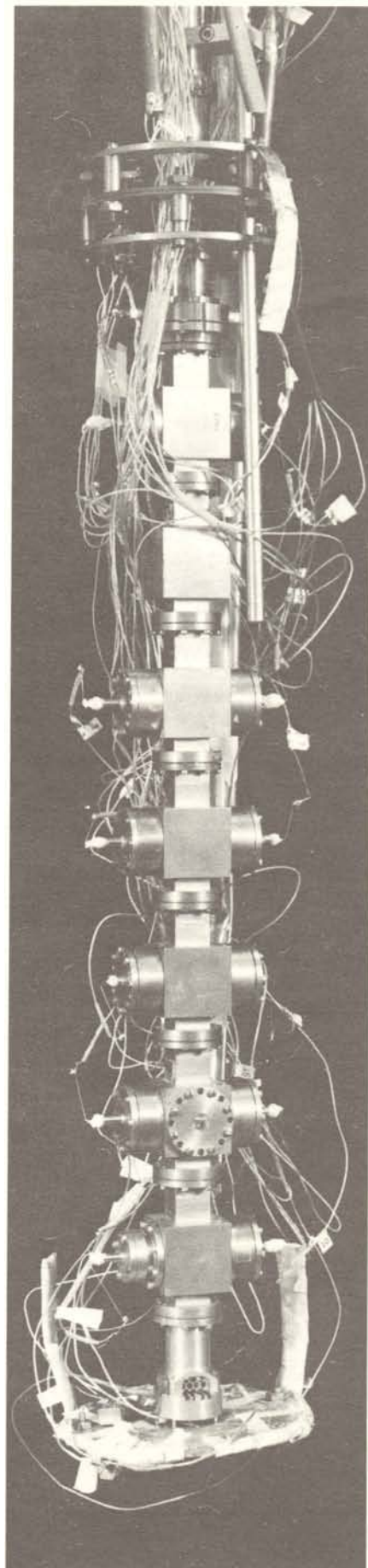
В то же время между классической и сверхтекучей турбулентностью имеются существенные различия. Сверхтекучая турбулентность возникает во всем объеме потока и совершенно однородна. В отличие от нее классическая турбулентность в большинстве случаев возникает при обтекании препятствий, постепенно затухая вниз по потоку. Классический турбулентный вихрь часто растягивается, и его диаметр уменьшается. Отдельные квантованные вихри также могут растягиваться, однако диаметр их сердце-

вины не может уменьшаться, поскольку он имеет минимально возможное из квантово-механических соображений значение. Однако клубки вихрей могут «утопшаться» за счет сближения друг с другом при растягивании. В классическом турбулентном течении вихри могут иметь любые размеры, начиная от размеров трубки и кончая минимальными размерами, при которых они разрушаются за счет внутреннего трения. Квантованные вихри способны образовывать структуры (клубки), размеры которых могут достигать размеров всей трубки, а могут и не превышать размеров атома, однако они должны иметь только строго установленные значения в этом диапазоне, определяемые квантованной скоростью циркуляции; она же накладывает ограничения на структуру клубков.

Как это ни странно, сверхтекучую турбулентность легко изучать. Ее легко получить и поддерживать в ограниченном объеме; она возникает в жидкости, свойства которой весьма просты и хорошо изучены. Ее можно получить и изучать в трубках с диаметром от одного микрометра (миллионная доля метра) до нескольких сантиметров. Другие параметры течения также могут варьироваться в широких пределах. Длина вихря в единице объема трубки может изменяться в пять порядков (100 000 раз), а отношение концентрации нормальной и сверхтекучей компонент - на два порядка (100 раз).

В большинстве экспериментов с квантовой турбулентностью в нормальной компоненте турбулентность либо отсутствует, либо очень слаба, поэтому она не усложняет картину процесса. Кроме того, хорошо известны фундаментальные законы, которые описывают движение сердце-

**УСТАНОВКА** для создания сверхтекучей турбулентности и измерения плотности клубков вихрей, созданная группой из Орегонского университета под руководством автора статьи. Канал со сверхтекучей жидкостью (центральная квадратная колонна) имеет длину 38 см и 1 см в поперечнике. Расположенный сверху нагреватель генерирует противоток нормальной и сверхтекучего гелия. Передатчики и приемники (горизонтально расположенные цилиндры) второго звука измеряют плотность клубка вихрей в сечении канала путем измерения поглощения ими второго звука. Другой передатчик в нижней части установки определяет продольную плотность клубков вихрей; он посылает сигнал второго звука вверх вдоль канала, где тот отражается обратно в расположенный внизу приемник.



вин вихрей (см. рисунок на с. 53). Во многом они подобны тонким натянутым струнам. (Некоторые эксперименты с использованием метода захваченных ионов показали, что можно «дернуть» за сердцевину вихря как за гитарную струну, в результате чего по ней в обе стороны начнут распространяться колебания.) Течения нормальной и сверхтекучей компонент могут действовать против собственного натяжения вихря, в результате чего он начинает двигаться, изгибаться и закручиваться.

**О**ДИН из первооткрывателей квантованных вихрей - Уильям Вайнен - был первым, кто серьезно изучал сверхтекучую турбулентность. Измеряя затухание второго звука, он обнаружил, что доступное наблюдению количество скрученных в клубок вихрей возникает только при определенной критической скорости противотока (относительной скорости нормальной и сверхтекучей компонент). Вайнен вывел также несколько основных соотношений, описывающих параметры сверхтекучей турбулентности. Например, если поток тепла (количество энергии, излучаемое нагревателем на единицу площади сечения трубки) значительно превышает величину, при которой возникает турбулентность, то плотность вихревых линий пропорциональна квадрату

скорости противотока, а разность температур на концах трубки - кубу потока тепла. Вайнен вывел уравнение, описывающее образование и распад сверхтекучей турбулентности, а также предложил гипотетическую модель, объясняющую некоторые из определенных им соотношений.

С тех пор ученые узнали много нового о сверхтекучей турбулентности. Например, оказалось, что плотность вихревых линий зависит от направления, вдоль которого она измеряется. В 1983 г. мои аспиранты К. Бареньи, Ч. Свенсон и я выполнили эксперимент, в котором волны второго звука распространялись вдоль и поперек трубки; при этом измерялась степень поглощения каждого сигнала. Мы также измерили разность температур между концами трубки и показали, что эти измерения могут дать возможность определить анизотропию клубка вихрей (различие его свойств в различных направлениях) и узнать, передвигается ли клубок вдоль трубки.

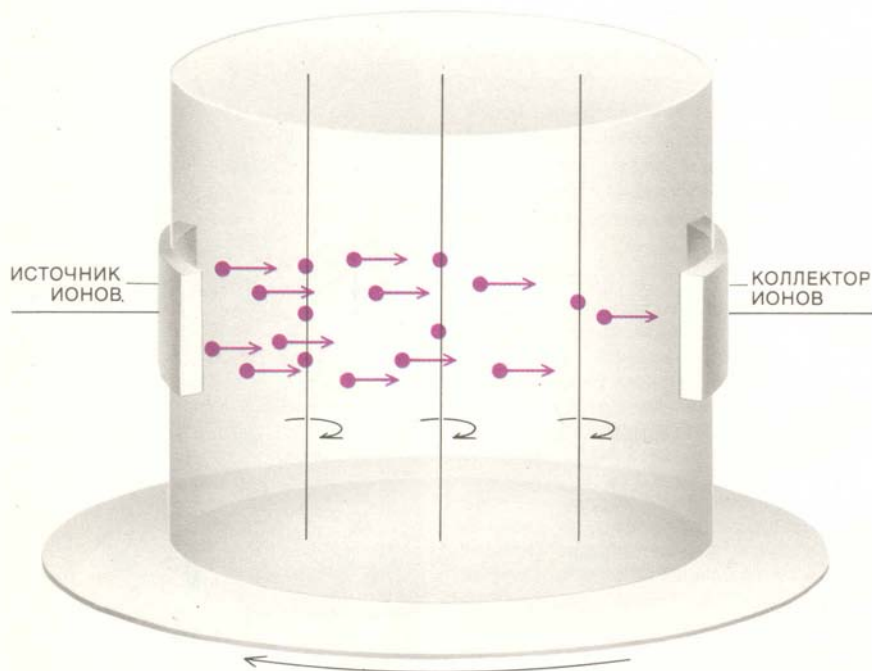
Точные результаты были получены в 1984-1986 гг. в диссертации Свенсона и Р. Уэнга. Они обнаружили, что плотность клубка выше в направлении вдоль канала, чем в поперечном направлении. При минимальной температуре клубок практически изотропен, а при максимальной (вблизи точки перехода гелия II в гелий I) его

плотность в продольном направлении примерно вдвое выше, чем в поперечном. Позднее Уэнг показал, что клубок дрейфует как целое по направлению к нагревателю с той же скоростью, с которой движется сверхтекучая компонента.

**И**ССЛЕДОВАТЕЛИ из различных лабораторий изучали также зависимость характеристик турбулентности от формы и размеров каналов. Эти эксперименты позволили избавиться от возникшего довольно давно замешательства, вызванного тем, что результаты проводившихся на протяжении многих лет в различных лабораториях экспериментов противоречили друг другу, причем противоречия только усиливались по мере накопления новых данных. Ситуацию прояснили два сравнительно недавно сделанных достижения: разработка схемы классификации турбулентных состояний и усовершенствование теории подобия, известной под названием скейлинга, или масштабной инвариантности.

В 1982 г. Дж. Тоу из Университета шт. Огайо в обширном обзоре исследований по сверхтекучей турбулентности предположил, что различия в форме канала приводят к появлению турбулентных состояний разных типов, а также предложил способ классификации этих состояний. Различные состояния отличаются друг от друга характером зависимости количества тепла, проходящего вдоль канала за единицу времени, от разности температур на концах канала. Тоу обнаружил, что тип возникающей в канале турбулентности сильно зависит от одного из параметров формы поперечного сечения канала - отношения его ширины к высоте. В каналах с квадратным или круглым сечением (у которых это отношение близко к 1) могут возникать два типа турбулентных состояний. В каналах прямоугольного сечения с большим отношением сторон, примерно 10:1, может возникать только один тип турбулентного состояния. Тоу описал различные характеристики этих состояний.

Одним из последних достижений в общем понимании турбулентности сверхтекучих потоков явилось применение теории подобия, позволяющей сравнивать результаты экспериментов, выполненных на установках с одинаковой геометрией, размеры которых, однако, сильно различаются. Теория подобия дает возможность изучать все процессы на небольших лабораторных установках; полученные при этом результаты будут верны и для больших промышленных систем. В классической гидродинамике



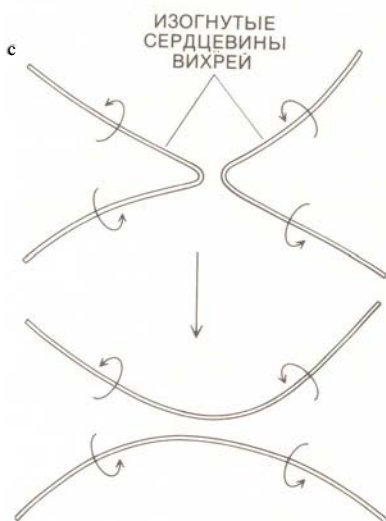
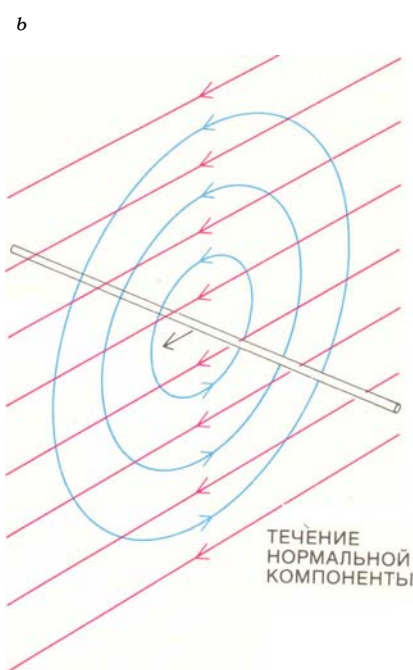
**МЕТОД ЗАХВАЧЕННЫХ ИОНОВ** дает возможность измерять плотность вихрей в образце сверхтекучего гелия. Ионы гелия (электрически заряженные атомы) испускаются радиоактивным источником с одной стороны образца (слева) и улавливаются с другой (справа). При прохождении сквозь образец некоторые ионы захватываются сердцевинами вихрей. По числу захваченных ионов можно определить плотность вихрей в образце.

характеристики течения в двух трубах одинаковой формы совпадают при условии, что числа Рейнольдса обоих течений одинаковы. (Число Рейнольдса - это скорость течения, умноженная на диаметр трубки и деленная на кинематическую вязкость; последняя равна вязкости, деленной на плотность жидкости.) Классическая теория подобия применима и к турбулентным потокам.

Попытки применить концепцию теории подобия в экспериментах с квантовой турбулентностью были не очень удачными, поэтому в 1984 г. Свенсон и я, следуя предположению К. Шварца (в настоящее время сотрудник Исследовательского центра им. Т. Уотсона фирмы IBM), задались вопросом: в чем состоят основные различия между квантовой и классической турбулентностью? Мы пришли к фундаментальному выводу: при данных температуре и давлении радиус сердцевин квантованного вихря всегда должен быть одним и тем же независимо от масштаба течения. Радиус определяется законами квантовой механики и не может уменьшаться при уменьшении размеров трубки. Исходя из этого положения, мы ввели квантовый аналог числа Рейнольдса. В выражении для этого числа основной член содержит логарифм отношения среднего расстояния между вихрями к размеру сердцевин вихря, в другой член входит отношение постоянной Планка к массе атома гелия. Дальнейшие исследования показали, что предложенная характеристика течения прекрасно описывает процессы в сверхтекучей жидкости.

**МАЛЫЙ МАСШТАБ** квантовой турбулентности создает предпосылки для ее использования в качестве модельного процесса при изучении классической турбулентности. Например, большой интерес для геофизики представляет изучение турбулентных течений во вращающейся жидкости, однако было проведено очень мало экспериментов по изучению подобных течений, возможно, из-за больших размеров и высокой стоимости используемых в подобных экспериментах азродинамических труб. Напротив, изучение сверхтекучей турбулентности во вращающихся системах не представляет особой сложности.

Влияние вращения на турбулентное течение весьма сложно и труднодоступно для понимания. Это та область исследований, где от интуиции мало пользы, поскольку мы живем в мире, который локально почти что покоится. Тем не менее Свенсон, Бареньи и я обнаружили, что свойства



вращающегося квантового турбулентного течения удивительно просты при условии, если поток тепла велик, а скорость вращения мала, или, наоборот, поток тепла мал, а скорость велика.

Для случая большого потока тепла и малой скорости вращения мы обнаружили, что полная плотность вихревых нитей меньше той, которую следовало бы ожидать, если учитывать не только нерегулярную структуру клубков, возникающих в результате турбулентности, но и регулярную структуру нитей, обусловленную вращением (которая появляется в опыте со вращающимся сосудом). Мы пришли к выводу, что часть «турбулентных вихрей», т. е. вихрей, рожденных тепловым потоком, выполняет дополнительную функцию - обеспечивает общее вращение жидкости, ориентируясь по оси вращения.

Такое упорядочение усиливается

НА ДВИЖЕНИЕ ВИХРЕЙ оказывает влияние несколько сил, природа которых относительно хорошо известна. Когда сверхтекучая компонента течет мимо сердцевин вихря (а), она ускоряет циркуляцию по одну ее сторону и замедляет по другую. В соответствии с фундаментальными принципами гидродинамики давление в ускоренном потоке ниже, чем в замедленном, поэтому возникает подъемная сила (подобная действующей на крыло летящего самолета), которая толкает сердцевину вихря в направлении, перпендикулярном направлению течения сверхтекучей компоненты. Когда мимо вихря проходит течение нормальной компоненты (б), оно создает сдвигающую силу, которая толкает сердцевину вихря в направлении, параллельном направлению течения нормальной компоненты. Третий закон движения вихря (с) пока не очень понятен. Когда две вихревые нити сближаются достаточно близко, они разрываются и пересоединяются таким образом, что разорванные концы каждой нити соединяются с соответствующими концами другой нити.

при увеличении скорости вращения и во многом аналогично тому, как газ магнитных диполей может быть упорядочен при увеличении внешнего магнитного поля. И в самом деле, оказывается, что с точки зрения математического описания эти два процесса имеют много общего: уравнения, связывающие степень упорядочения вихрей со скоростью вращения, почти идентичны уравнению, описывающему зависимость степени магнитной поляризации газа диполей от величины внешнего магнитного поля. Аналогия может быть продолжена. Свертывание вихрей в клубки под действи-

ем потока тепла, разрушающее их упорядоченность, во многом аналогично тепловому возмущению газа магнитных диполей, которое возникает при увеличении температуры и разрушает его упорядоченность. Таким образом, изучение квантовой турбулентности во вращающейся системе дало физикам один из немногих известных аналогов беспорядка, возникающего под действием теплового возмущения.

**ЕЩЕ** ОДНИМ весьма перспективным способом исследований является использование мощных быстродействующих компьютеров для численного моделирования поведения вихрей. Поскольку непосредственно наблюдать движение отдельного вихря невозможно, компьютерное моделирование в настоящее время служит единственным методом, пригодным для изучения турбулентности в столь малом масштабе. Одна из целей этого моделирования - определение механизма рождения и перемещения гипотетического клубка вихрей путем непосредственного решения основных уравнений движения. Силы, действующие на вихрь в нормальной и сверхтекучей компонентах, хорошо известны, а очень малый радиус сердцевин вихря позволяет моделировать его как бесконечно тонкую нить.

При компьютерном моделировании классической турбулентности всю жидкость необходимо представлять Трехмерным множеством точек, движущихся в пространстве. В случае же квантовой турбулентности, если считать, что течение нормальной компоненты не является турбулентным, ситуация значительно упрощается. Приходится учитывать только одномерное множество точек - вихревую нить, движущуюся в трехмерном пространстве. Тем не менее до настоящего времени только Шварцу удалось выполнить численное моделирование квантовой турбулентности. За последние 8 лет он провел несколько успешных компьютерных экспериментов для ряда специальных случаев.

Одномерная модель описывает однородную турбулентность, возникающую при температуре выше одного градуса. Шварц разработал набор правил, которые дают возможность быстро выполнять расчеты свойств клубка, и обнаружил, что во многих случаях можно не учитывать сложные законы квантовой механики, а использовать только законы классической гидродинамики. Когда в ходе моделирования скорость противотока уменьшалась ниже некоторого значения, собственное натяжение вихревых нитей вытягивало их сердцевин в

прямые линии, которые сдвигались к краю канала. Возможно, именно этот процесс служит причиной наблюдавшегося в экспериментах быстрого исчезновения турбулентности при уменьшении потока тепла в канале ниже критического значения. Недавно полученные результаты показывают, что на возникновение и исчезновение турбулентности при критической скорости противотока влияет также взаимодействие вихрей с микроскопическими шероховатостями стенок канала. Известно, что эти шероховатости играют важную роль в возникновении классической турбулентности.

Однако в некоторых компьютерных экспериментах Шварц обнаружил, что не всегда можно полностью полагаться на законы классической гидродинамики. Например, если две вихревые нити очень сильно сближаются, законы классической гидродинамики уже не действуют и необходимо учитывать квантово-механические эффекты. Для такого случая Шварц применил правило, предложенное Фейнманом много лет назад: каждая нить разделяется на две в точке их наибольшего сближения, а затем конец каждой нити соединяется с соответствующим концом другой нити (см. рисунок на с. 53). Если подобный процесс «пересоединения» включен в численную модель, то в расчетах практически любое начальное распределение вихрей быстро превращается в клубок.

Какой реальный физический механизм может соответствовать пересоединению? Согласно классической гидродинамике, вихрь не может просто разорваться пополам. Одна из первых попыток ответа на этот вопрос принята в недавней работе К. Джоунса из Университета Ньюкасла-Апонтайна и П. Робертса из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Они изучали математическое описа-

ние вихревого кольца (замкнутой в виде петли вихревой нити), которое сокращается до тех пор, пока не уменьшится почти до размеров сердцевин вихря, и обнаружили, что при определенных размерах кольца квантованная циркуляция вокруг вихревой линии полностью исчезает. Возможно, аналогичное явление происходит при достаточно сильном сближении двух частей разных вихревых нитей: под действием квантово-механических закономерностей циркуляция в ограниченной области прекращается, что дает возможность вихревым линиям пересоединиться, не нарушая законов гидродинамики.

**ЗАГЛЯДЫВАЯ** в будущее, можно ожидать дальнейшего прогресса в изучении сверхтекучей турбулентности. Хотя экспериментальных способов определения свойств течения вблизи отдельной сердцевин вихря не существует, сейчас представляется возможным выполнять достоверное численное моделирование этого течения. Некоторые вопросы - например, вопрос о механизме, обуславливающем пересоединение, - могут быть исследованы лишь теоретически, однако и здесь имеются определенные успехи.

Если все пойдет хорошо, я верю, что недалеко то время, когда можно будет сказать, что явление сверхтекучей турбулентности найдет свое объяснение. Я имею в виду, что результаты экспериментов, которые пока еще не проведены, могут быть вскоре предсказаны из расчетов (возможно, и моделирования), выполненных на основе только фундаментальных законов динамики вихрей. Не исключено, что сверхтекучая турбулентность станет первой разновидностью турбулентных течений, в изучении которой будет достигнут такой прогресс.

## Наука и общество

### Мастерство мутирования

**ЗА** ПОСЛЕДНЕЕ время немногие открытия вызвали такой широкий интерес, как недавно полученные данные, ставящие под сомнение фундаментальный принцип современной биологии - представление о случай-

ности возникновения мутаций.

Общепринято, что организм не способен специфически генерировать мутации, дающие ему преимущество, а напротив, некоторые мутации по чистой случайности оказываются полезными и, таким образом, становятся заметными. Это представление сло-



жились на основании результатов экспериментов с бактериями, проделанных в 40 - 50-х годах. Одно из ныне классических исследований было проведено в 1943 г. С. Лурия и М. Дельбрюком. Они подвергали ряд идентичных быстрорастущих культур бактерий воздействию бактериофага (бактериального вируса) и подсчитывали число мутантов, устойчивых к инфекции. Это число в разных культурах широко варьировало, откуда следовало, что культуры содержали линии клеток, уже несущие мутации, заранее приспособляющие их обладателей к сопротивлению инфекции. Если бы мутации возникали непосредственно в ответ на бактериофаг, то они, скорее всего, были бы распределены между культурами более равномерно. Этот «флуктуационный тест» и другие эксперименты показали, что мутации возникают спонтанно.

И вот в журнале «Nature» появилось сообщение Дж. Кейрнса и его коллег, работающих в Школе здравоохранения Гарвардского университета, которые считают, что методика этих классических экспериментов не позволяла обнаружить дополнительные мутации, возникающие в ответ на новую потребность. Кейрнс с сотрудниками повторили опыт Лурия и Дельбрюка с тем лишь отличием, что использовали штамм бактерии *Escherichia coli*, не способный усваивать лактозу. Исследователи растили несколько культур и затем проверяли их на наличие мутантов, заново приобретших способность утилизировать лактозу и потому образующих колонии на содержащей ее среде. Помимо ожидаемых предсуществующих мутантов, они обнаружили и такие, которые появлялись сравнительно поздно и были распределены между культурами равномерно. Это свидетельствовало о том, что они действительно образовались в ответ на новый внешний фактор - присутствие лактозы. Такой вывод подтверждался тем фактом, что подобное «экстренное» мутирование можно задержать, если задержать добавление сахара. Более того, было показано, что присутствие сахара специфически вызывает выигранные в данной ситуации мутации, обеспечивающие способность утилизировать лактозу. С традиционной точки зрения появление подобных экстремальных мутаций не объясняется. «Поразительно, сколь мало обоснованным было общепринятое мнение», - заявляет Кейрнс.

В другом эксперименте он и его сотрудники показали, что один из штаммов *E. coli*, если требуется использовать для роста лактозу, способен быстро исключать из своего генома специфический фрагмент, блоки-

рующий метаболизм лактозы. В третьем эксперименте колонии *E. coli* в присутствии лактозы за несколько дней «выработали» две редкие мутации, которые вместе активировали «криптический» (т. е. в норме не используемый) ген, придающий клетке способность утилизировать лактозу.

Б. Холл из Коннектикутского университета осуществил сходные эксперименты. Он обнаружил, что две, как правило, редкие мутации, которые, взятые вместе, позволяют *E. coli* использовать в качестве питательного вещества салицин, появляются подряд и с высокой частотой в колониях *E. coli*, помещенных в среду, не содержащую никаких других питательных веществ, кроме салицина. Эти результаты будут описаны в журнале «Genetics». Еще один эксперимент, проделанный Холлом, показывает, что частота одной полезной мутации в условиях жесткой селекции повышается в 50 раз.

По мнению Холла, такие факты свидетельствуют, что клетки каким-то образом могут распознавать, какая мутация была бы выигральной и увеличивать вероятность ее возникновения. Он отмечает, что бактерии, похоже, имеют множество криптических генов. Поскольку бактерии, вероятно, часто попадают в условия недостатка питательных веществ, можно предполагать, что они могут по мере необходимости активировать Криптические гены путем направленного мутирования.

Природа этой поразительной способности - если, конечно, ее существование подтвердится, - на сегодняшний день совершенно неизвестна. Напрашивается сравнение с издавна не пользующимися доверием воззрениями биолога XIX в. Жана Батиста Ламарка, который утверждал, что приобретенные признаки наследуются (например, сын кузнеца, натренировавшего себе работой руки, должен быть наделен сильными руками). Впрочем, Холл предостерегает, что бактерии сильно отличаются от высших организмов: бактерия передает своему потомству те самые гены, которыми она «пользовалась» в течение жизни, тогда как у многоклеточных организмов генетический материал, предназначенный для наследования, находится отдельно в специальных половых клетках. Даже если направленное мутирование и окажется широко распространенным среди бактерий, оно может быть и не свойственно высшим организмам. Тем не менее, согласно мнению Кейрнса и Холла, эволюция вполне могла благоприятствовать сохранению столь полезного механизма.

Вниманию  
читателей!

**В. Грант**  
**ЭВОЛЮЦИОННЫЙ**  
**ПРОЦЕСС.**  
**КРИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР**  
**ЭВОЛЮЦИОННОЙ**  
**ТЕОРИИ**

Перевод с английского

В книге рассматриваются механизмы процесса эволюции и воздействующие на него факторы; обсуждаются практически все основные эволюционные концепции. Благодаря широте охвата материала, взвешенности анализа, четкости (даже конспективности) изложения, книга может служить справочником по теории эволюции. Автор - известный американский ученый, член Национальной академии наук США - знаком советским читателям по ранее вышедшим книгам, в частности, «Эволюция организмов», М.: Мир, 1980; «Видообразование у растений», М.: Мир, 1984. Книга будет выпущена на русском языке с дополнением автора.

Содержание: Микроэволюция. Естественный отбор. Приобретаемые признаки. Видообразование. Макроэволюция. Происхождение человека (биологические и социальные аспекты).

Для биологов всех специальностей, философов и историков науки.

1990,30 л. Цена 3 р. 50 к.

На книги, выходящие в 1990 г., магазины научно-технической литературы будут принимать заказы с апреля-мая 1989 г. Издательство заказы не принимает.



# Инфракрасные волоконные световоды

*Новые стеклянные и кристаллические световоды, более прозрачные для излучения в длинноволновой области оптического диапазона, чем кварцевые световоды, находят сейчас применение в системах оптической связи, медицинской диагностической аппаратуре и в волоконно-оптических лазерах*

**МАРТИН Г. ДРЕКСГЕЙДЖ, КОРНЕЛИУС Т. МОЙНИХЭН**

**Е**ЩЕ 3000 ЛЕТ НАЗАД египетские стеклодувы ухитрились делать из стекла рыбок с синей головой, белой чешуей и желтыми плавниками. Преднамеренное введение окислов металлов в силикатные стекла - кобальта для синего цвета, олова для белого и сурьмы для желтого - позволяло получать цветных рыбок. В то же время, поскольку исходные вещества всегда содержали следы этих и многих других металлических примесей, древние египтяне не знали прозрачного стекла. Лишь спустя многие века, благодаря развитию химии и разработке новых технологий производства стекла, мастерам уже другого поколения удалось получить чистое прозрачное стекло. Успешным итогом этого достижения стали стеклянные линзы, появившиеся в начале XX в., которые в 10 000 раз были более прозрачными, чем первые стекла Древнего Египта. К 60-м годам прозрачность стекла удалось увеличить еще в 10 000 раз за счет усовершенствования технологии получения чистой двуокиси кремния - технологии, которая привела к появлению волоконной оптики. Сейчас телефонные разговоры, информация в компьютерных системах и телевизионные изображения передаются импульсами света по волоконным жгутам из высокочистых кварцевых стекол.

В 1979 г. в волоконных световодах из кварцевых стекол был достигнут максимально возможный для них предел прозрачности. В настоящее время появляется второе поколение материалов для волоконной оптики, которые позволяют передавать излучение более длинноволновой инфракрасной области спектра. Имеется три класса таких материалов: галогенидные кристаллы, халькогенидные стекла и стекла на основе фторидов тяжелых металлов.

Все эти материалы могут быть более прозрачными в инфракрасной области, чем световоды на основе кварцевых стекол, поэтому их уже сейчас испытывают для многих новых применений. Инфракрасные световоды могут передавать простые инфракрасные изображения предметов или информацию о температуре труднодоступных или сильно удаленных объектов. Такие световоды в виде гибкого оптического кабеля можно будет использовать для передачи мощного лазерного излучения, применяемого в промышленности для резки, сварки или сверления металлов. Их можно также использовать и в медицине для подведения лазерной энергии к закупоренному бляшками месту в артериях животных - процедура, которая скоро станет обычной в хирургии наряду с аорто-коронарным шунтированием и балонно-катетерной ангиопластикой.

Особый интерес инфракрасные световоды представляют для дальнейшей оптической связи. Если в них удастся достичь максимально возможной прозрачности, то они будут иметь явное преимущество перед другими световодами, используемыми в более коротковолновой области спектра.

При прохождении излучения по световоду от источника к приемнику часть световой энергии теряется, и сигнал может стать настолько слабым, что выйдет за пределы чувствительности приемника и окажется потерянным. Поэтому передаваемые на большие расстояния сигналы должны периодически усиливаться. Но производство, эксплуатация и ремонт таких усилителей требуют немалых затрат. Оптические сигналы, передаваемые по промышленным кварцевым световодам, должны усиливаться через каждые 10-50 км, а электрические сигналы, передаваемые по

медным проводам, - через каждые 4-6 км. В системах же связи на основе инфракрасных световодов расстояние между усилителями-ретрансляторами может составлять сотни и даже тысячи километров.

Для разработки новых методов получения волоконных световодов на пути к достижению этой и других целей было исследовано множество различных стекол и кристаллов, прозрачных в инфракрасной области спектра. После тщательного изучения межатомных сил и структуры материалов, от которых зависит уровень затухания излучения в световоде, наиболее перспективными оказались галогенидные кристаллы, халькогенидные стекла и стекла на основе фторидов тяжелых металлов.

**Р**АСПРОСТРАНЕНИЕ всех световых волн в световоде начинается от источника излучения, которым обычно является лазер или светонизлучающий диод. Источник помещается у торца световода, состоящего из двух концентрических цилиндров: сердцевинки и оболочки. Излучение от источника попадает в сердцевину; часть его будет распространяться прямолинейно вдоль оси световода, а другая его часть, которая войдет в сердцевину под углом к оси, попадет на границу между сердцевинкой и оболочкой. Лучи света, падающие под большими углами к границе, попадают в оболочку и в дальнейшем поглощаются пластичным полимерным покрытием, предохраняющим световод от механических повреждений. Лучи же, попадающие на границу под малыми углами, полностью отражаются обратно в сердцевину световода. Этот процесс полного внутреннего отражения, постоянно повторяясь, обеспечивает распространение излучения вдоль световода.

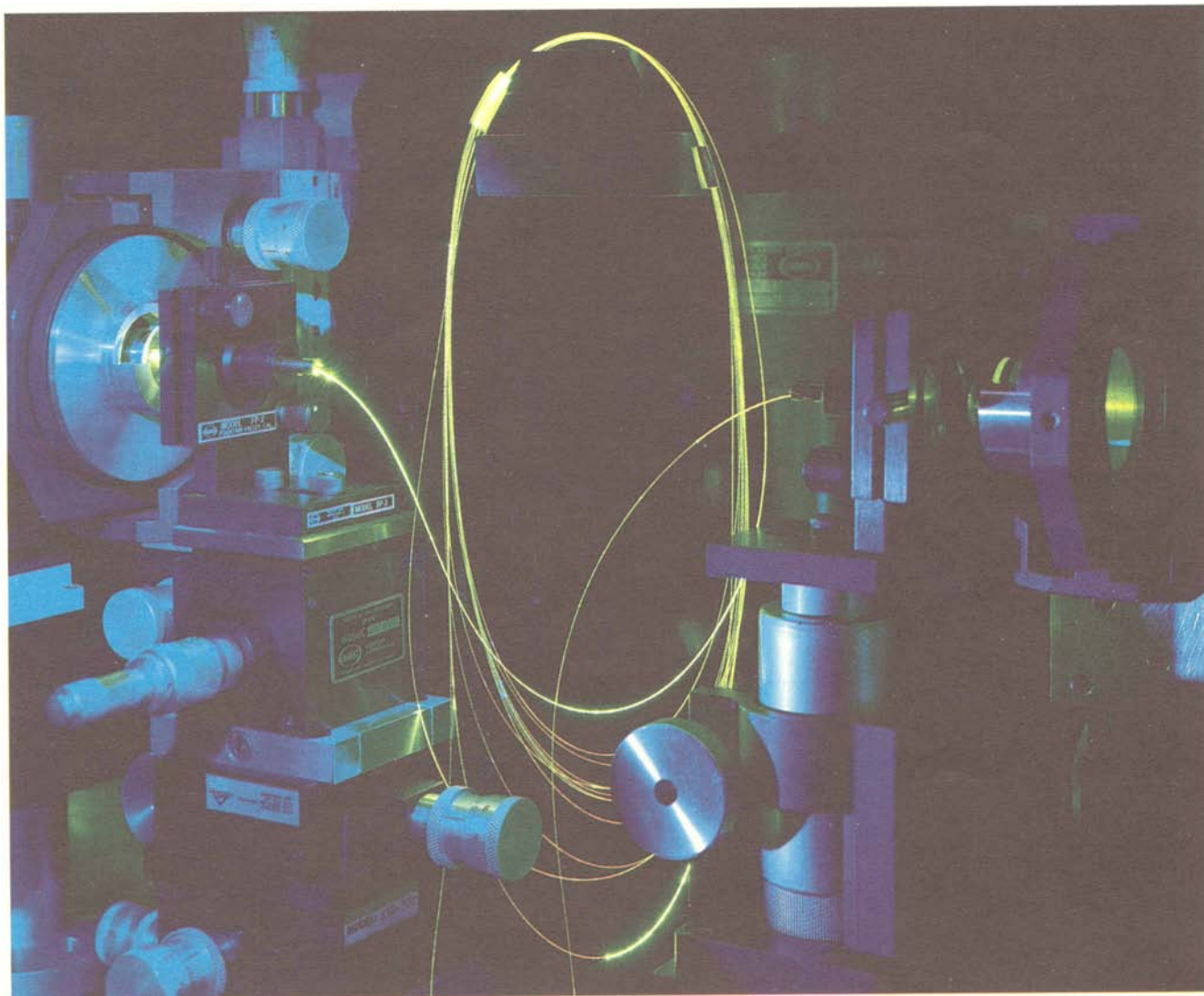
Полное внутреннее отражение является следствием неодинаковой скорости распространения света (как и всех других видов электромагнитных волн) в различных средах. Скорость света в данном материале определяется его показателем преломления, численно равным отношению скорости света в вакууме (максимально возможной) к скорости света в данном материале. Поскольку в сердцевине свет распространяется медленнее, чем в оболочке, сердцевина имеет больший показатель преломления. Всякий раз, когда свет попадает из среды с Большим показателем преломления в среду с меньшим его значением, часть света полностью отражается, а оставшаяся часть проходит через границу раздела. Доля отражен-

ного света зависит как от угла падения, так и от соотношения показателей преломления двух сред.

Правильным подбором соотношения показателей преломления сердцевины и оболочки, а также диаметра сердцевины можно увеличить световодный эффект, добившись чтобы все падающие под углом составляющие передаваемого сигнала оставались внутри световода и одновременно попадали на приемник излучения (см. J.S. Cook. Communication By Optical Fiber, "Scientific American", November 1973). Если все подобрано удачно, то часть света от источника достигнет дальнего конца световода и приемника, в качестве которого обычно используется светочувствительный элемент на слоистых структурах.

ДАЖЕ ЕСЛИ свет введен в световод и распространяется по сердцевине, эффекты рассеяния и поглощения внутри ее препятствуют прохождению света и могут привести к полному его затуханию. В высокопрозрачном твердом материале затухание света обуславливается тремя независимыми процессами: электронным поглощением, рассеянием света и колебательным поглощением. Хотя влияние этих процессов на проходящее излучение в разных материалах может быть неодинаковым, они обязательно присутствуют во всех прозрачных твердых материалах.

Электронное поглощение определяет затухание сигналов с короткими длинами волн. Световод в своей основе состоит из атомов, соединенных



ФТОРИДНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ЛАЗЕР является примером одного из важнейших применений инфракрасных световодов. Устройство преобразует синезеленое лазерное излучение в инфракрасное. Намотанный на катушку световод из фторидного стекла с добавкой неодима помещается между двумя зеркалами (*цилиндрические конструкции слева и справа*). Синезеленый свет воз-

буждает ионы неодима, которые затем испускают инфракрасное излучение. Последнее усиливается, многократно проходя по световоду и отражаясь от зеркал. Одно из зеркал полупрозрачное, оно пропускает часть излучения наружу. Лазер собран в лаборатории фирмы General Telephone and Electronics, Inc. У. Минискало, Л. Эндрюсом и Барбарой Томпсон.

между собой электронами, образующими химические связи. Когда излучение с некоторой длиной волны вводится в световод, оно может быть поглощено электронами и затем потеряться в виде тепла. Поскольку в твердых материалах именно короткие длины волн соответствуют энергиям химических связей, коротковолновое излучение будет поглощаться за счет этого процесса более интенсивно, чем длинноволновое.

Рассеяние света определяет затухание излучения на более длинных волнах. Одним из общих видов рассеяния, присущих жидкостям, газам и многим твердым средам, включая стекла, является рассеяние Рэлея. Оно возникает из-за непостоянства показателя преломления среды, обусловленного флуктуациями ее плотности и состава. Интенсивность рэлеевского рассеяния быстро падает с увеличением длины волны света и зависит от конкретного состава материала. Проведенные со многими кварцевыми стеклами эксперименты позволили сделать вывод, что к наиболее важным параметрам стекла, определяющим ослабление излучения за счет рэлеевского рассеяния, относятся показатель преломления и температура стеклования. При температурах, близких к температуре стеклования, расплавленная масса стекла затвердевает, «замораживая» в себе локальные неоднородности показателя преломления. Материалы с низкой температурой стеклования и низким показателем преломления будут иметь слабое рэлеевское рассеяние.

Колебательное поглощение является основным фактором ослабления для излучения еще более длинноволновой области. Оно сложным образом зависит от масс, размеров и эффективных зарядов атомов, из которых состоит данное твердое веще-

ство. В кристаллах или стеклах связи между атомами могут рассматриваться как притяжение между положительными и отрицательно заряженными ионами (катионами и анионами соответственно). Два иона, соединенные между собой химической связью, непрерывно колеблются подобно двум грузикам, сцепленным жесткой пружиной. Если на грузики воздействовать периодической силой, согласованной с периодом их собственных колебаний, то грузикам будет эффективно передаваться энергия, и амплитуда колебаний возрастет. Такой эффект называется резонансом. Если на атомные связи воздействовать светом с соответствующими резонансными длинами волн, то энергия света будет преобразовываться в колебательную энергию ионов. Интенсивность светового сигнала при этом уменьшится из-за поглощения его энергии колебательной системой. По мере все большего уменьшения длины волны света по сравнению с резонансной длиной волны колебательное поглощение падает и материал становится все более прозрачным.

Резонансная длина волны определяется массами ионов и силой связи между ними. Она тем короче, чем меньше массы ионов и чем сильнее межатомные связи. В диоксиде кремния, например, каждый катион кремния окружен четырьмя анионами кислорода. Кремний сильно связан с кислородом, а массы обоих атомов малы по сравнению с массами атомов в инфракрасных оптических материалах. Поэтому у кварцевого стекла (диоксида кремния) наблюдается значительное поглощение в коротковолновой части инфракрасной области спектра и оно может пропускать излучение только до 2,5 мкм.

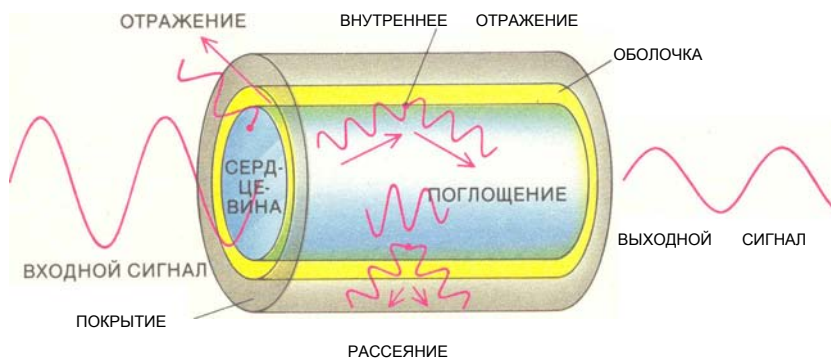
Для разупорядоченных атомных структур, которые характерны для

стекло и даже для хорошо упорядоченных решеток кристаллов, колебательное поглощение начинает проявляться и постепенно растет при приближении к резонансным длинам волн. Это приводит к так называемой колебательной границе поглощения (пропускания) материала. Для многих веществ, как удалось определить, интенсивность поглощения экспоненциально падает при удалении от резонансной области в сторону коротких длин волн.

**Э**ЛЕКТРОННОЕ поглощение, рэлеевское рассеяние и колебательное поглощение считаются собственными видами оптических потерь, поскольку они присущи самому материалу. Знание собственных свойств позволяет предсказать уровень максимальной прозрачности, который может быть достигнут в каждом твердом материале. При выборе материала также должны учитываться несобственные оптические потери, обусловленные присутствием нежелательных примесей несовершенством технологии его получения. К несобственным потерям относятся те, которые вызваны поглощением примесями, рассеянием на больших включениях или пустотах, а также потери за счет непостоянства диаметра световода по его длине и отклонений от требуемых значений показателя преломления по сечению световода.

Суммарные потери мощности света за счет собственных и несобственных механизмов характеризуются коэффициентом затухания, выражаемым в децибелах на километр (дБ/км). Так, при введении в световод длиной 1 км с коэффициентом затухания 1 дБ/км оптического сигнала мощностью 10 Вт на его выходе будет принят сигнал мощностью 7,9 Вт. Обычное оконное стекло имеет затухание в несколько тысяч децибел на километр. Для систем оптической связи необходимо, чтобы оптические потери по всей длине 50-километрового световода не превышали 1 дБ/км. Более протяженные линии связи требуют снижения уровня потерь до 0,01 дБ/км. Если бы такой прозрачностью обладали оконные стекла, то улицу можно было бы видеть через стекло толщиной 200 км.

Помимо низкого оптического затухания следует принимать во внимание и другие характеристики материалов для световодов. Идеальный материал должен быть прочным, гибким, невосприимчивым к химическим воздействиям и простым в получении. К сожалению, низкое затухание и хорошие структурные характеристики обычно несовместимы. Многие свойства стекла, обеспечивающие



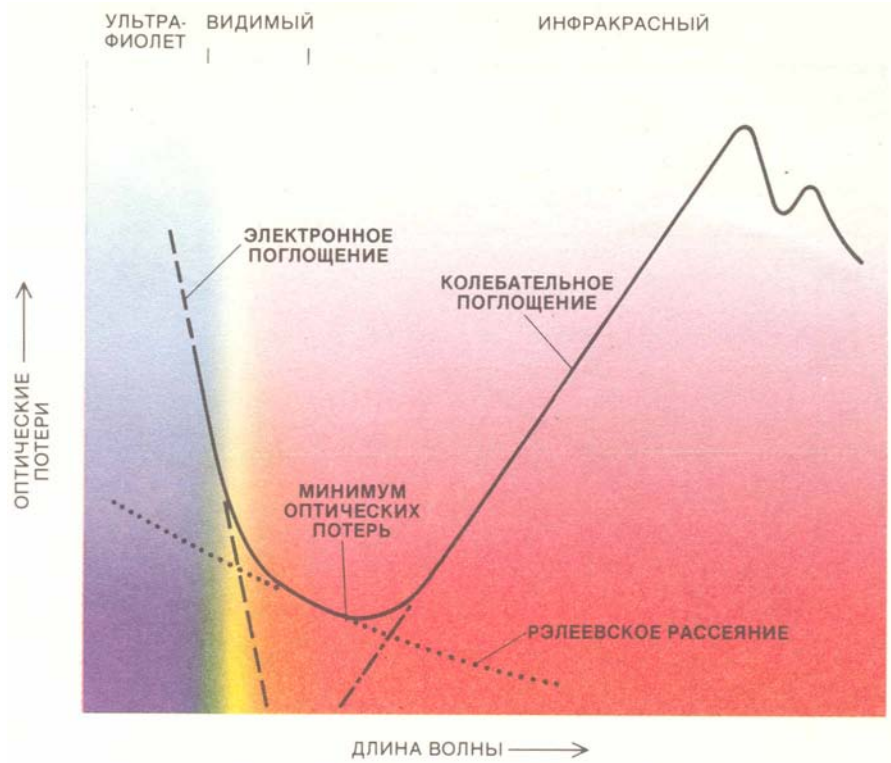
**ОСЛАБЛЕНИЕ**, или потеря мощности, излучения в волоконном световоде обусловлено различными процессами. Световод состоит из сердцевины, проводящей свет, оболочки, удерживающей его в сердцевине. Часть света попадает в оболочку и поглощается покрытием, другая часть теряется на входе за счет отражения от торца световода. Внутри сердцевины свет поглощается атомами материала световода и примесными атомами. Свет также рассеивается на микроскопических неоднородностях состава или плотности материала световода.

прозрачность в длинноволновой области спектра, такие как низкая температура стеклования, слабые межатомные связи, присутствие более тяжелых, чем кислород, анионов, часто придают материалам нежелательные физические, химические и механические свойства. Тем не менее имеется ряд кристаллических и стеклообразных материалов с улучшенной прозрачностью в длинноволновой области, у которых эти свойства еще приемлемы для волоконной оптики. Такие материалы могут пропускать инфракрасное излучение с очень малыми потерями на рэлеевское рассеяние и электронное поглощение. Поэтому теоретически их прозрачность может быть выше, чем достигнутая для кварцевых световодов.

Наименьшее затухание, достигнутое в настоящее время в кварцевых световодах, составляет 0,2 дБ/км на длине волны 1,5 мкм. Это хорошо согласуется с собственным пределом прозрачности кварцевых стекол, рассчитанным на основании учета характерных для них рэлеевского рассеяния, электронного поглощения и граничной величины колебательного поглощения, определяемой силой межатомной связи кремний-кислород. Столь низкое затухание достигнуто путем тщательной отладки процессов получения кварцевого стекла и световодов из него, при которых все источники несобственных потерь в них были фактически устранены.

**Д**ЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ прозрачности, большей чем у световодов на основе кварцевого стекла, новые материалы, выбранные с учетом их собственных свойств, должны быть дополнительно очищены, с тем чтобы несобственные факторы затухания свести к минимуму. Такие материалы будут использоваться в инфракрасной области спектра на длинах волн более 2 мкм.

Кристаллические материалы образуют первый класс веществ, которые могут эффективно использоваться в инфракрасной волоконной оптике. Теоретически многие двухкомпонентные кристаллы: бромид серебра, селенид цинка и даже хлорид натрия имеют низкое собственное затухание. Однако на практике получение монокристаллов в виде волоконных световодов большой длины связано с рядом серьезных проблем. Скорости роста монокристаллических волокон очень малы и часто составляют всего несколько сантиметров в минуту. Столь низкие скорости роста увеличивают вероятность того, что диаметр световода будет непостоянным. Трудноосуществимой также представляется задача формирования в



**СОБСТВЕННОЕ ЗАТУХАНИЕ** в световоде определяется тремя процессами. Электронное поглощение отбирает энергию, когда коротковолновый свет возбуждает связанные электроны в атомах. Колебательное поглощение возникает в случае, когда длинноволновый свет заставляет колебаться атомы материала. На промежуточных длинах волн, на которых ни один из механизмов поглощения не является определяющим, неоднородности плотности и состава приводят к рассеянию Рэля. Эти механизмы и определяют кривую затухания света в материале.

МАТЕРИАЛ	МАССА КАТИОНА	МАССА АНИОНА	ДЛИНА ВОЛНЫ, МКМ
ДИОКСИД КРЕМНИЯ $\text{SiO}_2$	Si	O	8-15
ТЕТРАФТОРИД ЦИРКОНИЯ $\text{ZrF}_4$	Zr	F	17-25
ТРИСЕЛЕНИД МЫШЬЯКА $\text{AsSe}_3$	As	Se	44-46

**СТЕКЛООБРАЗНЫЕ МАТЕРИАЛЫ** поглощают свет за счет колебаний атомов. Массы атомов и силы связи между ними определяют длины волн, на которых это поглощение наиболее сильное. Увеличение масс атомов и ослабление силы связи между ними приводят к увеличению этих длин волн. Именно поэтому тетрафторид циркония — основной компонент стекол из фторидов тяжелых металлов, а также халькогенидное стекло — триселенид мышьяка наиболее сильно ослабляют сигналы в длинноволновой инфракрасной области. Ионы кремния и кислорода имеют меньшие массы и более сильную связь, поэтому кварцевое стекло (диоксид кремния) наиболее сильно поглощает сигналы в средней инфракрасной области.

процессе роста правильной волоконно-оптической структуры с высоким показателем преломления сердцевин и низким - оболочек.

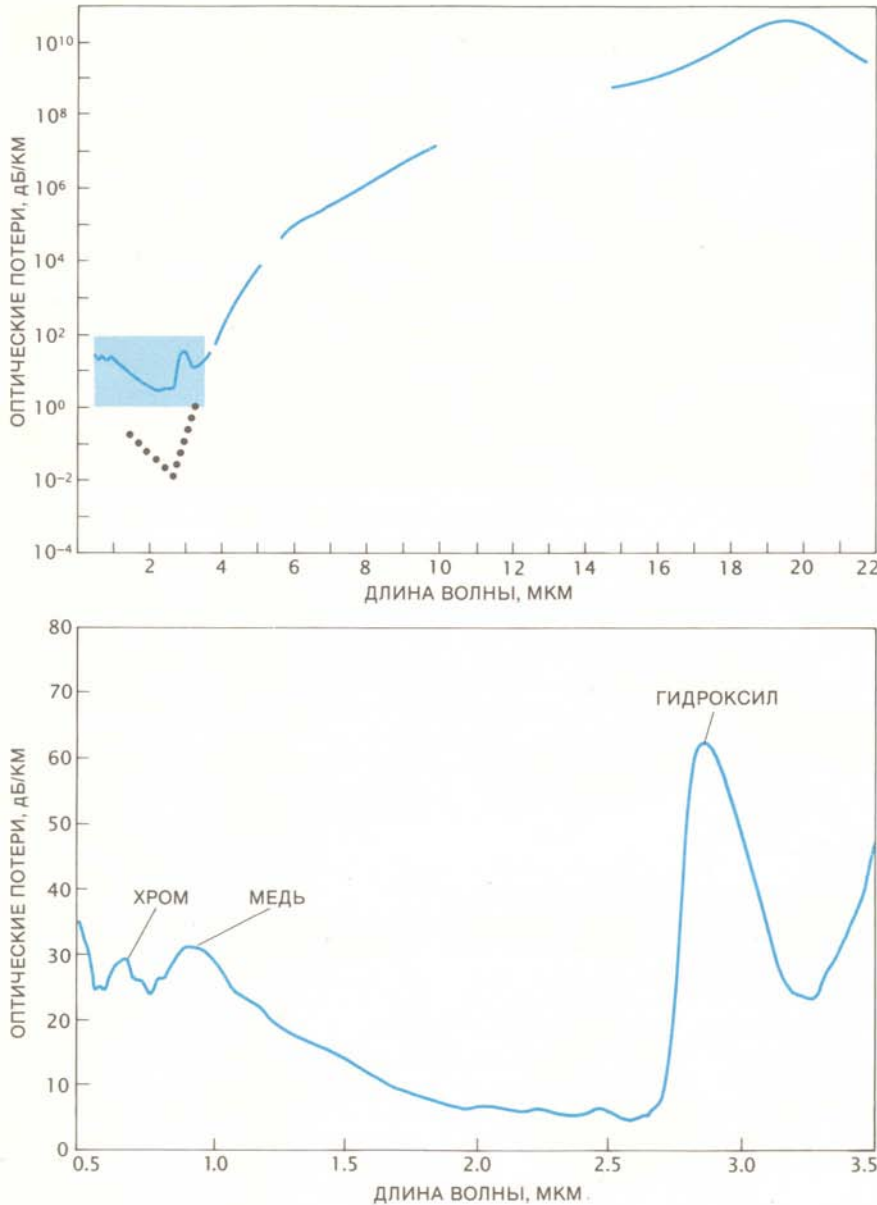
Значительно более перспективными являются поликристаллические материалы, главным образом на основе галогенидов таллия и серебра.

Были тщательно изучены световоды на основе смешанных соединений бромидов и иодидов таллия. Конечно, высокий показатель преломления кристаллов галогенидов таллия (около 2,7) предполагает высокий уровень рассеяния в них. Однако граница колебательного поглощения у них сдвинута в длинноволновую инфракрасную область, что позволяет передавать инфракрасное излучение в таких материалах с длинами волн, на которых рассеяние уже значительно меньше. Согласно теоретическим оценкам можно изготовить монокристаллы галогенидов таллия с коэффициентом затухания менее 0,01 дБ/км на длинах волн, близких к 7 мкм. Однако в процессе получения поликристаллических световодов в них создается зернистая микроструктура, которая сильно рассеивает свет. Этот несобственный механизм рассеяния в совокупности с поглощением, обусловленным присутствием примесей, приводит к затуханию в поликристаллических световодах на основе галогенидов таллия в пределах от 150 до 400 дБ/км. Такой относительно небольшой уровень затухания, однако, сохраняется в широком диапазоне длин волн, охватывающем примерно от 6 до 15 мкм.

Другой материал для поликристаллических световодов состоит из серебра, хлора и брома. А. Кацир из Тель-Авивского университета получил световоды с затуханием менее 1000 дБ/км на длинах волн больше 6 мкм. Световоды как из галогенидов таллия, так и из галогенидов серебра могут передавать излучение лазера на диоксиде углерода с длиной волны 10,6 мкм. Поэтому эти материалы пригодны для передачи мощного лазерного излучения, например для таких применений, как лазерная хирургия.

**ВТОРОЙ КЛАСС** прозрачных в инфракрасной области спектра материалов для волоконной оптики образуют халькогенидные стекла. Их получают соединением металлов с более тяжелыми элементами кислородной группы - халькогенами, т. е. серой, селеном и теллуrom. Трисульфид мышьяка и триселенид мышьяка являются характерными представителями халькогенидных стекол. Электронное поглощение для трисульфида мышьяка лежит в середине видимой области спектра, для триселенида мышьяка - в ближней инфракрасной области. Поэтому первое стекло имеет красный цвет, а второе - черный.

у халькогенидных стекол высокий показатель преломления (между 2,4 и 2,7) и низкая температура стеклования (примерно 150-175 °С), в следст-



**СТЕКЛА НА ОСНОВЕ ФТОРИДОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ** являются наиболее перспективным материалом для волоконных световодов со сверхнизкими оптическими потерями. Прерывистая кривая (вверху) показывает результаты измерения затухания во фторидном стекле в четырех различных областях длин волн. Минимальное затухание в нем составило 4,3 дБ/км. Теоретически рассчитанный минимальный уровень собственных оптических потерь составляет 0,01 дБ/км (линия из точек). Расхождение между теоретическими и экспериментальными данными объясняется несобственным поглощением и рассеянием излучения. Затухание в световоде, изготовленном П. Франсом в Британской лаборатории дистанционной связи, представлено сплошной линией (внизу). На длинах волн в области 1 мкм часть оптических потерь обусловлена электронным поглощением металлическими примесями. Два пика на графике объясняются присутствием ионов меди и хрома, концентрация которых вместе со всеми другими примесями металлов составляет около 85 частей на миллиард. Ионы гидроксидов (попадающие в стекло в процессе его получения) сильно поглощают излучение в области длин волн около 3 мкм. При концентрации 1 часть на миллион ионы гидроксидов ослабляют излучение вблизи 3 мкм с коэффициентом затухания 10000 дБ/км.

вие чего они имеют низкое рэлеевское рассеяние\*.

Трисульфид мышьяка прозрачен примерно до 10 мкм, тогда как стекла на основе селена, атомный вес которого примерно в два раза выше, чем у серы, прозрачен уже примерно до 14 мкм.

В отличие от моно- и поликристаллических материалов халькогенидные стекла можно использовать для изготовления многокилометровых световодов с необходимыми диаметрами сердцевины и оболочки. Среди лучших халькогенидных световодов можно выделить световоды из трисульфида мышьяка, полученные в Японии Т. Канамори из фирмы Nippon Telegraph and Telephone Corporation. Минимальное затухание в них составляет 35 дБ/км на длине волны 2,4 мкм, хотя теоретически предсказываемое минимальное значение собственного оптического потерь для световодов из этого стекла равно 0,01 дБ/км на длинах волн вблизи 5 мкм. Большая часть оптических потерь в производимых сейчас халькогенидных световодах обусловлена присутствием в них примесных молекул воды и других водородсодержащих примесей. Но еще более серьезным недостатком халькогенидных световодов является сильное собственное электронное поглощение на дефектах структуры стекла, которое может ограничить величину минимально достижимых оптических потерь в этих стеклах на уровне 10 дБ/км.

Основной интерес к халькогенидным световодам в настоящее время обуславливается их способностью передавать инфракрасное излучение с длинами волн от 6 до 12 мкм на расстояния до нескольких метров. П. Придо из корпорации Galileo Electro-Optics изготовил халькогенидные световоды, сотни которых можно собрать в гибкий волоконно-оптический жгут, способный передавать простые инфракрасные изобра-

\* Вследствие высоких значений показателя преломления рэлеевское рассеяние в халькогенидных стеклах, несмотря на низкие температуры стеклования, довольно большое и превышает в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах в несколько раз рассеяние в кварцевых стеклах. В среднем же инфракрасном диапазоне, где световоды из кварцевых стекол уже непрозрачны, рэлеевское рассеяние в халькогенидных стеклах, благодаря своему быстрому уменьшению при увеличении длины волны, снижается на несколько порядков величины и становится ниже, чем в кварцевых стеклах. Именно поэтому в среднем инфракрасном диапазоне могут быть достигнуты меньшие, чем в кварцевых стеклах оптические потери. - *Прим. перев.*



ЗЕРНИСТАЯ МИКРОСТРУКТУРА поликристаллических световодов из галогенидов таллия рассеивает большую часть проходящего через них излучения. Поэтому затухание в таких световодах в 1000 раз превышает затухание в кварцевых световодах, несмотря на то что теоретически монокристаллы галогенидов таллия должны обладать лучшей прозрачностью, чем кварцевое стекло. Световоды из галогенидов таллия могут передавать мощное лазерное излучение, используемое в хирургии. Этот световод диаметром 75 мкм изготовлен Дж. Харрингтоном, когда он работал в Хьюджейской исследовательской лаборатории.

жения или информации о температуре предметов. Интенсивность инфракрасного излучения, испускаемого нагретым телом, растет с увеличением его температуры. Световоды могут передавать излучение к приемнику от удаленных предметов, что позволяет осуществлять дистанционный термометр. Процессы в газах и жидкостях или химические реакции, которые поглощают или излучают инфракрасный свет, могут контролироваться с диспетчерского пункта по светопроводным системам.

**ТРЕТИЙ КЛАСС** материалов для инфракрасных световодов включает стекла на основе Фторидов тяжелых металлов. Первые составы этого нового семейства стеклообразных материалов открыл в 1974 г. Мишель Пуле из Университета Ренне во Франции. В соответствии с планом диссертационной работы он пытался получить кристаллические соединения из смеси Фторидов циркония, бария, натрия и неодима. При охлаждении расплавленных образцов он заметил в них большие прозрачные включения. Хотя первоначально Пуле принял их за кристаллы, оказалось, что это было стекло. Мишель, его брат Марсель Пуле и Жак Лука затем открыли целое семейство новых стекол, которые теперь известны как стекла на основе фторидов тяжелых металлов.

Фактически в эти стекла может быть введен любой металл периодической системы. Однако с точки зрения хорошей прозрачности в инфракрасной области и простоты изготовления только ограниченное число составов стекол заслуживает тщательных исследований, а именно фторцирконатные, фторгафнатные и бариевотриевые стекла.

Измерения пропускания в образцах стекол из фторидов тяжелых металлов позволили выявить у них широ-

кую область высокой прозрачности, простирающуюся от 0,3 до 8 мкм. Эти стекла имеют небольшие температуры стеклования (около 300 °С) и близкие к кварцевому стеклу значения показателя преломления (1,5). Длинноволновая граница пропускания в инфракрасном диапазоне и низкий уровень рэлеевского рассеяния позволяют предположить, что в стеклах из Фторидов тяжелых металлов собственное затухание может быть на уровне 0,01 дБ/км.

Исходя из этих Оценок, данные стекла интенсивно исследуются в США, Великобритании и Японии как наиболее перспективные материалы для систем оптической связи с низкими потерями. В американской научно-исследовательской лаборатории ВМС Naval Research Laboratory и японской фирме Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation уже получены световоды из фторидных стекол длиной от 7 до 30 м с оптическими потерями от 0,7 до 0,9 дБ/км на длине волны 2,5 мкм. Прозрачность этих световодов значительно превосходит прозрачность всех других инфракрасных материалов и все же пока она в семь раз хуже, чем у лучших кварцевых волоконных световодов (не для инфракрасного излучения) и намного превышает собственный предел прозрачности для фторидных световодов.

Приблизиться к этому пределу можно только путем выявления источников несобственных потерь в световодах и управления ими. Детальное изучение поглощения и рассеяния света уже позволило выявить некоторые из таких источников. На длинах волн от 0,5 до 2 мкм затухание частично обуславливается электронным поглощением на примесях меди, хрома, никеля и железа. Загрязнение одной частью железа на миллион частей стекла, например, может вызвать зату-

хание в 15 дБ/км на длинах волн вблизи 2,5 мкм. Ионы гидроксила, попадающие в световод из исходных материалов или в процессе плавления стекла и получения световода, сильно поглощают инфракрасное излучение. Оценки показывают, что присутствие одной миллионной части ионов гидроксила в стекле может привести к затуханию, примерно равному 10000 дБ/км на длине волны 2,9 мкм. Хотя уже достигнуты значительные успехи в области очистки исходных компонентов, используемых при синтезе стекол, устранение несобственного рассеяния на мельчайших кристалликах и пузырьках остается еще нерешенной проблемой для Фторидных световодов.

Но даже при существующем уровне прозрачности стекла на основе Фторидов тяжелых металлов располагают широкими возможностями для практического применения. Так, Д. Прусс из фирмы Ogerwerk AG (ФРГ) использовал фторидные световоды в хирургии для регулирования потребления анестезирующих газов пациентами во время операции. В спектрах пропускания эти газы имеют характерную полосу поглощения в инфракрасном диапазоне, которую можно передать по световоду и контролировать. Таким образом можно изменять концентрацию анестезирующего газа, подаваемого больному с каждым вдохом.

В большинстве применений инфракрасные волоконные световоды используются просто для передачи излучения из одной точки в другую. Однако инфракрасные материалы можно также использовать и для создания специальных световодов, способных изменять амплитуду или длину волны проходящего через них излучения. Одним из таких применений является волоконно-оптический лазер. В сердцевину световода для волоконного лазера вводят небольшое количество ионов определенных редкоземельных элементов. Световод располагается между двумя отражающими зеркалами и в него вводится излучение лазера с определенной длиной волны, которое переводит редкоземельные ионы в высокоэнергетические состояния. При возвращении в состояния с более низкими энергиями возбужденные ионы излучают свет с большими длинами волн, чем исходное стимулирующее излучение лазера. Излучаемый свет усиливается, многократно проходя вперед и назад через световод и отражаясь от зеркал. Одно из зеркал полупрозрачно, чтобы высветить наружу часть излучаемого ионами света. Световод в этом случае ведет себя как компактный твердотельный ис-

точник лазерного излучения с длиной волн, значительно отличающимися от исходных. Изменение длины волны выходящего излучения можно регулировать изменением длины волны исходного излучения или подбором добавок различных редкоземельных ионов. Такие приборы, использующие световоды из Фторидов тяжелых металлов, могут эффективно применяться для генерации инфракрасного лазерного излучения, что не может быть достигнуто со световодами из кварцевых стекол.

**ПО НАШЕМУ** убеждению, именно световоды на основе Фторидов тяжелых металлов наиболее перспек-

тивны для достижения оптических потерь, меньших чем в лучших кварцевых световодах. Но перед тем как начать создание линий сверхдальней оптической связи, потребуется еще существенное продвижение в области очистки и изготовления таких световодов. В то же время инфракрасные световоды с оптическими потерями от 10 до 100 дБ/км уже сейчас могут использоваться в приборах медицинской диагностики, в линиях передачи мощного лазерного излучения, в системах дистанционного контроля, а также в качестве основного элемента волоконно-оптических лазеров. Применение световодов в этих областях сулит им блестящее будущее.

## Наука и общество

### Генная терапия набирает силу

**С**ЕГОДНЯ врачи еще не применяют на практике «пересадку генов в терапевтических целях. Это положение, возможно, изменится в ближайшие 5-10 лет, если три новые биотехнологические компании добьются успеха.

Целью генной терапии является лечение генетических дефектов и некоторых опасных для жизни заболеваний, обусловленных другими причинами, путем введения нового гена в генетическую систему пациента. «Современная наука позволяет надеяться, что это будет эффективным», — говорит А. Джолли, директор по научным исследованиям в недавно созданной компании Viagene в Сан-Диего, шт. Калифорния. Генная терапия может сделать реальным, например, лечение детей, страдающих тяжелыми иммунодефицитами или серповидноклеточной анемией: можно взять у больного клетки костного мозга, ввести в них нужные нормальные гены и вернуть эти клетки обратно в костный мозг, что обеспечит организм белками, которых ранее не хватало.

Но хотя первые результаты выглядят обнадеживающе, даже до простых программ генной терапии, как заметил Джолли, еще далеко. Трудно найти деньги на фундаментальные исследования для работ такого рода, и этот путь «слишком фундаментален» для больших компаний. Вследствие этого исследования переместились в только что созданные компании, а именно Viagene, Somatix в Кеймбридже (шт. Массачусетс) и Genetic Therapy

- Inc. в Гейтерсбурге, шт. Мэриленд.

Во всех трех компаниях предпринимаются попытки разработать усовершенствованные методы использования ретровирусов для переноса нормальных генов в клетки костного мозга. (Ретровирусы обладают способностью включать свои гены в генетический материал клетки-хозяина; поэтому такой вирус может служить вектором для введения «лечебного» гена в клетки больного.)

Помимо этого, каждая из перечисленных компаний преследует свои особые цели в области прикладных разработок генной терапии. Например, в фирме Somatix, в числе основателей которой Р. Миллиган из Института медико-биологических исследований Уайтхеда, ищут способы включать в ткань специфические гены для того, чтобы она непрерывно секретировала терапевтический агент, такой как белок, называемый фактором VIII, который необходим для свертывания крови и отсутствует у гемофиликов. Компания Genetic Therapy Inc. сосредоточила усилия на введении генов для лечения ряда раковых заболеваний. Эта фирма отличается от двух других компаний тем, что она является филиалом не университета, а государственного института - Национального института сердца, легких и крови. Необычное организационное положение является прямым следствием принятого два года назад закона, который позволяет национальным лабораториям переводить свои исследования на коммерческие рельсы, объединяясь с частными компаниями; несмотря на то что государственная власть держит в своих руках



все патентные права на совместные разработки, промышленный партнер имеет исключительное право на реализацию продукта на рынке.

Закон подоспел как раз вовремя для У. Стейнберга - главы «рисковой» капиталом фирмы Healthcare Investment в Эдисоне, шт. Нью-Джерси, - который уже давно намеревался создать компанию, занимающуюся геной терапией. Он помог организовать совместное соглашение по исследованию и развитию между научно-исследовательским институтом и только-только вставшей на ноги Genetic Therapy Inc. У. Андерсон, заведующий лабораторией в этом институте, возглавил совместные исследовательские работы. Несмотря на то что Андерсон остается в полном смысле государственным служащим и не получает доходов от Genetic Therapy Inc., его сотрудники будут работать в тесной связи с этой компанией.

К примеру, в октябре Национальные институты здоровья должны были рассмотреть заявку Андерсона и его коллег на проведение первых испытаний по геной терапии. Они предложили ввести маркерный ген в белые кровяные клетки, борющиеся с раковыми клетками, с целью следить за пролиферацией последних и тем самым за ходом лечения. По словам Андерсона, исследователи из Genetic Therapy Inc. будут, вероятно, помогать в проведении соответствующих текстов.

Несмотря на коммерческую активность, геной терапию по пятам преследуют проблемы. Критики продолжают обращаться к этической стороне изменения генетической структуры человека. Ученые парируют это тем, что они не вносят изменений в гены половых клеток, передающиеся потомству, что геной терапия по сути мало отличается от лечения лекарствами. Тем не менее, если методы геной терапии окажутся эффективными и безвредными, это направление ознаменует переустройство самой сущности здравоохранения.

### *Уйдут ли последние?*

**В** 50-Х ГОДАХ в США насчитывалось около 190 компаний, производящих телевизионную аппаратуру. К апрелю 1989 г., когда исполнится 50 лет со времени изобретения телевидения, возможно, не останется ни одной американской компании, выпускающей телевизоры.

В августе 1988 г. фирма Zenith Electronics в Гленвью (шт. Иллинойс) еще продавала свои телевизоры, большая же часть остальных 20 с

лишним телевизионных заводов в США принадлежит японским компаниям. Вот уже третий год подряд фирма Zenith терпит убытки от продажи телевизоров, и ходят упорные слухи, что она намеревается продать свое отделение, Производящее бытовую электронную аппаратуру.

В середине августа 1988 г. представители фирмы Zenith говорили, что ее руководство «продолжает изучать все имеющиеся возможности, чтобы сделать фирму вновь прибыльной». Однако, как заметил Дж. Рейли, президент чикагской компании Wells-Garden Electronics, «на телевизорах денег не сделаешь». Эта компания за-крыла свой конвейер сборки телевизоров в мае.

Хотя в 1987 г. фирмы-изготовители продали более 19 млн. цветных телевизоров, представители этих фирм говорят, что цены на телевизоры сейчас слишком низки, чтобы их производство было прибыльным. Конкуренция между компаниями, Производящими телевизоры, начавшаяся в 50-х годах, обострилась еще больше, когда на американском рынке появились телевизоры сначала японских, а затем и южно-корейских фирм.

«Все проведенные в последнее время исследования показывают, что телевизионная промышленность терпит убытки», - отмечает Дэвид Лакенбрук, редактор журнала Television Digest, освещающего положения дел в этой отрасли. «Японские фирмы находятся не в лучшем положении, чем американские», - добавляет он.

Согласно годовым отчетам фирмы Zenith, если бы в 1985 г. цены остались теми же, что и в 1984 г., то фирма получила бы от продажи своих телевизоров и видеоманитофонов прибыль приблизительно 98 млн. долл. (До вычета налогов). На самом деле, в 1985 г. прибыль составила чуть больше четверти этой суммы. В то же время доходы, которые принесли фирме Zenith ее предприятия, выпускающие компьютерные системы и компоненты, подскочили В прошлом году на 73 млн. долл.

И все же, несмотря на такую ситуацию, у американских электронных компаний постепенно возрастает интерес к следующему поколению телевизионной аппаратуры, отличающемуся более высоким разрешением, или улучшенным изображением. Новая аппаратура должна обеспечивать передачу в эфир значительно больших объемов информации по сравнению с современным телевидением, при этом четкость изображения на экранах бытовых телевизоров становится такой же, как в кино.

Как считает Джек С. Фурер, директор телевизионного отдела научно-исследовательского центра Дэвида Сарноффа в Принстоне (шт. Нью-Джерси), все это потребует создания новых телевизионных приемников, обладающих оперативной памятью емкостью примерно 1 Мбайт, т. е. примерно такой же, как и у небольших персональных компьютеров. И хотя ни у кого еще нет уверенности в том, что американцы захотят платить больше за изображение лучшего качества, Американская ассоциация электронной промышленности (ААЭП) уже рекламирует телевидение с улучшенным изображением как потенциально важный рынок для фирм, производящих электронную технику. В электронной промышленности «эта технология пересекается практически с любым производством, говорит Р. Элкус, сопредседатель комитета ААЭП по телевидению с улучшенным изображением. По его прогнозам, компании, которые вложат крупные средства в «новое телевидение», будут также доминировать и в других отраслях, включая производство полупроводниковых устройств.

Телевидение высокого разрешения пока остается скорее идеей, чем продукцией. В настоящее время ведутся горячие споры по поводу технических стандартов, которые могли бы быть приняты в США в этой области. Большинство телевизионных систем высокого разрешения, предложенных японскими и европейскими компаниями, будут несовместимы с существующими телевизионными приемниками и заставят потребителей в США покупать новые телевизоры. Несколько исследовательских групп, в частности упомянутый отдел в центре Сарноффа, в настоящее время проводят эксперименты, пытаются найти способы передачи совместимых (хотя и дающих менее четкое изображение) сигналов, с тем чтобы впоследствии усовершенствовать эти способы и достигнуть высокого разрешения.

Но даже если телевидение с улучшенным изображением станет реальностью, отмечает Роберт Б. Хансен, президент отделения фирмы Zenith, производящего бытовую электронную аппаратуру, вопрос о ценах остается главным. В своем недавнем письме, адресованном федеральной комиссии по средствам связи США, Хансен писал: «Будут действовать те же факторы, которые уже вытеснили с американского рынка бытовую электронную аппаратуру, производимую в США. Телевидение с улучшенным изображением едва ли изменит существующие тенденции, независимо от того, чья система будет принята».

# Эволюция выпрямленного способа передвижения у человека

*Как показывает анализ строения таза «Люси» - самки гоминида, жившей 3 млн. лет назад, она передвигалась на двух ногах столь же легко, как и современный человек. Бипедия, или двуногость, возможно, возникла на самой ранней фазе эволюции человека*

К. ОУЭН ЛАВДЖОЙ

**Б**ОЛЬШАЯ МАССА головного мозга и способность изготавливать и использовать сложные орудия - несомненно, главные особенности, отличающие человека от других животных. Однако нас отличает и третья особенность: выпрямленный способ передвижения, который присущ только человеку и его непосредственным предкам. Все остальные приматы по сути четвероногие и не без основания: передвижение на двух ногах вместо четырех имеет много недостатков. Оно лишает нас быстроты и ловкости, делает почти неспособными лазить на деревья, где растет такая важная для приматов еда, как фрукты и орехи.

На протяжении почти столетия эволюционисты утверждали, что столь необычный способ передвижения развился у предков человека потому, что он освобождал им руки. При помощи рук они могли переносить орудия, которые научились изготавливать благодаря своему увеличившемуся мозгу. Однако за последние два десятилетия возросли наши знания об ископаемых предках человека. Ни уникальный мозг, ни способность изготавливать каменные орудия не свойственны древнейшим из ныне известных наших предшественников - австралопитекам, жившим три и более миллионов лет назад. В то же время строение некоторых частей их скелета имеет отчетливые признаки бипедии, или двуногости.

Как давно предки человека перешли к прямохождению? Была ли бипедия полностью развита у гоминид 3 млн. лет назад или же они иногда продолжали использовать все четыре конечности для бега и лазанья по деревьям? Ответы на эти вопросы могут разгадать роль бипедии на ран-

них стадиях эволюции человека. Если прямохождение было вполне сформировано уже у австралопитеков, его возникновение может быть датировано стадией древнейших гоминид, ветвь которых отделил ась от других приматов, вероятно, 8-10 млн. лет назад. Развитие бипедии, возможно, было решающим исходным событием в эволюции человека.

Я высказал предположение, что бипедия сопровождалась рядом поведенческих адаптаций, ставших ключевыми эволюционными новшествами у ранних предшественников человека. Эти адаптации включали, по существу, ядерную семью, т. е. длительную моногамию наряду с заботой о потомстве со стороны обоих родителей. Вклад представителей мужского пола состоял в обеспечении семьи высокоэнергетической пищей, которая увеличивала возможности матери вынуждать и заботиться каждого детеныша, а также позволяла ей чаще рожать. Бипедия фигурирует в этой новой репродуктивной схеме потому, что, освободив руки, самцы могли издалека принести самкам добытую ими пищу. Эти изменения, вероятно, происходили задолго до того периода, к которому относятся найденные костные остатки ископаемых гоминид.

**ИЗ** ВЫШЕСКАЗАННОГО следует, что прямохождение как способ передвижения должно было значительно усовершенствоваться к тому времени, когда жила самка австралопитека, костные остатки которой послужили доказательством раннего возникновения прямохождения. Эти остатки в виде неполного скелета были обнаружены в 1974 г. во впадине Афар (Эфиопия) Дональдом К. Джо-

хансоном из Института происхождения человека в Беркли (шт. Калифорния), который длительное время занимался поисками человеческих предков в том районе. Скелет «Люси» (такое имя дали исследователи нашему далекому предку) был зарегистрирован под номером A. L. 288-1. Хотя скелет был далеко не полный, в нем сохранилось намного больше деталей, чем в аналогичных ископаемых находках, в частности многие кости нижних конечностей, одна из безымянных костей, которая в паре с другой такой же составляла таз, а также неповрежденный крестец (сросшиеся позвонки в задней части таза). Возможность прямохождения настолько зависит от строения таза, что анализ этой части скелета позволяет выяснить, насколько успешно Люси и ее современники передвигались на двух ногах.

Различия в строении таза двуногих и четвероногих существ обусловлены тем, что у них разные способы передвижения. Для того чтобы передвигаться, любое наземное млекопитающее должно приложить к земле силу, направление которой противоположно направлению движения. Это достигается за счет выпрямления суставов конечностей, расположенных между поверхностью земли и центром масс животного. Выпрямление конечности вызывает «реакцию земли (реакцию опоры), благодаря которой туловище перемещается в направлении, зависящем от величины угла между ногой и поверхностью земли.

При передвижении на четырех ногах у большинства приматов центр масс находится далеко впереди от задних конечностей, поэтому реакция опоры, возникающая при выпрямле-



ТАЗ современной женщины (*вверху*) и Люси (*внизу*). Разделенные 3 млн. лет эволюционного развития, эти части скелета имеют одинаковые признаки бипедии. Главное отличие человеческого таза - более округлая форма - обусловлено расширением родового канала в связи с увеличе-

нием объема мозга у гоминид, живших после Люси. Таз Люси был восстановлен из фоссилезированных фрагментов автором статьи и Барбарой Браун; фотография сделана Лэрри Рубенсом из Кентского университета.

нии этих конечностей, имеет большую горизонтальную составляющую. Из-за того что бедренный и коленный суставы задних конечностей в начале каждого цикла сильно согнуты, их выпрямление может быть продолжительным и мощным.

У нас, прямоходящих, центр масс находится почти непосредственно над ступнями. Если мы встанем прямо,

выпрямив ноги в коленях, то реакция опоры будет направлена вертикально вверх. Чтобы начать движение из этого положения, мы должны немного наклониться вперед, сместив тем самым центр масс. Одновременно с этим одна нога выбрасывается вперед, предотвращая тело от падения, а другая, приподнимаясь на носке, создает реакцию опоры. При этом от-

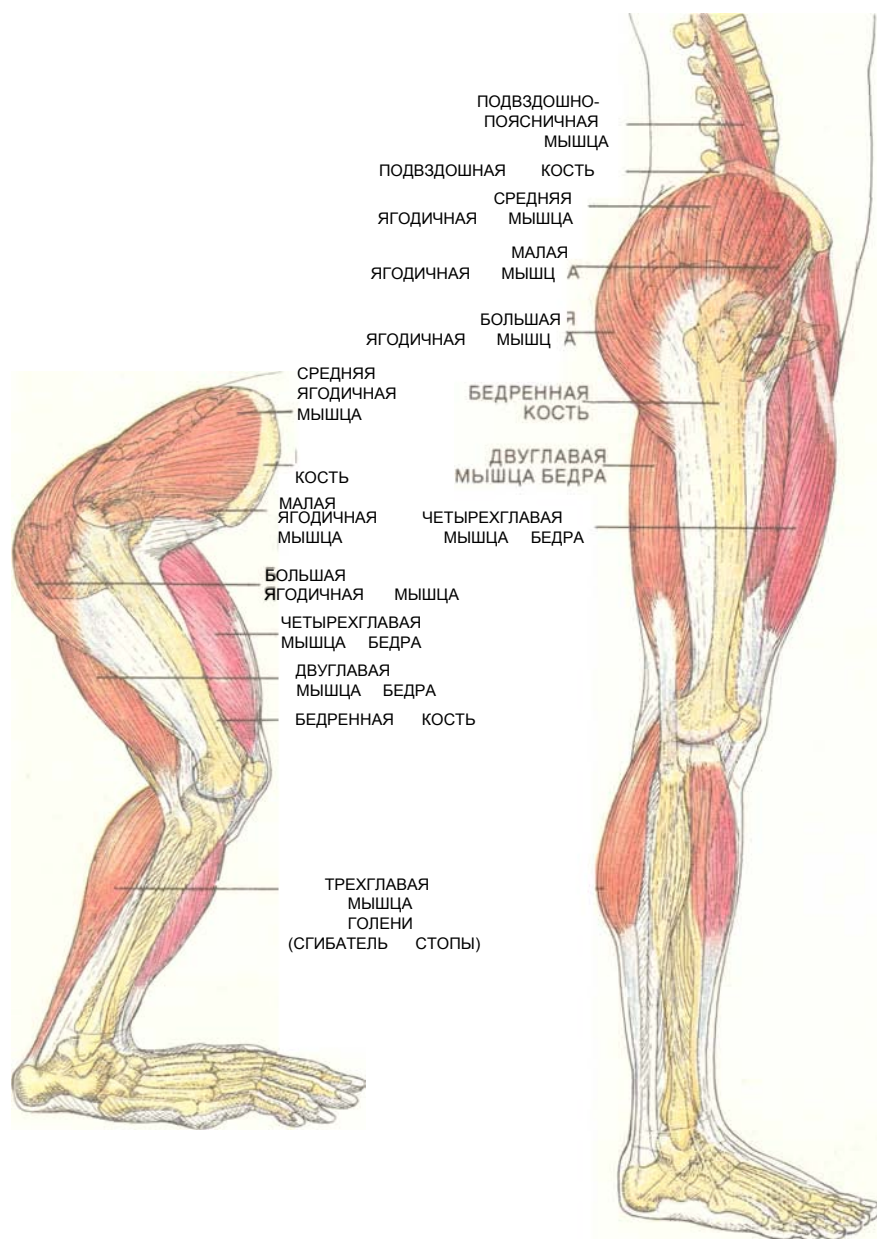
талкивание от земли, или от опоры, относительно слабое, поскольку вертикальная составляющая реакции опоры значительно превосходит горизонтальную, а также потому, что находящаяся позади нога уже почти до предела выпрямлена (выпрямлены ее коленный и тазобедренный суставы).

С развитием бипедии менялись роли большинства групп мышц нижних конечностей, что в свою очередь привело к изменениям в строении и положении мышц этих конечностей, а следовательно, и в строении таза. Эти «конструктивные изменения можно продемонстрировать, сравнив таз человека с тазом нашего ближайшего родственника - шимпанзе.

Необходимостью стабилизировать находящееся в вертикальном положении туловище обусловлено наиболее значительное изменение мускулатуры, связанное с переходом к прямохождению, - трансформация большой ягодичной мышцы из относительно небольшой у шимпанзе в самую крупную мышцу человеческого тела. Большая ягодичная мышца занимает Большую часть задней поверхности таза и прикрепляется сзади и сбоку в верхней части бедренной кости. Она определяется как разгибатель тазобедренного сустава и, как полагали многие анатомы, служит при прямохождении основной мышцей, за счет которой осуществляется поступательное движение вперед. Считалось, что, выпрямляя тазобедренный сустав, большая ягодичная мышца увеличивает реакцию опоры, которую создает находящаяся позади нога.

В действительности вклад этой мышцы в движение ограничен из-за того, что у человека тазобедренный сустав почти полностью разогнут с самого начала во время ходьбы и бега. Гипертрофия большой ягодичной мышцы у человека отражает совершенно иную функцию. При беге мы с силой отталкиваемся каждой ногой от земли, которая сообщает нашему туловищу движение вперед, при этом туловище, двигаясь по инерции, стремится согнуться в сторону движения. Роль большой ягодичной мышцы состоит в том, чтобы удерживать туловище в устойчивом положении.

Изменение в строении таза значительно облегчило стабилизирующую функцию большой ягодичной мышцы. Над каждой безымянной костью таза находится крыло подвздошной кости; Большая часть внутренних органов, расположенных в нижней части живота, помещается в пространстве между двумя подвздошными костями. У шимпанзе и других приматов подвздошные кости гораз-



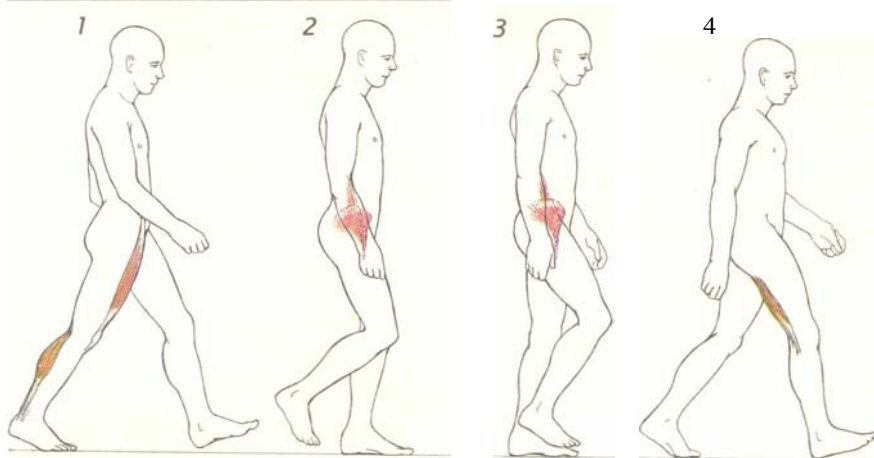
ТАЗ И НОГА шимпанзе (слева) и человека (справа) отражают особенности передвижения на четырех и двух ногах. В мускулатуре таза шимпанзе доминируют средняя и малая ягодичные мышцы, которые позволяют животному передвигаться за счет разгибания тазобедренного сустава. Этим мышцам помогает двуглавая мышца бедра. У человека доминирующей является большая ягодичная мышца; она выполняет новую функцию стабилизации выпрямленного туловища. (Укорочение подвздошных костей приводит к тому, что центр масс туловища располагается ниже.) Другие основные группы мышц, такие как средняя и малая ягодичные и подвздошно-поясничная, также выполняют новые дополнительные функции при прямохождении. Лишь две группы мышц - четырехглавая мышца бедра и сгибатели стопы - по-прежнему служат для создания реакции опоры.

до длиннее, чем у человека, и они как бы удлиняют туловище. Когда эти приматы встают на задние конечности, центр масс у них располагается намного выше тазобедренных суставов. (Пользуясь терминами механики, у их туловища длинное плечо рычага.) В таком положении эти животные не могут оставаться длительное время, поскольку их ягодичные мышцы, когда они удерживают туловище вертикально, быстро устают. Значительное укорочение подвздошных костей у человека привело к укорачиванию его туловища; в результате центр масс приблизился к тазобедренным суставам, и тем самым нагрузка на ягодичную мышцу уменьшилась.

**Б**ЛАГОДАРЯ своей большой длине подвздошные кости человекообразных обезьян хорошо приспособлены и для второй группы мышц, видоизменившихся при переходе наших предков к прямохождению, - передних ягодичных, состоящих из средней ягодичной и малой ягодичной мышц. У шимпанзе эти мышцы сокращаются между местами их прикрепления, находящимися возле верхнего края подвздошной кости и на наружной поверхности бедренной кости в верхней ее части. Благодаря своему положению они служат разгибателями тазобедренного сустава при передвижении на четырех конечностях, а поскольку подвздошные кости у обезьян длинные, мышцы могут сокращаться на большом расстоянии. Человеку несвойственна эта почти универсальная скелетная особенность других приматов - разгибание тазобедренного сустава не имеет особого значения при передвижении на двух ногах. Передние ягодичные мышцы у человека выполняют новую роль.

Эту роль можно лучше всего представить, если посмотреть на идущего человека сверху. Как только пятка ведущей ноги опускается на землю, другая нога отрывается от земли и начинает двигаться вперед. Пока это происходит, туловище поддерживается только одним тазобедренным суставом, расположенным в стороне от центра масс туловища. Сами по себе таз и туловище кренятся бы при каждом шаге в ту сторону, где нет опоры, и человек быстро бы уставал. Передние ягодичные мышцы, которые также называют у человека отводящими мышцами, или абдукторами, позволяют избежать этого.

Трансформация передних ягодичных мышц из толкателей в стабилизаторы потребовала значительных изменений в их положении. Вид сверху на тазовые кости шимпанзе и человека позволяет увидеть радикальную переориентацию крыльев подвздош-

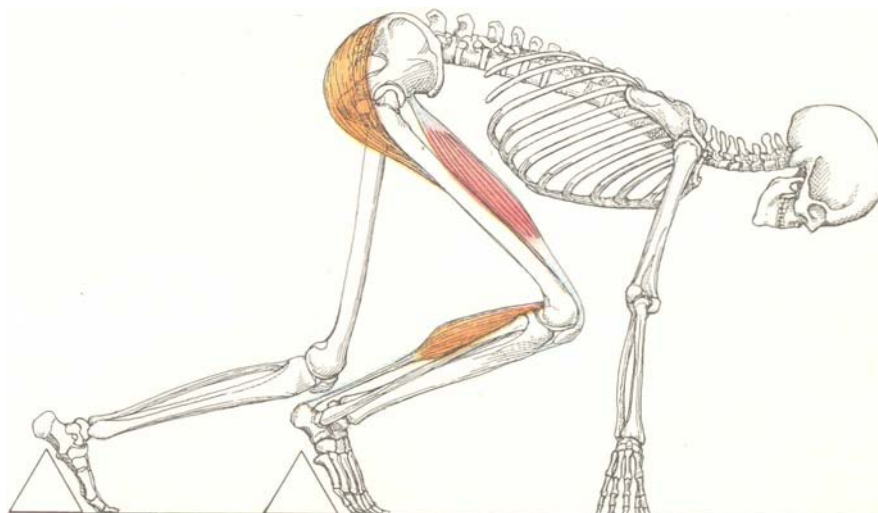


**МЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ** во время ходьбы (схематическое изображение). Нога, на которую опирается туловище (в данном случае правая), распрямляется с помощью двух групп мышц (1), вызывая реакцию опоры, позволяющую человеку двигаться вперед. Эти группы мышц - сгибатели стопы, поворачивающие стопу вокруг лодыжки, и четырехглавая мышца бедра, выпрямляющая коленный сустав. Затем стопа отрывается от земли; в этот момент туловище опирается на левую ногу. Сокращение подвздошно-поясничной мышцы заставляет двигаться правую ногу вперед (2); одновременно происходит пассивное сгибание ноги в колене (3). Почти в конце движения ноги сокращаются мышцы, сухожилия которых ограничивают подколенную ямку, и нога останавливается, а ступня опускается на землю (4). Левая нога в свою очередь начинает производить движение, вызывающее реакцию опоры.

ной кости у человека. У шимпанзе они плоские и лежат почти в одной плоскости, проведенной через заднюю часть туловища. У человека каждая подвздошная кость повернута вперед, а вслед за ней - и верхняя точка прикрепления отводящих мышц. Нижняя точка их прикрепления лежит на наружной части бедренной кости в том

ее месте, где она образует шейку, под углом соединяющуюся с тазом в тазобедренном суставе. Таким образом, абдукторы располагаются у человека латерально, кнаружи от тазобедренных суставов, что позволяет им поддерживать равновесие таза, несмотря на вес туловища.

Переориентация подвздошных ко-



**СПРИНТЕР** на старте пользуется преимуществами четвероногого способа передвижения: тазобедренный и коленный суставы сильно согнуты, и тем самым конечности подготовлены к мощному выпрямлению. Центр масс туловища находится при этом впереди нижних конечностей, за счет чего реакция опоры имеет большую горизонтальную составляющую. При обычной ходьбе и беге эти преимущества отсутствуют. Когда тело выпрямлено, тазобедренный и коленный суставы почти полностью разогнуты, а центр масс туловища находится почти непосредственно над нижними конечностями. Все это приводит к уменьшению горизонтальной составляющей реакции опоры во время движения.



**ОТВОДЯЩИЕ МЫШЦЫ** (средняя и малая ягодичные), сокращаясь, уравнивают туловище, когда таз человека (*вверху*) опирается только на одну ногу. Тазобедренный сустав действует как балансирующая опора, к одной стороне которой приложен вес туловища и другой ноги, а к другой - сила действия абдуктора. Абдукторы имеют небольшое плечо рычага, поскольку тазобедренный сустав значительно удален от центра масс туловища. В тазобедренной части скелета Люси (*внизу*) плечо рычага туловища больше, чем у человека, но за счет более выступающих в сторону подвздошных костей и более длинной шейки бедра абдукторы помещались дальше от тазобедренного сустава, получая тем самым выигрыш в силе.

стей потребовала еще двух изменений в строении таза. Если бы эти кости были просто повернуты вперед, расстояние между ними резко сузилось, не оставив тем самым места для внутренних органов нижней части туловища. В качестве компенсации крестец, разделяющий подвздошные кости в спинной части таза, стал более широким, а сами эти кости изменили свою форму - стали вогнутыми; в результате изгиб, приведший к переориентации абдукторов, сместился к латеральной части, поэтому пространство внутри таза увеличилось.

Однако за счет увеличения расстояния между тазобедренными суставами это расширение таза в центральной части привело бы к значительным механическим нагрузкам на абдукторы. Сила, которую должны развивать абдукторы, чтобы таз мог удерживать туловище, зависит отчасти от того, насколько тазобедренные суставы удалены в сторону от центра масс туловища. Чем больше расстояние между этими суставами, тем длиннее плечо рычага туловища и тем сильнее должны сокращаться мышцы, чтобы удерживать туловище в равновесии. В этом случае они быстрее бы уставали во время ходьбы; кроме того, возникла бы угроза разрушения самих тазобедренных суставов, поскольку к ним приложен как вес туловища, так и сила сокращения отводящих мышц.

Вид спереди на таз человека позволяет понять, как эволюция «справилась с этой проблемой». Собственное плечо рычага абдуктора может быть увеличено, если верхние и нижние точки прикрепления мышц расположить дальше от тазобедренного сустава. Это достигается с помощью двух особенностей человеческого таза. Сложный профиль подвздошной кости человека имеет направленный вовне изгиб, за счет чего верхняя точка прикрепления абдуктора помещается сбоку от тазобедренного сустава. Кроме того, шейка бедренной кости у человека длиннее, чем у шимпанзе. Это приводит к тому, что нижняя точка прикрепления абдуктора также смещается кнаружи, увеличивая выигрыш в силе.

**ТАКИМ ОБРАЗОМ**, одна группа мышц - передние ягодичные, которые у шимпанзе служили для движения вперед, у человека стали выполнять функцию стабилизации таза. В новой роли выступают и те мышцы, сухожилия которых ограничивают с боков подколенную ямку. Они соединяют нижнюю часть таза с задней поверхностью бедра и при передвижении на четырех конечностях служат мощными разгибателями тазобедренного сустава, которые создают

еще большую реакцию опоры, чем передние ягодичные мышцы. При передвижении на двух ногах, напротив, они служат не для разгибания конечности, а для завершения цикла ее движения.

Двуногое существо должно быстро выбрасывать вперед ту или другую ногу в момент, когда на нее не опирается туловище. Поскольку при этом нога переносится вперед почти полностью выпрямленной (у четвероногих, наоборот, переносимая вперед конечность сильно согнута), ее центр масс находится далеко от таза. Подобно длинному маятнику, выпрямленная нога обладает значительным моментом инерции, и необходимы большие мышечные усилия, чтобы начать, а затем остановить ее движение. Подвздошно-поясничная мышца, начинающаяся внутри таза и выходящая вперед к месту своего прикрепления на бедренной кости чуть ниже тазобедренного сустава, сокращаясь, заставляет ногу двигаться вперед. Замедляют же ее движение подколенные сухожилия, которые у человека расположены почти так же, как и у других приматов.

Таким образом, несколько мышечных групп, которые позволяют шимпанзе двигаться вперед, у человека служат для стабилизации таза и контроля движения нижних конечностей. Лишь две группы мышц - четырехглавая мышца бедра и сгибатели стопы - остаются в таком положении, которое позволяет им произвести действие, вызывающее реакцию опоры. Четырехглавая мышца бедра человека состоит из четырех мышц, расположенных в основном в передней части бедра человека. Она заканчивается мощным сухожилием, которое пересекает надколенную чашечку и прикрепляется к верхушке большеберцовой кости - основной кости нижней части ноги человека.

Когда во время ходьбы или бега нога, находящаяся позади туловища, сгибается под его тяжестью, мощная четырехглавая мышца сокращается и выпрямляет коленный сустав. Сгибатели стопы, начинающиеся на задней стороне костей нижней части ноги и прикрепленные к пяточной кости с помощью ахиллова сухожилия, сокращаются синхронно с четырехглавой мышцей и заставляют стопу поворачиваться вокруг лодыжки. За счет выпрямления коленного сустава и поворота стопы ноги, находящейся позади туловища, достигается необходимая реакция опоры.

**НАСКОЛЬКО** развит был этот набор мускульных адаптаций у Люси и ей подобных, если судить по ископаемым остаткам? Упомянутая

находка включает почти целый крестец, но прилежавшая к нему подвздошная кость была сломана и частично разрушена; она состояла из 40 отдельных фрагментов, сцементированных в единую массу матричной породой камня, в которой она сохранилась. Нередко ископаемые кости, найденные в таком состоянии, могут быть разделены на фрагменты, а затем восстановлены из кусочков, как в картинке-загадке. Обломки безымянной кости Люси, однако, нельзя было отделить, не повредив их. Тогда я сделал слепки с каждого костного фрагмента и соединил их, как того требовал анатомический порядок; восстановленная безымянная кость была затем скопирована в зеркальном отображении, чтобы получить симметричный ей экземпляр. В результате был целиком реконструирован таз одного из предшественников человека, жившего почти 3 млн. лет назад.

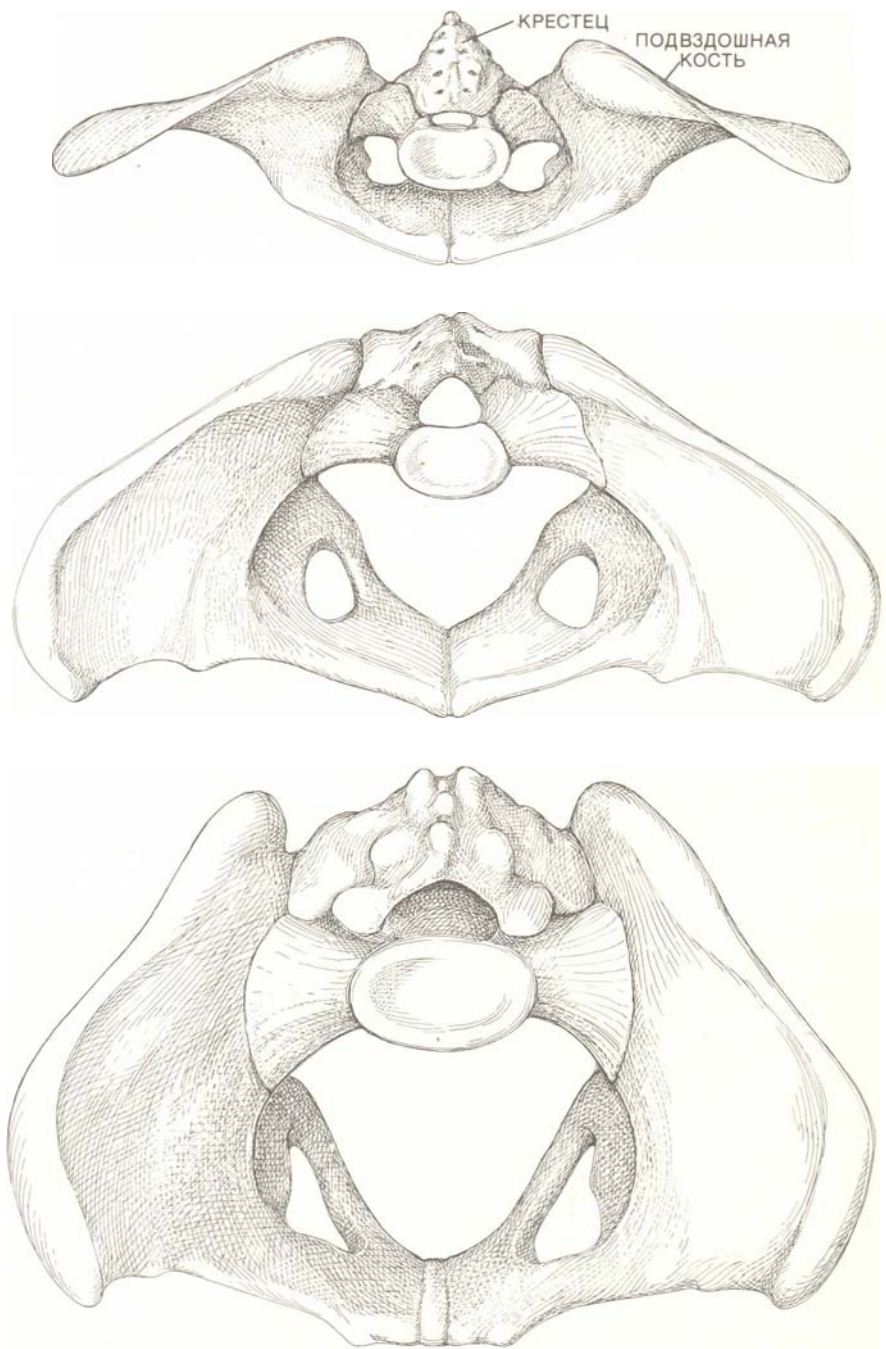
Строение таза Люси имеет все признаки бипедии, характерные для таза современного человека. Его подвздошные кости намного короче, чем у человекообразных обезьян. Это укорочение привело к понижению центра масс туловища, в результате его стало легче удерживать в вертикальном положении. Подвздошные кости также стали изогнутыми, чтобы обеспечить латеральное прикрепление отводящих мышц и стабилизировать тем самым таз в момент, когда при ходьбе он поддерживается только одной ногой. На ископаемых костях видны места прикрепления таких мышц, как большая ягодичная, абдукторы и четырехглавая, и при их рассмотрении можно сделать вывод, что у Люси размеры и расположение этих мышц удивительно сходны с таковыми у человека. То же самое справедливо и в отношении подвздошно-поясничной мышцы (сгибателя тазобедренного сустава), при сокращении которой начинается выброс ноги вперед: бороздка на краю таза, впереди тазобедренного сустава, соответствует такой же особенности человеческого таза, указывающей на ход мышечных волокон.

В одном отношении Люси была, пожалуй, даже лучше приспособлена к хождению на двух ногах, чем мы с вами. Ее подвздошные кости более резко выступают кнаружи, а шейка бедра длиннее, чем у современного человека. Тем самым отводящие мышцы получали больший выигрыш в силе по сравнению с таковыми у современных женщин. Правда, в немалой степени этот выигрыш в силе был лишь компенсацией за шире расставленные тазобедренные суставы Люси (за счет чего плечо рычага туловища удлинилось). И все же тщательные из-

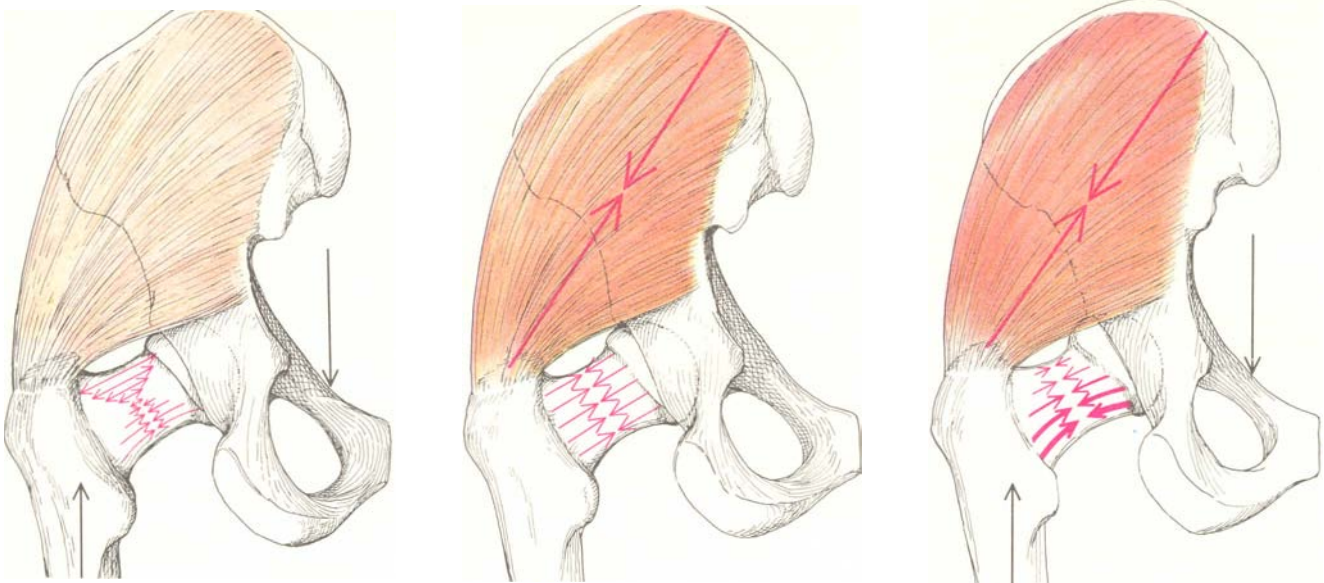
мерения плеч рычагов, как туловища, так и абдуктора, - возможные благодаря тому, что таз Люси на редкость хорошо сохранился - показывают, что по сравнению с нашими ее отводящие мышцы имели больший выигрыш в силе. Для стабилизации

таза им требовалось меньше усилие, что в свою очередь уменьшало давление на суставные поверхности.

Почему же гоминид, живший 3 млн. лет назад, обладал этим механическим преимуществом перед своими потомками? Ответ на данный во-



**ПОВОРОТ ПОДВЗДОШНЫХ КОСТЕЙ** происходил по мере того, как предки человека стали ходить на двух ногах. Подвздошные кости таза четвероногой человекообразной обезьяны, такой как шимпанзе (*вверху*), почти плоско расположены в спинной части туловища (на рисунке показан вид сверху). У Люси (*в середине*) они изогнуты, за счет чего обеспечивается латеральное расположение мест прикрепления отводящих мышц и стабилизация таза во время ходьбы. Изгиб произошел в части таза, удаленной от его центра, в результате освободилось место для внутренностей. Кроме того, расширен крестец, разделяющий подвздошные кости. Эти особенности сохранились и у современного человека, таз которого (*внизу*) расширился, в результате чего образовался более округлый родовый канал.



**ШЕЙКА БЕДРА** (*вид сзади*) во время ходьбы испытывает напряжение на изгиб (*слева*) под действием веса туловища (в верхней части она растягивается, а в нижней - сжимается) и одновременно сжатие по всей длине со стороны

абдуктора, действующего почти параллельно ей (*в середине*). В результате возникает градиент напряжений, возрастающих сверху вниз. В нижней части шейка бедра испытывает максимальное напряжение сжатия (*справа*).

прос связан с ускоренным развитием мозга человека, которое происходило на протяжении этих 3 млн. лет. Таз Люси, несомненно, предназначен для передвижения на двух ногах. Выступающие подвздошные кости и длинные шейки бедра увеличили плечо рычага абдукторов, но сформировали таз, который, если взглянуть на него сверху, несколько вытянут в поперечном направлении, в результате чего родовый канал был широким, но как

бы сжатым. Для Люси такое строение таза было «приемлемым» - она жила до начала резкого увеличения объема мозга. Череп ее детеныша, вероятно, был не более черепа новорожденного шимпанзе. Процесс родов у Люси был несколько сложнее, чем у человекообразных обезьян, но значительно легче, чем у современных женщин (см. рисунок на с. 71).

По мере увеличения мозга у предков человека тазовое отверстие стано-

вилось более округлым. В результате уменьшился выступание подвздошных костей, что привело к укорочению плеча рычага абдуктора у современного человека. (Эти изменения менее выражены у мужчин, у которых абдукторы сохранили до некоторой степени больший выигрыш в силе.) Между тем у современного человека увеличилась головка бедренной кости, чтобы противостоять возросшим нагрузкам на нее со стороны более напряженно работающих абдукторов. Трудность совмещения в одной и той же тазовой структуре таких различных задач, как эффективная работа тазобедренного сустава при передвижении на двух ногах и обеспечение адекватных родовых путей для ребенка с крупным мозгом, остается, однако, непреодоленной, и процесс родов у человека - один из самых тяжелых в царстве животных.



**ВНУТРЕННИЕ СТРУКТУРЫ** шейки бедра (поперечные сечения). Шейка бедра шимпанзе (*слева*) имеет высокую плотность костного вещества и гребень, увеличивающий ее прочность (виден как выступ). Эти особенности позволяют шейке бедра шимпанзе выдерживать сильные нагрузки при лазанье по деревьям и прыжках. Шейка бедра человека (*в середине*) имеет сверху лишь тонкий слой костного вещества. Она приспособлена только к нагрузкам, испытываемым при ходьбе и беге, когда отводящие мышцы компенсируют напряжение, возникающее в верхней ее части. Шейка бедра, принадлежавшая современной Люси (*справа*), имеет ту же структуру, что и человеческая кость. Она спустилась только для передвижения на двух ногах.

**БЛИЗКОЕ** сходство таза Люси с таковым у современного человека и его разительное отличие от таза шимпанзе с очевидностью свидетельствуют, что она ходила, полностью выпрямившись. Но было ли хождение на двух ногах обычным для Люси? Отказалась ли она от других способов локомоции? Мышечные изменения, способствовавшие прямохождению, делали невозможным эффективное передвижение по земле на четырех конечностях. Но, может быть, Люси часто забиралась на деревья и карабкалась по ним, как это делает большинство приматов, используя все четыре конечности.

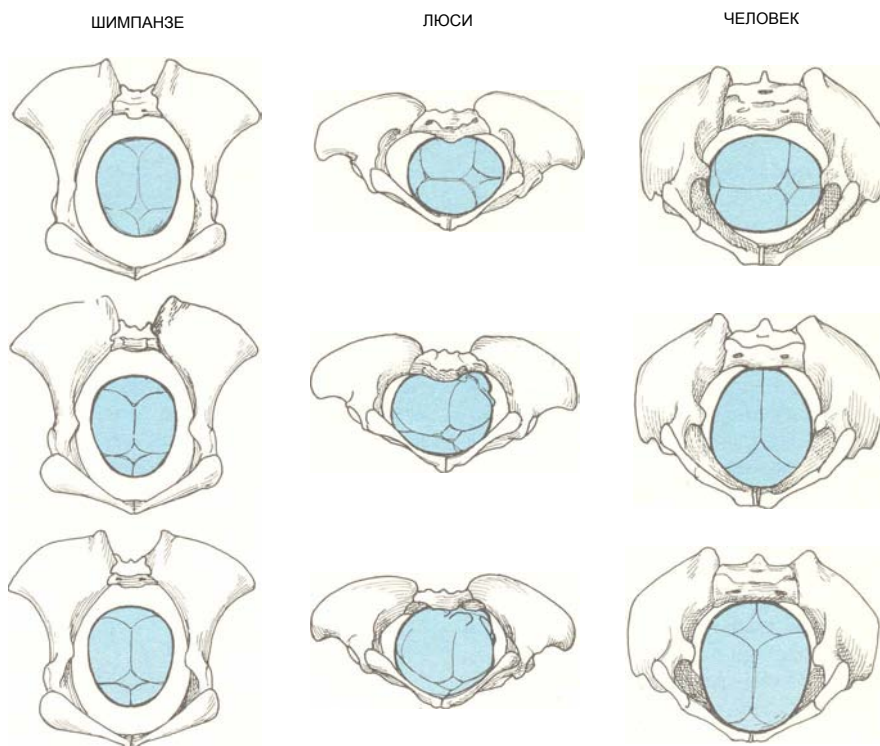


Согласно основным эволюционным принципам, у вида не может развиваться специализированная анатомическая модификация, связанная с определенным типом поведения, таким как передвижение на двух ногах, если этот тип поведения не становится присущим представителям данного вида. Для того чтобы в результате естественного отбора со скелетом, унаследованным Люси, произошли такие глубокие изменения, приведшие к двуногости, ее предки должны были уже проводить на земле значительное время, передвигаясь в выпрямленном положении. Однако анализ ископаемых остатков Люси может дать и более прямые доказательства прямохождения.

Рассмотрим действие шейки бедра, испытывающей значительные нагрузки при передвижении. В момент когда нога служит опорой для туловища, тазобедренный сустав передает вес туловища на шейку бедра. Шейка действует как консольная балка, один конец которой прикреплен к несущей конструкции (диафизу бедренной кости), а другой находится под нагрузкой. При ходьбе в шейке возникают высокие нагрузки на изгиб: нижняя ее часть испытывает сжатие, а верхняя - растяжение; причем эти нагрузки растут по мере увеличения длины шейки. Длинная шейка бедра, такая как у Люси, уменьшает нагрузку на тазобедренный сустав за счет того, что абдуктор получает выигрыш в силе, но сама шейка при этом испытывает большие нагрузки на изгиб.

Шейка бедра у шимпанзе намного короче, чем у современного человека. Тем не менее ее массивная конструкция позволяет противостоять нагрузкам, возникающим во время передвижения животного. В центре поперечного сечения этой кости находится заполненный костным мозгом канал, окруженный толстым слоем плотного костного вещества. Даже очень плотная кость оказывается менее прочной при растяжении, чем при сжатии; поэтому верхняя половина шейки бедра, которая при изгибе испытывает растяжение, имеет более толстый слой костного вещества. Наличие плотного костного гребня (острый выступ на поперечном срезе) делает шейку бедра шимпанзе похожей на двутавровую балку, которая имеет повышенную прочность на изгиб.

Поскольку у человека шейка бедра длиннее, чем у шимпанзе, и к ней приложен как вес тела, так и сила сжатия абдуктора, то, казалось бы, она должна быть еще более массивной. Однако если мы посмотрим на ее поперечное сечение, то обнаружим, что наружное кольцо костного вещества оказывается толстым лишь в нижней



ПРОЦЕСС РОДОВ и бипедия - два фактора, определившие строение таза современного человека. У шимпанзе головка плода без труда проходила через вход (вверху), среднюю часть (в середине) и выход (внизу) родового канала. У Люси процесс родов труднее: ее короткие, развернутые подвздошные кости были идеально приспособлены для передвижения на двух ногах, но родовый канал был широким в поперечном направлении и несколько сжатым. Головка плода могла пройти через него, только если в начале располагалась поперечно, а затем поворачивалась. Более крупный мозг человеческого ребенка обусловил формирование округлого канала. Необходимое удлинение таза привело к уменьшению выступа подвздошных костей, а следовательно, и к уменьшению плеча рычага отводящих мышц. Но, несмотря на это, роды у человека остаются сложным и болезненным процессом, требующим еще одного поворота головки плода внутри родового канала. Рисунок сделан по иллюстрации Роберта К. Тага из Университета шт. Луизиана и Линды Будинофф из Кентского университета.

части шейки, а остальная ее часть окружена тонкой костной скорлупой и заполнена ретикулярной структурой из мелких костных пластинок, называемых трабекулами. Такая кость вроде бы должна быть менее прочной, вследствие ее пористости. Верхняя часть шейки бедра, испытывающая, вероятно, наибольшую нагрузку на изгиб, действительно содержит меньше костного вещества, чем любая другая часть этой структуры. Как же может более длинная шейка бедра человека выдерживать большие нагрузки, если она выглядит намного менее прочной, чем шейка бедра шимпанзе?

**ЧТОБЫ** ответить на этот вопрос, рассмотрим работу абдукторов - мышц, действующих только при двуногом передвижении. Направленные действия этих мышц не вертикальные и примерно параллельно шейке бедра. При сокращении абдук-

торы толкают головку бедренной кости в суставную впадину, сжимая шейку по всей ее длине. Кроме этого сжатия шейка испытывает также изгиб, когда ее верхняя часть растягивается, а нижняя сжимается. В результате растягивающая нагрузка в верхней части шейки компенсируется и создается градиент напряжения, увеличивающегося от ее верхней части к нижней. В нижней части шейки напряжение максимальное и представляет собой исключительно напряжение сжатия. В этой части шейки бедра у человека состоит из массивного слоя плотного костного вещества, но даже губчатая кость, заполняющая оставшуюся часть шейки, оказывается довольно прочной на сжатие.

Другие мышцы помогают абдукторам «заставлять» шейку бедра работать на сжатие. Самая главная из них - грушевидная мышца, которая начинается на передней поверхности бедра и заканчивается на наружном

крае шейки бедра. Такое положение позволяет этой мышце усиливать сжимающую нагрузку на шейку бедра. Синхронное действие всех этих МыШЦ в тот момент, когда вес туловища передается на шейку, позволяет этой, казалось бы, хрупкой кости выдерживать нагрузку.

Однако из-за особого распределения костного вещества шейка бедра оказывается весьма уязвимой, если абдукторы и другие мышцы действуют недостаточно синхронно. Весьма часты переломы этой кости в старческом возрасте, и это происходит не только потому, что у пожилых уменьшается плотность кости. «Сломанные» бедра есть результат ухудшения координации мускулатуры. Таким образом, строение шейки бедра у человека требует такого действия мышц, которое характерно для передвижения на двух ногах. Ее «конструкция» не рассчитана на лазанье по деревьям и «древесную акробатику», когда она часто подвергалась бы значительным напряжениям на изгиб, не испытывая одновременного сжатия со стороны абдукторов.

Шейка бедра австралопитеков, будучи даже длиннее, чем у современного человека, испытывала гораздо более сильные напряжения на изгиб. Если бы эти предки человека часто лазали по деревьям, подвергая шейку бедра нагрузкам и не компенсируя их координированным сжатием с помощью абдукторов, кость должна бы быть у них еще более массивной, чем у человекообразных обезьян. В том же месте, где были обнаружены остатки Люси, найдены несколько бедренных костей гоминид. Каждый образец отчетливо демонстрирует человеческий тип строения шейки бедра с тонким слоем кости по ее верхнему краю. Таким образом, шейка бедра Люси приспособлена исключительно для прямохождения. Она не просто умела ходить на двух ногах, но это был для нее единственный способ локомоции.

**Я** ТАК ПОДРОБНО остановился на анатомии таза Люси, потому что он сохранил отчетливые признаки бипедии. Однако анализ остальной части скелета Люси, а также скелетов других представителей рода *Australopithecus* позволяет обнаружить не менее важные особенности, свидетельствующие о бипедии и исключающие применение других способов локомоции. Например, коленный сустав способен выдерживать большие нагрузки в полностью выпрямленном состоянии по сравнению с таким же суставом других приматов; конструкция его коленного сустава такова, что бедренная и большеберцовая кости

расположены под небольшим углом, благодаря чему при хождении стопа может быть без труда помещена прямо под центром масс туловища. Лодыжка также претерпела изменения, чтобы быть способной поддерживать все тело, а играющий роль амортизатора свод позволяет стопе выдерживать возросшую нагрузку. Большой палец ноги не противопоставлен остальным, как у четвероногих антропоидов, а параллелен им. Стопа из хватательного органа, приспособленного для лазанья по деревьям, стала опорным рычагом, позволяющим осуществлять движение вперед при прямохождении. Верхние конечности также менее приспособлены для лазанья: как руки в целом, так и пальцы стали значительно короче, чем у обезьян.

Предки Люси, должно быть, спу-

стились с деревьев и встали с четырех конечностей на две задолго до ее появления на Земле, вероятно, в самом начале эволюции человека. Я высказал предположение, объясняющее, почему бипедия, несмотря на многие связанные с ней неудобства, возникла задолго до того, как наши предки смогли использовать освобожденные от функции передвижения руки для переноски орудий или оружия. Это было частью новой стратегии размножения, при которой самец занимался добычей пищи и которая привела первых гоминид к процветанию и разнообразию форм. Споры по поводу предложенного мною объяснения будут продолжаться, но, согласно убедительным свидетельствам, бипедия была в числе первых анатомических признаков, ознаменовавших переход к разумной жизни.

## Наука и общество

### Все в семье

**С**ОГЛАСНО работе, недавно опубликованной в журнале "New England Journal of Medicine", почти все случаи рака, затрагивающего ободочную и прямую кишку, возможно, обусловлены наследственной предрасположенностью, имеющей генетические причины. Предварительные результаты этого исследования позволяют предположить, что подобная предрасположенность имеет у трети населения. Улучшение методов выявления восприимчивых лиц могло бы привести к резкому сокращению смертности от этого заболевания. В Соединенных Штатах колоректальный рак является третьей по значению причиной смертности от раковых заболеваний; по оценкам специалистов, в 1988 г. будет диагностировано 147 тыс. новых случаев колоректального рака.

Новые данные особенно впечатляют потому, что рак прямой и ободочной кишки долгое время связывали с факторами риска, обусловленными внешней средой, а именно с высоким содержанием в пище жиров и низким -- клетчатки и других волокон. Предшествующие работы показали, что у близких родственников людей, больных колоректальным раком, повышен риск развития того же заболевания, но четкой закономерности наследования не было выявлено. На этом основании предполагалось, что в данном случае повышенная вероят-

ность заболевания объясняется одинаковым образом жизни в семье или иными факторами внешней среды.

Современные исследования прояснили картину благодаря тому, что была установлена частота не только заболеваемости колоректальным раком, но и возникновения аденоматозных полипов - доброкачественных образований, которые предположительно являются предшественниками всех или почти всех злокачественных опухолей ободочной и прямой кишки. Была отобрана группа лиц с полипами или колоректальным раком, и их кровные родственники обследовались на эти заболевания; контрольной группой при этом служили супруги испытуемых. Анализ результатов выявил четко закономерное наследование.

Наиболее вероятное объяснение наследования предрасположенности к колоректальному раку состоит в том, что существует ген, который делает его обладателя подверженным образованию полипов. Ген этот доминантный, т. е. присутствия в геноме одной его копии достаточно для такой предрасположенности. Моделирование при помощи компьютера на основе данных об испытуемых (которые были главным образом потомками выходцев из Англии и Северной Европы, проживающими в шт. Юта) позволяет сделать вывод, что гипотетический ген присутствует у 32% населения.

Разумеется, этот ген не единственный фактор, приводящий к развитию колоректального рака. Лишь около 5% аденоматозных полипов претерпевают злокачественное перерождение

ние. По мнению Р. Бёрта из Медицинского центра Университета шт. Юта, - одного из авторов исследования - вполне возможно, что играет роль взаимодействие между геном «подверженности» полипам и факторами внешней среды, которые издавна привлекались для объяснения развития опухолей ободочной и прямой кишки.

Практическое значение результатов описанного исследования для спасения человеческих жизней может быть весьма велико. По словам Бёрта, колоректальный рак хорошо поддается лечению, если он обнаружен достаточно рано. Однако из-за того, что колоректальный рак в ходе своего развития мало выказывает себя в виде явных симптомов, лишь около 50% случаев колоректального рака удается выявлять настолько рано, чтобы можно было спасти жизнь больного путем хирургического вмешательства. Сегодня ранняя диагностика достигается благодаря регулярному обследованию пациентов на наличие кишечных полипов и анализу кала на «скрытую» кровь. Вероятно, раннее выявление рака может быть более успешным, если обследоваться будут все потенциально подверженные полипам лица. «Мы надеемся, - заявил Бёрт, - найти генетический маркер для выявления группы риска в отношении колоректального рака. Это существенно снизило бы смертность от раковых заболеваний в целом».

### Вошли во вкус

**О**СЕН НЕЙ листе и кленовому сиропу - этим символам Новой Англии, более древним, чем само американское государство, - сейчас угрожает насекомое размером с булавоночную головку. На большей части территории штатов Вермонт, Нью-Гэмпшир, Массачусетс, Коннектикут, а также в некоторых районах штатов Нью-Йорк и Пенсильвания сотни тысяч сахарных кленов, среди которых есть 200-летние экземпляры, становятся жертвой мельчайшего насекомого *Taeniothrips inconsequens*, известного под названием грушевый трипс.

Обычно грушевый трипс в незначительных количествах обитает на фруктовых деревьях. Однако недавно у него появилось новое пристрастие - сахарный клен *Acer saccharum*. Ущерб от вредителя особенно велик ранней весной, когда взрослые особи выходят из почвы и поднимаются по стволам в кроны, где они питаются на листовых почках и молодых листьях. Признакам и пора-

жения дерева являются сморщенные, изъеденные листья и голые ветви, в основном в нижней части кроны.

Первые трипсы был замечен на сахарных кленах около 10 лет назад. В 1987 г. он невероятно размножился и поразил эти деревья на территории, составляющей, по оценкам специалистов, в одном лишь Вермонте около 200 тыс. га. В некоторых областях этого штата плотность популяции трипсов, по результатам анализа проб почвы, доходит до 12-13 тыс. незрелых особей на 1 м<sup>2</sup>. Пораженные деревья дают меньше сока, и, надо полагать, их листва будет уже не столь пышной, как прежде.

Пока нет данных о том, что клены погибают от поражения грушевым трипсом. На тех деревьях, которые остались весной без листьев, выросла вторая листва. Однако эксперты боятся последствий того длительного стрессорного воздействия, которому подвергаются деревья из-за вредителя. Специалист по Фитопатологии из Университета шт. Вермонт Д. Бергдал считает, что сначала стрессорное воздействие каких-то неизвестных факторов окружающей среды - возможно, чрезмерной жары, недостаточности снегового покрова или загрязнения атмосферы - привело к тому, что сахарные клены стали уязвимы для грушевого трипса. Вред, причиненный трипсом, безусловно, еще больше ослабит деревья, и они станут подвержены агрессии иных, обычно безобидных паразитов - например, грибов или других насекомых. Эта вторая волна вредителей может оказаться для деревьев смертельной. По словам Бергдала, больше всего следует бояться длительных, прогрессирующих последствий поражения, причины которого мы понимаем пока плохо.

В связи со сложившейся ситуацией к некоторым производителям кленового сахара обратились с просьбой не брать сок с деревьев в будущем сезоне. Чем реже у клена листва, тем меньше он вырабатывает сахарного сока, а сок необходим для роста листьев в следующем сезоне. Поэтому Бергдал говорит, что брать сок у пораженного клена - все равно что брать кровь у больного анемией.

В июле 1988 г. по инициативе губернатора шт. Вермонт М. Кьюнин была создана рабочая группа для поисков решения проблемы грушевого трипса. Члены группы считают, что эту проблему невозможно решить, пока не будут изучены биология и жизненный цикл вредителя. По словам М. Скиннер из Университета шт. Вермонт, первой задачей является создание системы анализа почвы и

наблюдения в масштабе всего штата. Необходимо знать, где обитают трипсы, как они мигрируют, как колеблется их численность от сезона к сезону.

Группа из Института по изучению суши, океанов и космоса при Нью-Гэмпширском университете намерена сравнить инфракрасные снимки, сделанные со спутника «Ландсат» 4 года назад, когда сахарные клены были здоровы, и в 1988 г. Эти исследователи надеются оценить масштабы поражения деревьев, а следовательно, и распространение трипса.

Неужели сахарный клен постигнет судьба американского вяза, уже почти исчезнувшего с лица планеты? Пока невозможно ответить на этот вопрос. Но не приходится сомневаться, что в апреле из почвы выйдет новое поколение голодных трипсов и с жадностью набросится на пробивающиеся кленовые листки.

## Вниманию читателей!

### лимфоциты.

Перевод с английского  
Под ред. Дж. Клауса

Методическое пособие, написанное авторитетными учеными из Великобритании, Норвегии и Швейцарии.

Содержание: Выделение лимфоцитов. Иммунофлуоресцентный и иммуногистохимический анализ. Культивирование. Генерация В-лимфобластоидных клонов человека с помощью вируса Эйнштейна - Барра. Анализ пролиферации. Определение интерлейкинов и др. продуцируемых лимфоидными клетками факторов. Биохимический анализ антигенов клеточной поверхности.

Методы изложены подробно, четко, с необходимым теоретическим обоснованием. Книга относится к зарекомендовавшей себя серии «Методы», издаваемой «ИРП Пресс» (Англия).

1990,25 л. Цена 3 р. 30 к.

На книги, выходящие в 1990 г., магазины научно-технической литературы будут принимать заказы с апреля-мая 1989 г. Издательство заказы не принимает.



# Что мешает вакцинации населения развивающихся стран

**Сейчас уже применяются шесть вакцин и в ближайшие годы можно было бы внедрить в практику много других препаратов.**

**Но разработчики и производители вакцин не заинтересованы в обеспечении ими третьего мира**

**ЭНТОНИ РОБИНС, ФИЛЛИС ФРИМАН**

**В** ПОСЛЕДНИЕ 25 лет глобальные программы иммунизации населения, поддерживаемые Организацией Объединенных Наций, в развивающихся странах поразительно продвинулись вперед. К сожалению, есть опасность, что этот быстрый прогресс пойдет в тупик. При том, что уже достигнуто, потеря темпа будет иметь трагические последствия. Благодаря этим программам десять лет назад удалось полностью ликвидировать натуральную оспу, а в последнее время значительно снизить смертность и заболеваемость от шести «главных» болезней: кори (от которой в странах третьего мира пока еще умирает 2 млн. детей ежегодно), дифтерии, коклюша, столбняка, полиомиелита и туберкулеза. В 1974 г. в развивающихся странах только 5% детей были иммунизированы против этих болезней; сегодня в результате расширенной программы иммунизации (РПИ) Всемирной организации здравоохранения почти 50% детей полностью иммунизированы, т. е. получили рекомендованные дозы всех шести вакцин. Целью РПИ является вакцинация каждого ребенка к 1990 г.

Однако сделать нужно еще много. В особенности необходимы новые или усовершенствованные вакцины против многих других инфекционных болезней, являющихся причинами преждевременной смерти и утраты трудоспособности в развивающихся странах, где выживают только 4 ребенка из 5. Дети - первоочередной объект программы вакцинации, так как они в основном становятся жертвами инфекционных заболеваний. В Африке, Азии и Латинской Америке острые респираторные инфекции (такие как пневмония, вызываемые бактериями *Streptococcus pneumoniae* и *Haemophilus influenzae* типа B, а также вирусами парагриппа и респираторно-синцитиальными вирусами) и желудочно-кишечные расстройства (такие как инфекции, вызываемые ро-

тавирусами и шигеллами, холерным вибрионом и некоторыми типами бактерий *Escherichia coli* ежегодно убивают около 8 млн. детей в возрасте до 5 лет. От этих инфекций в комбинации с другими заболеваниями, особенно корью, малярией, столбняком, менингитом и брюшным тифом, каждый год умирает 14 млн. детей в возрасте до 5 лет и еще несколько миллионов становятся калеками.

Как ни странно, развитие разработок необходимых вакцин задерживается не отсутствием научных знаний. Многие вакцины уже получены и стоят «на полках» в лабораториях. Действительно, в 1986 г. Институт медицины Национальной академии наук США назвал 19 первоочередных инфекций, против которых, с научной точки зрения, к 1996 г. могут быть относительно легко изготовлены новые или значительно усовершенствованные вакцины (см. рисунок на с. 77).

Препятствия для испытаний, массового производства и распространения необходимых вакцин имеют экономические и политические причины. Организация Объединенных Наций сама по себе не обладает материальными возможностями для производства вакцин, а небольшое число производителей - большинство из них в развитых странах, - которые владеют технологическим багажом и необходимым оборудованием, слабо заинтересованы в выпуске этих вакцин.

В последние 4 года мы изучали нужды третьего мира в вакцинации и обсуждали эту проблему с деятелями здравоохранения во многих развивающихся странах, а также с руководителями РПИ и большинством мировых производителей вакцинных препаратов. Наша работа показала, что существующие проблемы могут быть разрешены. Для этого требуется, однако, чтобы общество и те, кто участвует в разработке и распространении вакцин, осознали, почему деятельность РПИ была успешной в прош-

лом, в чем заключаются нынешние препятствия к дальнейшему прогрессу и в каких областях есть возможности для сотрудничества между теми, кто имеет И теми, кто нуждается.

**Н**АЙТИ ПУТЬ обеспечения стран третьего мира вакцинами будет нелегко, но сделать это необходимо. Для вакцинации нужно меньше средств, ее легче осуществить и иногда эта мера более эффективна, чем другие здравоохранительные мероприятия, применяемые сейчас в той или иной степени. Например, можно предотвратить многие инфекционные болезни путем борьбы с факторами, которые способствуют их распространению, в частности с насекомыми-переносчиками, плохими жилищными условиями, антисанитарными источниками воды для питья и приготовления пищи. Однако программы борьбы с переносчиками, включая те, которые ставят своей целью уничтожение комаров, передающих малярию, часто не достигают успеха. Кроме того, многие страны пока не могут выделить достаточных средств на улучшение жилищных условий и санитарные мероприятия.

Обеспечение стран третьего мира эффективными средствами для лечения тоже весьма проблематично. Такие лекарства, как антибиотики, высокоэффективны против определенных болезней и их вторичных осложнений, например против шигеллеза (бактериальной дизентерии, являющейся причиной 650 тыс. смертных случаев в год, в основном среди детей) и против бактериальных инфекций, часто сопровождающих заражение респираторно-синцитиальными вирусами. Существует также оральная регидратационная терапия, которая возмещает жидкости и соли, теряемые организмом при диарее; это простой и недорогой способ лечения многих желудочно-кишечных расстройств (нужно всего лишь смешать

содержимое готового пакета с кипяченой водой и налить этим раствором ребенка).

Однако применение антибиотиков и различных других лекарственных средств обходится гораздо дороже, чем вакцинация, отчасти потому, что для лечения требуется намного больше доз, чем для иммунизации. Кроме того, во многих развивающихся странах все еще нет необходимых медицинских служб для выявления больных детей, проведения лабораторной диагностики и обеспечения соответствующего лечения. Во многих районах отсутствует медико-санитарное просвещение населения, путем которого можно было бы научить людей применять в своей семье методы лечения, не требующие особой медицинской квалификации, например оральную регидратационную терапию.

Трудности выполнения программ по улучшению санитарных и жилищных условий, борьбе с переносчиками и лечению высвечивают другую причину необходимости расширить спектр

вакцин для применения в странах третьего мира: инфраструктура, а именно РПИ, для вакцинации детей на местах уже есть. Эту систему можно легко использовать для проведения вакцинации новыми препаратами с целью профилактики других болезней. В будущем она может быть расширена, чтобы оказывать поддержку другим службам, важным для сохранения здоровья детей, например службе планирования семьи.

**КАК РПИ ДОСТИГЛА** своего впечатляющего успеха и почему она не может расширить арсенал вакцин, просто следуя прежней стратегии? Достижения РПИ частично объясняются тем, что после некоторого периода дублирования действий ВОЗ и Детского фонда ООН (ЮНИСЕФ), имеющего опыт обслуживания детей в развивающихся странах, эти организации стали тесно сотрудничать. Вместе они помогли руководителям здравоохранения в странах-участниках организовать получение оборудо-

вания и обучение кадров, необходимые для вакцинации и гарантирования должного состояния вакцин. С 1984 г. ВОЗ и ЮНИСЕФ поддерживаются Международным банком реконструкции и развития (МБРР), Программой развития ООН и Рокфеллеровским фондом. В 1984 г. эти пять организаций сформировали Специальную группу по снижению детской смертности и сохранению здоровья детей для увеличения финансирования и стабилизации деятельности РПИ по иммунизации в мировом масштабе.

Руководители РПИ нашли также пути приобретения вакцин по необычно низким ценам: они выбрали те же вакцинные препараты, которые продавались в развивающиеся страны в течение многих лет. Производители уже давно окупили свои затраты на научные исследования и разработку этих препаратов и поэтому вполне могли продавать свою продукцию по цене, близкой к себестоимости. В использовании мировых научных исследований мы ограничились выявлени-



ЭТОТ МАЛЕНЬКИЙ КИТАЕЦ - один из миллионов детей в развивающихся странах, которые за последние 15 лет иммунизированы против 6 опасных инфекционных болезней в рамках Расширенной программы иммунизации ООН

(РПИ). Организации-участники РПИ, включая Всемирную организацию здравоохранения и Детский фонд ООН, надеются обеспечить третий мир новыми или усовершенствованными вакцинами против многих других инфекций.



КОЛИЧЕСТВОДЕТЕЙ в возрасте до одного года (в процентах), получивших в 1986 г. по РПИ все предписанные дозы вакцин против туберкулеза, дифтерии, коклюша, столбняка, полиомиелита и кори. Эта таблица, опубликованная ЮНИСЕФ в сборнике "State Of the World's Children 1988", основывается на данных, представленных ВОЗ, ЮНИСЕФ и Отделом народонаселения ООН; в нее не входит Китай, где уровень вакцинации в целом выше, чем в других развивающихся странах. В 1974 г. полную вакцинацию прошли менее 5% детей, а сейчас полностью иммунизировано около 50% детей, что спасет 1,4 млн. жизней в год.

ем потенциальных вакцин. Разработка вакцины - процесс длительный, требующий много времени, сил и средств. Он включает приготовление небольших, но высококачественных серий потенциальных препаратов, которые используются в лабораторных и клинических испытаниях с целью проверки безопасности и эффективности, а также определения дозировки; обеспечение соответствия лицензионным требованиям; создание основы для производства больших, проконтролированных на качество серий препарата для массового распространения. На этой стадии разработки многие из потенциальных вакцин устаревают или оказываются негодными.

Компенсировав свои вложения, компания не обязательно продает свою продукцию по себестоимости, но ряд производителей и общественных учреждений по тем или иным причинам это делают. Например, для Национального института здравоохранения и защиты окружающей среды Нидерландов такой причиной является его традиционная приверженность делу сохранения здоровья людей. В подобных случаях производитель не предполагает получать прибыль от продажи вакцин в своей стране или за рубежом. Социалистические страны, участвующие в РПИ, тоже поставляют вакцины в развивающиеся страны без выгоды для себя, поступая так в первую очередь из гуманных соображений, а не только ради престижа в третьем мире (последнее относится ко всем участникам этой деятельности). Для коммерческих фирм

признание и оценка их роли в РПИ могут способствовать другим сторонам их торговой деятельности, скажем при продаже более выгодных лекарственных средств или покупке сырья.

Многие производители сотрудничают с РПИ, так как находят это выгодным. Продажа большого количества вакцин старого типа развивающимся странам может приносить доход даже если их цены сравнительно низкие, поскольку в этом случае производитель, способный изготовлять вакцину в большем количестве, чем может реализовать на внутреннем рынке или в других промышленно развитых странах, может использовать экономию масштаба. Такая фирма получает возможность увеличить объем производства и осуществлять проверку качества препаратов с тем же штатом и оборудованием, снижая таким образом затраты на единицу продукции. Продавая вакцины РПИ по ценам, близким к себестоимости, они возвращают себе существенную часть издержек, а большой доход получают на дорогих препаратах, которые продают на коммерческих рынках.

Экономически невыгодно производить вакцину для менее чем 40 млн. человек. Из-за этого некоторые производители, чей внутренний рынок ограничен, например Smith Kline RIT в Бельгии, желают даже расширить производство для того, чтобы завоевать более широкий рынок через РПИ и таким образом улучшить доходность своего предприятия.

Если по 1982 г. включительно

РПИ добивалась низких цен на вакшины, используя различные мотивы многих производителей, то в 1983 г. ей удалось снизить цены даже в большей степени путем введения практики торгов. В частности, ЮНИСЕФ, который покупает большинство вакцинных препаратов, применяемых в Африке и некоторых - в Азии, и Панамериканская организация здравоохранения (ПАОЗ), приобретающая вакцины для Латинской Америки, просили ряд производителей представить свои деловые предложения по отдельным вакцинам и заключали контракты с компаниями, которые брались выполнить заказ по наиболее низкому ценам. (Сама ВОЗ в настоящее время больше занимается научными исследованиями, применением препаратов и обучением персонала, чем собственно получением вакцин.)

С момента введения этой практики торгов все заинтересованные производители оказались в Канаде, Европе и Японии. Внутренний рынок в США достаточно обширен, так что Фармацевтические фирмы здесь не чувствуют большой необходимости в сотрудничестве с РПИ или в выходе на другие рынки. Если у них и было желание продавать вакцины РПИ по низким ценам, оно весьма ослабло из-за позиции конгресса США, который критиковал их по поводу того, что они не предлагают такие же цены для «своих» покупателей.

В 1988 г. система торгов помогла ЮНИСЕФ и ПАОЗ покупать вакцины по необычно низким ценам - в среднем 5 центов за дозу, т. е. покупка всех доз всех шести вакцин обходится примерно в 50 центов. Притом сопутствующие затраты - на перевозку, персонал, осуществляющий вакцинацию, и холодильное оборудование, необходимое для сохранения актиВНОСТИ вакцин, - более чем в 10 раз (в расчете на 1 ребенка) превышают затраты на собственно вакцинный препарат.

Действующая система приобретения вакцин, коль скоро она касается давно разработанных препаратов, придает особое значение покупке дополнительных товаров. Она использует все возможные стимулы, чтобы производители продавали свою продукцию по ценам, близким к предельным издержкам или даже ниже их. Система продолжает приносить успех, и при наличии всех мер обеспечения она позволит РПИ выполнить ее задачу - провести вакцинацию всех детей мира всеми шестью используемыми сейчас препаратами. РПИ способна обеспечить 1 млрд. доз в год.

Однако в настоящее время эта программа стоит перед рядом серьез-

ных испытаний. РПИ и Специальная группа по снижению детской смертности и сохранению здоровья детей сейчас сосредоточили усилия на том, как обеспечить вакцинацию в районах, где дети еще не получают существующих вакцин, и как затем гарантировать, чтобы проводилась вакцинация каждого нового поколения во всем мире. Кроме того, РПИ постоянно противостоит угрозе повышения цен. Важно также, что применяемые вакцины имеют некоторые недостатки. Например, они портятся под действием тепла, а в развивающихся странах обеспечение холодильным оборудованием нередко недостаточное. Поэтому очень нужны термостабильные вакцины. Желательны также препараты, увеличивающие эффективность и надежность вакцинации иначе, в частности вакцина против кори, которую можно вводить ребенку сразу или вскоре после рождения, чтобы раньше создать иммунную защиту.

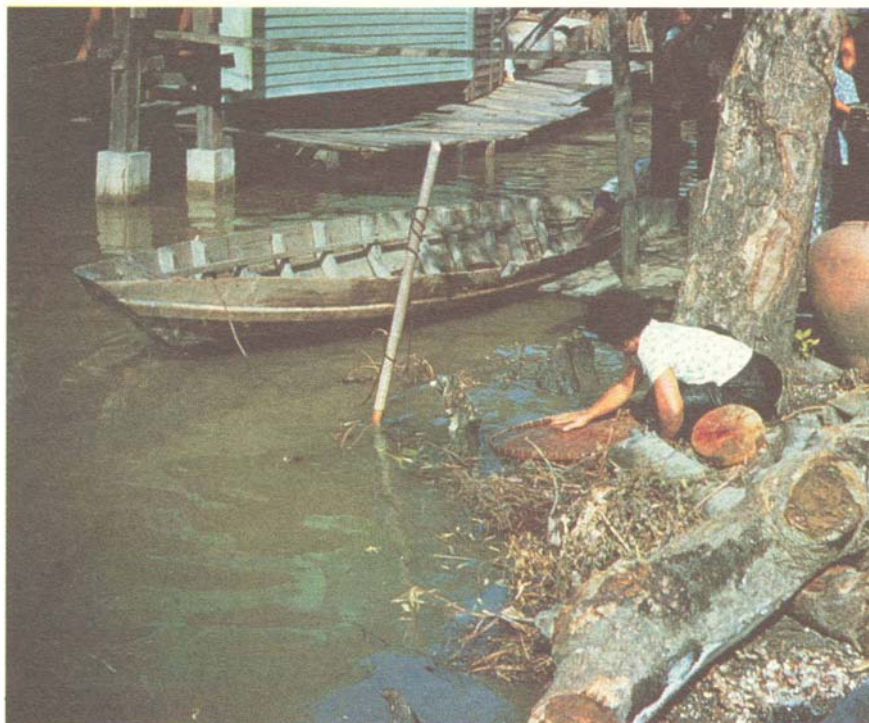
Другому аспекту проблемы дополнительных вакцин до последнего времени уделялось мало внимания, однако он тоже очень важен. Именно здесь особенно нужны творческий подход и новые стратегии. Новые вакцины не только сохраняют множество жизней - их наличие поддержит энтузиазм политических лидеров развивающихся стран в отношении создания национальных инфраструктур, необходимых для обеспечения целей РПИ, а именно проведения полной вакцинации каждого ребенка и поддержания высокого уровня охвата населения иммунизацией.

ООН вовсе не игнорирует проблему новых вакцин. ВОЗ всячески способствует исследовательским работам по созданию и проверке новых вакцин против инфекционных заболеваний для развивающихся стран; этому служат пять программ ВОЗ, охватывающих исследования, направленные на разработку вакцин, во всем мире. Однако в 1987 г. совокупный бюджет ВОЗ на исследования и разработку вакцин составил всего 10 млн. долларов на год, а это очень мало, если учесть, что на разработку только одной вакцины требуется, по расчетам Института медицины США, 30-50 млн. долл.

Препятствий на пути создания и распространения необходимых вакцин много, и одним из наиболее важных является то, что решение о разработке новых вакцин почти полностью остается в руках нескольких учреждений и коммерческих производителей в развитых странах. Технические знания и профессиональный опыт сконцентрированы в этих многочисленных научных институтах и фирмах, и

ПАТОГЕН	ВЫЗЫВАЕМЫЕ ИМ СИМПТОМЫ	ЧИСЛО СЛУЧАЕВ ЗАБОЛЕВАНИЯ (И СМЕРТИ) В ГОД	ПОТРЕБНОСТЬ В ЗАЩИТЕ ОТ ДАННОГО ПАТОГЕНА В РАЗВИТЫХ СТРАНАХ
Вирус лихорадки денге	Лихорадка, шок, внутренние кровоизлияния	35000000 (15000*)	Низкая (лица, выезжающие в районы, где заболевание эндемично)
Бактерия <i>Escherichia coli</i> , выделяющая кишечный токсин	Понос, обезвоживание организма	630000000 (775000*)	Низкая
Бактерия <i>Hemophilus influenzae</i> , тип b	Менингит, опухание надгортанника, пневмония	800000 (145000*)	Высокая
Вирус гепатита А	Общее недомогание, потеря аппетита, рвота, желтуха	5000000 (14000)	Низкая
Вирус гепатита В	Те же симптомы, что и при гепатите А; хронический цирроз печени или рак печени	5000000 (822000)	Умеренная
Вирус японского энцефалита	Энцефалит, менингит	42000 (7000*)	Низкая (путешественники)
Бактерия <i>Mycobacterium leprae</i>	Проказа	1000000 (1000)	Нет
Бактерия <i>Neisseria meningitidis</i>	Менингит	310000 (35000*)	Небольшая (при эпидемиях)
Вирусы парагриппа	Бронхит пневмония	75000000 (125000*)	Высокая
Простейшее <i>Plasmodium</i>	Малярия (сопутствующее малокровие, системные воспалительные процессы)	150000000 (1500000*)	Умеренная (путешественники)
Вирус бешенства	Менингит и энцефалит (всегда со смертельным исходом)	35000 (35000*)	Низкая
Респираторно-синцитиальные вирусы	Повторные респираторные инфекции, пневмония	65000000 (160000*)	Высокая
Ротавирусы	Диарея, обезвоживание организма	140000000 (873000*)	Высокая
Бактерия <i>Salmonella typhi</i>	Брюшной тиф (возможны повреждения кишечника)	30000000 (581000*)	Низкая (путешественники)
Бактерия <i>Shigella</i>	Диарея, дизентерия; хронические инфекции	250000000 (654000*)	Нет
Бактерия <i>Streptococcus</i> группа А	Инфекция горла, затем ревматическая лихорадка, поражение почек	3000000 (52000*)	Низкая
Бактерия <i>Streptococcus pneumoniae</i>	Пневмония, менингит, тяжелое воспаление среднего уха	100000000 (10000000*)	Низкая - умеренная
Бактерия <i>Vibrio cholerae</i>	Холера (понос, обезвоживание организма)	7000000 (122000*)	Низкая (путешественники)
Вирус желтой лихорадки	Лихорадка, желтуха, поражение почек, кровотечения	85000 (9000*)	Низкая (путешественники)

ПАТОГЕНЫ, перечисленные здесь, по определению Института медицины Национальной академии наук США, являются возбудителями инфекций, против которых в развивающихся странах необходимы новые или усовершенствованные вакцины. Эти препараты практически могут быть разработаны и лицензированы к 1996 г., однако многие производители не расположены вкладывать деньги в разработку вакцин для стран третьего мира, так как это невыгодно. Количество случаев заболевания и смерти рассчитано по данным Института медицины на 1986 г. Звездочкой отмечены болезни, от которых половина или более случаев смерти приходится на детей.



**ВОДНЫЕ ПУТИ** в Восточном Пакистане являются источником холеры. В развивающихся странах большинство озер, ручьев и рек, из которых берется вода для питья и приготовления пищи, загрязнены бытовыми сточными водами, что способствует распространению холеры, гепатита, ротавирусных инфекций, бактериальной дизентерии и брюшного тифа. Играть свою роль также плохие санитарные и жилищные условия, обилие насекомых - переносчиков инфекционных болезней. Мероприятия по очистке вод, улучшению санитарных и жилищных условий и истреблению переносчиков могут предохранить от многих болезней; лечебные мероприятия защитят от инвалидности и смерти, но более быстрый и дешевый путь сохранения жизни людей - иммунизация населения.

некоторые из них предпочли не участвовать в РПИ. Коммерческие производители в особенности склонны работать на нужды процветающих промышленно развитых стран и стремятся восполнять свои расходы на разработки, а потом уж рассматривать вопрос о продаже своей продукции по цене, близкой к себестоимости.

Например, производители вакцин в США, Канаде, Западной Европе и Японии сосредоточились в значительной степени на усовершенствовании коклюшного компонента комбинированной коклюшно-дифтерийно-столбнячной вакцины (КДС), который в редких случаях вызывает припадки и повреждения головного мозга. Новая вакцина наверняка будет дорогой -- ее стоимость окажется в 10-100 раз больше нынешней цены для РПИ. Дополнительные расходы, если бы даже РПИ и могла их себе позволить, не привели бы к повышению эффективности вакцинации, охвату новых групп населения или защите от новых заболеваний.

**Н**ЕСМОТРЯ на эту невдохновляющую картину, старая стратегия ожидания с целью покрыть расходы

на исследования и разработки и последующего приобретения сразу больших партий продукции по резко сниженной цене, все еще действенна в случае тех вакцин, которые имеют обширный рынок в развитых странах или некоторый рынок для путешественников. Однако это будет длительное ожидание. Когда новые вакцины выходят на рынок, они, как правило, стоят дорого не только потому, что нужно окупить обычные затраты на их создание, но также и потому, что при их изготовлении часто используется новая (и, следовательно, дорогая) технология. Новая технология не всегда является необходимостью. Неоднократно бывало, что она предпочиталась старой технологии, поскольку новый метод изготовления влиял на качество вакцины, например, в какой-то степени ослаблялось ее побочное действие или несколько повышалась эффективность. Но нередко это делают в ущерб здравоохранению, создавая продукцию, неприемлемую по стоимости для стран третьего мира.

Одним из таких препаратов, который уже есть на рынке, является вакцина против гепатита В. Собственно,

существуют два типа вакцин против гепатита В: оба препарата состоят из вирусных антигенов (фрагментов патогена, которые вызывают в организме выработку защитных антител), но один изготавливается при помощи методов генной инженерии, а другой - по старой технологии, которая основывается на выделении антигенов из плазмы крови зараженных людей. Одна такая вакцина на основе плазмы крови производится в Южной Корее по методике, разработанной в Нью-Йорке. Стоит она около 1 долл.; это в 8 раз дороже, чем самая дорогая вакцина (против кори) среди закупленных к настоящему времени РПИ. Но если эта вакцина соответствует стандартам ВОЗ по безопасности и эффективности, она может быть взята на вооружение РПИ до тех пор, пока не упадет цена потенциально лучшей генно-инженерной вакцины. Первая генно-инженерная вакцина, лицензированная в США, стоит очень дорого - 130 долл. за трехразовую прививку.

Вероятно, в скором времени появятся, а затем станут общедоступными вакцины против СПИДа и ротавирусных инфекций, которые сейчас интенсивно изучаются, так как эти болезни поражают много людей в

промышленно развитых странах. Вакцина против малярии также вполне реальна; необходимость в ней для путешествующих жителей развитых стран в сочетании с потребностью многочисленного населения, подверженного малярии в странах третьего мира, может вдохновить коммерческие разработки. Что касается других вакцин, нужных немногим путешественникам (например, вакцины против лихорадки денге и гепатита А), то их производство менее вероятно, а если они и появятся в продаже, то едва ли будут доступны для развивающихся стран.

Стратегия ожидания, конечно, не эффективна в отношении вакцин, не имеющих рынка сбыта в развитых странах. Так, сейчас несколько важных вакцин, которые, по сведениям Института медицины США, научно обоснованы, скорее всего будут отвергнуты фирмами-производителями из-за недостатка рынка в промышленных странах. В числе таких препаратов вакцины против шигеллеза, проказы и инфекций, вызываемых *Streptococcus pneumoniae* (у детей) и энтеротоксигенной *Escherichia coli* (этот штамм *E. coli* продуцирует кишечные токсины). То же самое, вероятно, произойдет с усовершенствованными вариантами вакцин против кори, полиомиелита, холеры, брюшного тифа, японского энцефалита и желтой лихорадки.

Таким образом, рыночные силы



противодействуют производству вакцин, крайне необходимых для стран третьего мира. И даже вакцины, которые имеют шанс попасть в производство, едва ли будут доступными для большей части стран, по крайней мере в ближайшее время, а может быть, и вообще. В некоторых случаях РПИ могла бы покупать потенциально худшие препараты (например, вакцину против гепатита В на основе плазмы вместо генноинженерной), так как они дешевле. Однако такая возможность имеется далеко не всегда: производители, применяющие относительно дешевые технологии для изготовления вакцин, могут снимать свои менее дорогие препараты с рынка, когда внедряют варианты, изготовленные по более передовой технологии.

**СИТУАЦИЯ** сложилась обескураживающая, но не безнадежная. Действительно, крещению проблемы есть по крайней мере четыре подхода, заслуживающих рассмотрения. Первый подход, принимая существующее положение вещей, предполагает, что ООН должна изыскать деньги для покупки вакцин по цене, близкой к рыночной (другими словами, по цене, включающей затраты на разработку и прибыль), в надежде, что перспектива нового доходного рынка стимулирует промышленников делать необходимые вложения в разработку. Чтобы этот поход был успешным, РПИ должна заранее прогнозировать количество закупаемых доз, что вполне возможно сделать. Недостаток такой стратегии заключается в том, что ЮНИСЕФ и ПАОЗ вынуждены будут связать себя обязательством покупать определенное количество препаратов по высокой цене в течение длительного времени - обязательством, которое они, по всей вероятности, не смогут взять.

Второй подход - создание через ООН общественного института для разработки и изготовления своих собственных вакцин, вне коммерческого рынка. Если такой институт будет обеспечен современным оборудованием и квалифицированным персоналом со всего мира - эпидемиологами, специалистами по молекулярной биологии, ферментативным процессам и др., этот путь может быстро дать хорошие результаты.

Создание института такого типа, не связанного необходимостью быстрого получения доходов, в интересах здравоохранения третьего мира. Например, имеет смысл ввести гены, кодирующие антигенные компоненты различных бактерий и вирусов, в один микроорганизм-носитель такой как вирус осповакцины, который

прежде использовался в качестве вакцины против натуральной оспы, или бацилла Кальметта-Герена (BCG), применяющаяся как вакцина против туберкулеза, - для создания единой вакцины, способной вызвать иммунитет к широкому спектру инфекций. Следовало бы также разрабатывать стабильные «коктейли» - смеси антигенов, иммунизирующие против нескольких болезней одновременно. Такие разработки облегчили бы проведение полной вакцинации детей в развивающихся странах.

По мере расширения программ здравоохранения возможность того, что ООН сможет создать такой институт, увеличивается, но недостатки этого подхода не менее очевидны, чем преимущества. Создание подобного центра потребует очень много средств и времени, а тактика международного сотрудничества имеет жесткие рамки. Трудности, которые испытывала Организация ООН по промышленному развитию (ЮНИДО) в создании двух новых биотехнологических центров, весьма поучительны. В первые пять лет ни один препарат не был поставлен на поток. Успех в разработке вакцин и их производстве слишком важен для мирового здравоохранения, чтобы с самого начала полагаться только на один международный центр.

Третий подход -- создание организаций, занимающихся разработкой и производством вакцин непосредственно в странах или регионах третьего мира с большим населением. Такая организация должна была бы разрабатывать и производить вакцинные препараты против болезней, наиболее распространенных и опасных в данном регионе. Этот подход, вероятно, покажется привлекательным для участвующих в РПИ стран, которые стремятся разработать новые технологии. Финансирование передачи технологии как эффективный путь развития может привлечь средства, которые иначе не будут предоставлены программам вакцинации.

Главным препятствием на этом третьем пути является то, что МБРР и другие учреждения, которые могли бы предоставить займы для создания таких организаций, все больше и больше пекутся о соблюдении традиционного банковского правила - получения хорошей прибыли на вложения при финансировании новых промышленных предприятий. Разработка и производство вакцин, отвечающих нуждам здравоохранения третьего мира, едва ли окажутся для банков выгодными.

Даже если финансирование может быть обеспечено, на реализацию преимуществ этого подхода уйдут годы, ведь любому учреждению нужно

определенное время, чтобы наладить производство того или иного продукта. Еще больше времени уйдет, пока система таких учреждений сможет полностью удовлетворить потребности в вакцинации во всех регионах третьего мира.

Тем не менее этот подход хорош в качестве долговременной стратегии. И действительно, он реализуется в небольших масштабах ПАОЗ и Рокфеллеровским фондом. Эти две организации, уверенные, что целевые вложения в региональное производство вакцин многое дадут для здравоохранения и науки безотносительно к прибылям, исследуют возможность создания одного или более центров для разработки и производства вакцин в Латинской Америке. Если деятельность этих центров окажется успешной и продемонстрирует, что конкурирующие в иных аспектах страны способны сотрудничать в решении региональных проблем здравоохранения, организации международной помощи могут прийти крещению о содействии и создать подобные центры в Африке и Азии.

**СУЩЕСТВУЕТ** и четвертый подход, который, по нашему мнению, может служить быстрой краткосрочной стратегией для получения осязаемых результатов еще до конца нашего столетия. Как и на первом пути, ООН должна изыскать финансы для оплаты производителям, но эти средства будут предназначаться специально для разработки определенных вакцин, важных для большей части Третьего мира. По тем же причинам, которые побуждают ныне производителей вакцин к участию в РПИ, научные институты и компании, разрабатывающие такие препараты, будут продавать их РПИ по себестоимости или близкой к ней ценам (без расходов на разработку). Преимущество этого подхода по сравнению с первым заключается в том, что определенное количество денег будет собираться отдельно для каждой вакцины, и РПИ получит долговременные обязательства снабжения вакцинами по низкой цене.

Остается, разумеется, проблема, как найти финансовые средства для разработки вакцин. Уже существуют механизмы, обеспечивающие финансирование исследований по созданию вакцин; например, МБРР и Программа развития ООН поддерживают такие исследования. Эти механизмы могут быть просто расширены или дублированы для поддержки программы по разработке вакцин.

В то же время ООН и другим организациям, занимающимся программами международной помощи, при-

дется решать трудный вопрос о трате денег вне третьего мира, в промышленно развитых странах, где находится в настоящее время большинство производителей, имеющих опыт внедрения лабораторных разработок в полномасштабное производство. На сегодняшний день это необходимо, так как обеспечит быстрое производство высококачественных препаратов. Со временем, конечно, станет возможным передать большую часть разработанных технологий в развивающиеся страны, чтобы они могли создать свое производство на основе любой из приобретенных технологий и изготавливать собственные вакцинные препараты.

Уже сейчас есть признаки того, что четвертый подход действительно может быть скоро испытан. Во всем мире ведущие государственные и частные производители выразили известную готовность разрабатывать и изготавливать вакцины для РПИ на договорной основе, чтобы затем продавать препараты по цене, близкой к их себестоимости (хотя ряд производителей пока выражают озабоченность по поводу того, будет ли объем закупок достаточным). Для некоторых

компаний такой порядок привлекателен, так как стимулирует проверку новых технологий и дает субсидии на необходимое оборудование.

ВООН также обсуждался вопрос о создании оборотного фонда, через который подразделения ООН, занимающиеся проблемами развития, и другие программы помощи могли бы оплачивать первоначальные издержки на разработку вакцинных препаратов. Согласно этому плану, ЮНИСЕФ и ПАОЗ будут оплачивать только расходы на производство разработанных вакцин и компенсировать небольшую наценку, которая пойдет на пополнение фонда, что даст возможность продолжать научные разработки.

Собственно, любой из описанных здесь четырех подходов и какие-то их комбинации могут оказаться успешными. Задача сейчас состоит в том, чтобы мобилизовать международные организации на деятельность с целью ликвидировать недостаток новых вакцин и убедить тех, кто владеет нужными научными знаниями и технологическим опытом, применить свои возможности во благо всех детей мира - как в развивающихся, так и в промышленно развитых странах.

ем увеличится на 20%. По мере роста количества отходов считавшиеся ранее неэкономичными способы их снижения начинают привлекать все большее внимание.

Речь идет прежде всего о пластмассах, которые составляют около 7% городских отходов, и их доля увеличивается быстрее, чем всех других компонентов. Современные пластики не разрушаются так просто. Один из способов сделать их разрушаемыми заключается в добавке к обычному полимеру небольшого количества крахмала (как правило, менее 10%). Тогда под действием бактерий и грибов пластик будет разрушаться и превращаться в пыль.

Фирма Amko Plastics в Цинциннати изготавливает из такого разрушаемого пластика хозяйственные сумки, а фирма Ampacet в Маунт-Верноне (шт. Нью-Йорк) производит аналогичные смолы, которые используются для изготовления разрушаемых пакетов для мусора. Компания Agri-Tech Industries в Эрбане (шт. Иллинойс), используя различные технологии, разработанные министерством сельского хозяйства, выпускает разрушаемые полимерные пленки. Это достигается введением от 20 до 80% крахмала, сополимера этилена и акриловой кислоты, а также других добавок.

Пластинки, содержащие крахмал, не разрушаются полностью. Английская компания ICI при участии ее дочерней фирмы Marlborough Biopolymers в настоящее время выпускает экспериментальные партии полностью биоразлагающегося пластика на основе биополимера PHBV. Этот полимер производится с помощью бактерий, которые выращивают на особом сахаре. Новый полимер пригоден и для изготовления имплантатов, используемых в хирургии. Несмотря на простоту этого химического процесса, обходится он недешево: стоимость готового продукта составляет около 40 долл. за килограмм.

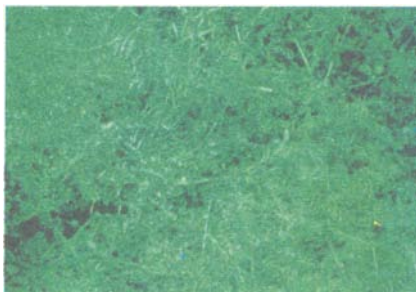
Фирма EcoPlastics в Торонто выпускает продукцию, которая разрушается не биологическим путем, а под действием солнечного света. Она разработала такие синтетические смолы, добавление которых в основные типы пластиков обеспечивает медленное разрушение последних на открытом воздухе, при облучении их ультрафиолетом. Президент этой фирмы Э. Редпат считает, что такие пластики вряд ли решат проблему поиска мест для свалки мусора, но они все же снизят засоренность в городах. Фирма надеется, что выпускаемая ею смола найдет применение в производстве оберток для конфет и емкостей для безалкогольных напитков.

## Наука и общество

### Исчезающие отходы

**СТАРАЯ** английская пословица гласит: там где мусор, там и деньги. Мудрость этого афоризма подтверждается изобретательностью

тех, кто пытается решить национальную проблему, связанную с нехваткой места для захоронения отходов. В настоящее время в городах США ежегодно образуется 148 млн. тонн отходов и, как ожидается, к 2000 г. их объ-



НА ФОТОГРАФИЯХ видно, как примерно через 60 дней под действием солнечных лучей разрушился поднос, сделанный из специального полимера фирмы EcoPlastics. Использование таких разрушаемых пластиков может снизить количество отходов.

Правительство всячески поддерживает такие технологии: многие юридические органы готовят законы о запрете применения некоторых видов неразрушаемых пластиков. Общество производителей пластиков заявило, что оно не против перехода на производство разрушаемых пластиков, но отмечает, что даже материалы, разлагающиеся под действием содержащихся в них биокомпонентов, такие как бумага, сохраняются в земле в течение нескольких десятилетий. Поэтому разрушаемые пластики не могут быть панацеей от всех бед. Кроме того, М. Роджерс, представительница этого общества, указывает, что биоразрушающиеся пластики, по-видимому, привлекательны для бактерий и могут оказаться неподходящими для изготовления изделий, предназначенных для пищевых продуктов.

Многие специалисты считают, что более подходящим решением рассматриваемой проблемы окажется переработка отходов. Однако технология переработки пластиков развита значительно слабее, чем бумаги или металлов. Это объясняется тем, что пластики как вторичное сырье менее ценны, чем металлы, и, кроме того, необходимая для их переработки предварительная сортировка сопряжена со многими трудностями. Тем не менее двухлитровые бутылки для лимонада, изготовленные из пластика PET, уже в больших количествах перерабатываются такими фирмами, как St. Jude Polymer в Фраквилле (шт. Пенсильвания). Сейчас эта фирма готовится расширить свою деятельность и наладить переработку других видов пластмасс. Исследования, проведенные в Университете Ратгерса, показали, что отслужившие свой срок изделия из пластика не всегда нужно сортировать до переработки: из «перемешанных» пластиков можно изготовить панели и «доски». Но, как указывает Роджерс, если разрушаемых пластиков будет слишком много, то их присутствие в изделиях из вторичного сырья в конце концов ухудшит прочностные характеристики этих изделий.

### Голодомания

**ПРИ** НЕРВНОЙ анорексии человек обычно теряет четверть или даже больше своего веса; такие больные нарочно голодают, делают различные физические упражнения, нередко вызывают у себя рвоту, принимают мочегонные и слабительные средства. Чем объяснить такое самоистязание? Чаше всего рассматриваются чисто психологические причины, в частности то, что такие больные (а это преимущественно девушки и мо-

лодые женщины) страдают навязчивой идеей самоусовершенствования, будучи убеждены, что они чересчур толстые и потому уродливые.

Некоторые исследователи предполагают, что даже если анорексия действительно поначалу развивается из-за психологических причин, в дальнейшем примерно у 50% тех больных, у которых она переходит в хроническую форму, это состояние поддерживается физиологическими механизмами. М. Маррацци и Э. Льюби из Медицинского колледжа Университета Уэйна в Детройте, считают, что анорексия становится хронической вследствие формирования пристрастия к голоданию. По их мнению, длительное голодание может приводить к высвобождению эндогенных (т. е. образующихся в организме) опиоидов, действующих как наркотики. Влияние опиоидов на организм разнообразно, в том числе они снижают интенсивность метаболизма, сохраняя энергию. Кроме того, они вызывают эйфорию, которая вполне может поддерживать стремление к голоданию (подобно тому как «кайф» у алкоголика увеличивает тягу к спиртному). Если это предположение верно, то оно может послужить ключом к разработке новых способов лечения нервной анорексии.

Гипотеза Маррацци и Льюби о хронической анорексии как пристрастии к эндогенным опиоидам основывается на ряде известных фактов. Во-первых, у многих животных голодание приводит к высвобождению опиоидов. Во-вторых, уровень этих веществ в спинномозговой жидкости у больных с нервной анорексией повышен. Кроме того, такие больные во многом похожи на алкоголиков и наркоманов. Для них тоже характерны навязчивые устремления, и часто вся жизнь сосредоточивается на голодании и других способах похудения, подобно тому как наркоманы думают лишь о том, как получить очередную «дозу». Обычно они не считают себя сколько-нибудь ненормальными, а если и признают это, то утверждают, что ими движет какая-то непреодолимая, чуть ли не сверхъестественная сила. Как и алкоголикам, больным с анорексией приходится назначать принудительное лечение (в тех случаях, когда оно показано), и даже в больнице они нередко пытаются продолжать свой самоубийственный образ жизни.

«Опиоидная» гипотеза пока еще не проверена всесторонне, однако Маррацци и Льюби уже лечили 8 больных блокаторами опиоидов, и в 6 случаях удалось добиться увеличения веса. У одной больной, долго страдавшей анорексией, после такого лечения

нормальный вес сохранялся в течение двух лет, и она перестала принимать слабительные средства, тогда как до лечения их ежедневная доза у нее составляла 10-30 таблеток. Сейчас исследователи приступают к клиническим испытаниям, которые будут проводиться двойным слепым методом; эти испытания дадут результаты примерно через год.

Гипотезе противоречит на первый взгляд тот факт, что эндогенные опиоиды вызывают не только эйфорию, но также острое чувство голода. Обычно голод преобладает над поднятым настроением, и это побуждает человека поесть. Но у больных со стойкой анорексией, как предполагают Маррацци и Льюби, физиологическая реакция на опиоиды нарушена: они (по крайней мере, большую часть времени) менее чувствительны к голоду, чем нормальные люди. Иногда голод все же берет верх и больные начинают «запойно» есть. Однако в конечном счете постоянное стремление к «опиоидному кайфу» преобладает и возобновляется патологическое голодание, приводящее порой к гибели.

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

375019 Ереван,  
ул. Барекамуян, 24-а,  
магазин № 29

250001 Киев,  
ул. Крещатик, 44  
магазин № 12

660036 Красноярск,  
Академгородок,  
магазин № 101

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

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

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

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

141908 Дубна,  
ул. Векслера, 11,  
головной магазин



## О шифровальных и дешифровальных машинах

### Часть 11



А.К.ДЬЮДНИ

«То, что зашифровано на одной машине, можно легко расшифровать на другой».

Из книги А.Ходжеса «Алан Тьюринг: Загадка».

**Д**О ВТОРОЙ мировой войны засекречивание сообщений с помощью кодов и шифров представляло собой трудоемкую, утомительную ручную операцию. В военное время эту работу выполняли на электромеханических машинах, подобных немецкой «Enigma». В настоящее время шифровкой текстов занимаются электронные компьютеры. Они быстро превращают сообщение на естественном языке в соответствии с секретным «ключом» в зашифрованный текст и передают его по телефонным или другим каналам электронной связи. Компьютеры, снабженные

тем же самым ключом, также быстро расшифровывают полученное сообщение. Во всяком случае на такой основе строится Стандарт кодирования данных (скд) - метод шифрования информации, принятый Национальным бюро стандартов США в 1977 г. и широко применяемый сейчас в гражданских и, возможно, военных системах связи.

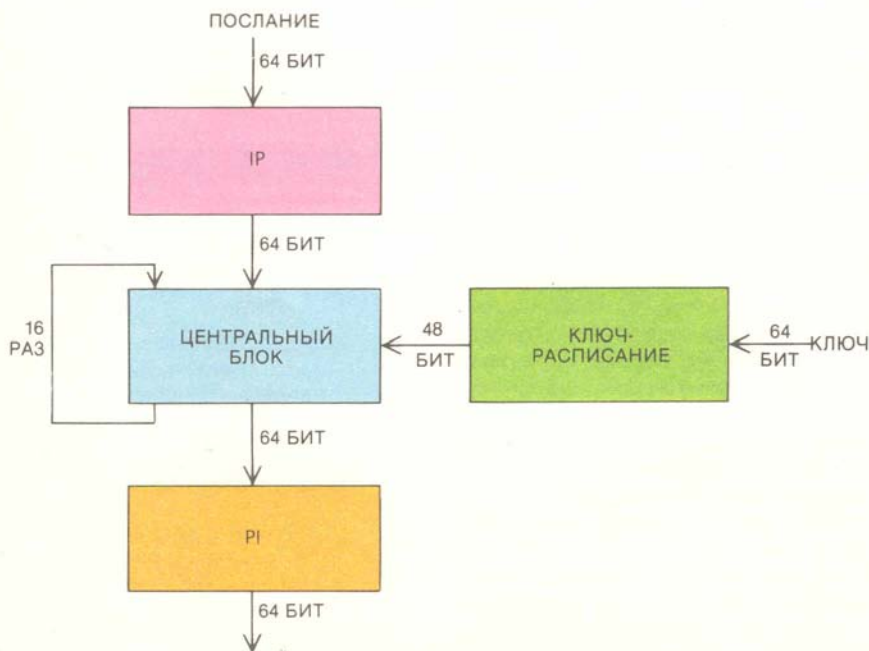
Ниже я приведу полное описание СКД, и это, по-видимому, будет первой широкой публикацией об этой системе. Я не рискую раскрыть каких-либо важных секретов, потому что содержание любой шифровки останется тайной, пока не станет известен ключ шифра. И все же в последнее время в науке о шифровании и дешифровании акцент делался на ключах, некоторые из которых общедоступны, другие предназначены лишь для личного пользования. Личный ключ

скрывается при этом в хорошо известной задаче, которую никто не может решить.

Независимо от того, какая часть информации остается общедоступной, а какая засекречивается, любая компьютерная система, работающая с шифрами, основана на алгоритме кодирования и алгоритме декодирования. Алгоритм кодирования для скд первоначально был разработан в научно-исследовательском центре корпорации IBM. Подобно машине «Enigma», описание которой было приведено в предыдущем номере журнала, в системе скд используется последовательность операций кодирования, по отдельности очень простых, но в совокупности производящих сложное преобразование. В машине «Enigma» операции кодирования выполнялись с помощью механических колес; в системе скд они осуществляются либо программными модулями, либо микропроцессорами.

Поскольку кодирование выполняется на компьютере, в роли кодируемых символов выступают не буквы алфавита (как это было в машине «Enigma»), а биты, или двоичные разряды. В каждой операции кодирования по системе скд участвует лишь одна цепочка длиной 64 бит. Поэтому перед тем как применять алгоритм, нужно сначала перевести исходный текст сообщения в цепочки по 64 бит. Для этого можно применить практически любой способ. Например, поскольку пять битов оказывается достаточно, чтобы сосчитать до 31 в двоичной системе счисления, можно выбрать двоичные представления чисел в диапазоне от 0 до 25 для 26 букв латинского алфавита. При такой схеме соответствия цепочка длиной 64 бит способна представлять 12 последовательных букв текста на английском языке (при этом 4 бит остаются свободными).

Сообщение на исходном языке, шифруемое по системе СКД, можно представлять в виде реки, которая многократно делится на рукава, образуя сложнейшую речную систему. действительно, наилучший способ проследить за последовательностью отдельных операций - это воспользоваться «картой» реки, т. е. диаграммой алгоритма (см. рисунок слева). Отдельные модули на диаграмме, подобно водопадам, перемешивают и вспенивают воду. Каждая цепочка исходного текста встречает модули трех различных типов на своем пути к выходному каналу: перестановки, сдвиги влево и замены. Операции, выполняемые модулями каждого типа, удобно представить в виде таблиц.



Блок-схема системы кодирования данных в СКД

Таблица перестановок показывает, каким образом порядок битов в цепочке изменяется при воздействии данного модуля перестановки. Как пользоваться подобными таблицами, можно показать на простом примере. Предположим, что модуль перестановки воздействует на двоичную цепочку 1011 в соответствии со следующей (горизонтальной) таблицей: 3 1 2 4. Это означает, что третий бит цепочки переставляется на первую позицию, первый бит - на вторую позицию, второй бит - на третью, а последний остается на своем месте. Следовательно, применяя эту таблицу к числу 1011, мы получим число 1101.

В СКД используется несколько различных таблиц перестановок: так называемая первоначальная перестановочная таблица IP, таблица выбора бита E, или просто E, пара таблиц выбора-перестановки PC1 и PC2 и, наконец, обратная таблица перестановки P1. Эти таблицы приведены справа.

Элементы некоторых таблиц по длине не равны 64 бит, поскольку их входные и выходные цепочки содержат меньше 64 бит. Например, таблица выбора бита E принимает на входе цепочку длиной 32 бит и расширяет ее на выходе до цепочки длиной 48 бит. Не удивительно поэтому, что, глядя в соответствующую таблицу, мы обнаруживаем, что некоторые элементы встречаются в ней более одного раза. Модули PC1 и PC2 оказывают противоположное действие: они сжимают проходящие через них цепочки. Поэтому в соответствующих таблицах некоторые элементы отсутствуют.

Заинтересовавшимся тайнописью читателям, которые пожелают перенести эти таблицы, так же как и сам стандарт СКД, в свои домашние компьютеры, придется обойтись без подсказок с моей стороны. Поскольку мы ограничены размерами статьи, я лишь упомяну о том, что операторы присвоения, используемые при работе с таблицами перестановок, должны быть следующего вида:

$$T(k) \rightarrow M(P(k)),$$

где массив *M* содержит биты цепочки, над которой выполняется перестановка, массив *P* содержит таблицу, *T* - временный массив, а *k* отсчитывает новые позиции битов. Составленная таким образом компьютерная программа будет помещать элемент с номером *P(k)* массива *M* на *k*-ю позицию *T*. Когда все элементы *T* определены, *M* можно установить равным *T*.

Система СКД как бы запирает сообщения на замок при помощи секретного ключа - произвольной цепочки из 64 бит, которую пользова-

тель системы задает в качестве входных данных модулю ключа-расписания на начальном этапе кодирования. Ключ можно мысленно представить как речку-приток шириной 64 бит, которая сужается до 56 бит в модуле PC1, делится на два 28-битных канала, снова объединяющихся в модуле PC2, и вливается в основную реку сообщения последовательными порциями в виде 16 48-битных притоков, по одному для каждого шага главного итерационного цикла системы СКД.

Находясь еще в модуле ключа-расписания, два 28-битных канала встречаются с другим течением, перемещающим их биты влево. Как можно видеть из верхней таблицы на с. 84, на первом, втором, девятом и 16-м шаге итераций происходит смещение битов двух цепочек влево на одну позицию. В остальных случаях цепочки сдвигаются влево на два бита.

Такие смещения влево легко реализуются в программе. 28 бит сегмента ключевой последовательности при: свайваются, бит за битом, временно-му массиву таким образом, чтобы его *i*-й элемент принимал значение либо (*i* + 1)-го, либо (*i* + 2)-го бита сегмента. Конечно, последний элемент (или два) временного массива нужно установить равным первому биту (или двум) ключевой последовательности.

В систему СКД входят также восемь модулей замены, каждый из которых преобразует 6-битную цепочку в 4-битную. Биты числа, подвергающегося преобразованию, сами подсказывают, какими значениями индексов строки и столбца следует воспользоваться в соответствующей таблице: первый и последний биты определяют индекс строки, а средние четыре бита - индекс столбца (см. рисунок на с. 84). Например, 6-битное число 111010 дает индекс строки 10 (крайние биты) и индекс столбца 1101 (внутренние биты). Эти двоичные числа представляют соответственно десятичные числа 2 и 13. Элемент в таблице S1 в строке 2 и столбце 13 - это десятичное число 10. В двоичной форме число 10 выглядит как 1010, которое и появится на выходе модуля S1, если на вход ему поступила цепочка 111010. (Большинству шифровальщиков, работающих с персональным компьютером, возможно, потребуются еще две процедуры преобразования для того, чтобы переводить двоичные числа в десятичные и наоборот.)

Теперь рассмотрим, как взаимодействуют между собой эти различные потоки битов. Цепочка из 64 бит поступает в модуль IP и подвергается перестановке, описанной в соответствующей таблице. Затем она прохо-

дит в центральный блок, где основной кодирующий алгоритм перемещивает ее до неузнаваемости в своих многочисленных вихрях, прежде чем она дойдет до модуля P1, где она подвергается перестановке, обратной по отношению к той, которую выполняет модуль IP.

IP	E	PC1	PC2	P	P1	
58	32	57	14	16	40	1
50	1	49	17	7	8	2
42	2	41	11	20	48	3
34	3	33	24	21	16	4
26	4	25	1	29	56	5
18	5	17	5	12	24	6
10	4	9	3	28	64	7
2	5	1	28	17	32	8
60	6	58	15	1	39	9
52	7	50	6	15	7	10
44	8	42	21	23	47	11
36	9	34	10	26	15	12
28	8	26	23	5	55	13
20	9	18	19	18	23	14
12	10	10	12	31	63	15
4	11	2	4	10	31	16
62	12	59	26	2	38	17
54	13	51	8	8	6	18
46	12	43	16	24	46	19
38	13	35	7	14	14	20
30	14	27	27	32	54	21
22	15	19	20	27	22	22
14	16	11	13	3	62	23
6	17	3	2	9	30	24
64	16	60	41	19	37	25
56	17	52	52	13	5	26
48	18	44	31	30	45	27
40	19	36	37	6	13	28
32	20	63	47	22	53	29
24	21	55	55	11	21	30
16	20	47	30	4	61	31
8	21	39	40	25	29	32
57	22	31	51		36	33
49	23	23	45		4	34
41	24	15	33		44	35
33	25	7	48		12	36
25	24	62	44		52	37
17	25	54	49		20	38
9	26	46	39		60	39
1	27	38	56		28	40
59	28	30	34		35	41
51	29	22	53		3	42
43	28	14	46		43	43
35	29	6	42		11	44
27	30	61	50		51	45
19	31	53	36		19	46
11	32	45	29		59	47
3		37	32		27	48
61	1	29			34	49
53		21			2	50
45		13			42	51
37		5			10	52
29		28			50	53
21		20			18	54
13		12			58	55
5		4			26	56
63					33	57
55					1	58
47					41	59
39					9	60
31					49	61
23					17	62
15					57	63
7					25	64

Таблицы перестановок, применяемые в системе СКД

На вход центрального блока поступает не только результат преобразования модуля IP, но и 48-битные ключи (пронумерованные от 1 до 16), которые генерируются модулем ключа-расписания из заданной пользователем ключевой цепочки длиной 64 бит. Одни и те же основные операции выполняются в центральном блоке 16 раз, по одному разу для каждого из различных 48-битных ключей. Подробнее, 64-битная цепочка из модуля IP расщепляется на правую и левую половинки по 32 бита. Копия правой половинки сливается затем с ключом 1 в так называемом F-модуле. Результат складывается по модулю 2 с левой половинкой. (Сложение по модулю 2 подобно обычному сложению, за исключением того, что 1 плюс 1 равно 0.) После этого 32-битная сумма и исходная 32-битная половинка цепочки меняются ролями перед следующим шагом итераций (на этот раз с ключом 2), при этом сумма становится правой половинкой 64-битной

цепочки, а правая половинка подставляется вместо левой. По завершении цикла из 16 таких итераций со слиянием и переменной мест две 32-битные цепочки снова объединяются, образуя единое целое - цепочку из 64 бит.

Операция F, пожалуй, стоит того, чтобы построить для нее отдельную диаграмму (см. рисунок на с. 86). Копия правой половинки текущей 64-битной цепочки входит в модуль выбора битов E, где она расширяется до 48 бит. Затем она складывается по модулю 2 с 48-битным ключом под номером, соответствующим данному шагу итераций. После этого 48 бит разветвляются сразу на 8 речушек, шириной по 6 бит каждая. Эти цепочки пробегают через модули замены от S1 до S8, где каждая из них сжимается до четырехбитного числа. Поэтому, когда 8 речушек снова сливаются в единый поток, общая ширина цепочки уже равна только 32 бит. В этой точке модуль P снова перемешивает цепочку.

Если читателю хватило упорства

внимательно проследить за всем этим описанием с начала до конца, то у него, естественно, может возникнуть вопрос, а возможно ли вообще восстановить исходный текст сообщения по шифровке после того «турбулентного перемешивания, которому подвергается этот текст, проходя сквозь систему СКД? Может быть, это настолько же трудно, как заставить воду течь в гору? В действительности дело обстоит именно так: прокрутим все основные операции центрального блока в обратном направлении. Направив 64-битную цепочку шифровки назад через модуль IP (аналогичная операция выполняется при кодировании сообщения), заставим цепочку повторить 16 шагов итераций в обратном порядке - от лежащего в основании центрального блока каскада со слиянием и переменной мест до вершины блока. Биты ключа также должны быть введены в модуль ключа-расписания в обратном порядке. После еще одной перестановки модулем P исходное сообщение, подобно гейзеру, вырвется вверх.

Достаточно ли надежна система СКД на самом деле? Некоторые критики говорят, что нет. Еще до того, как система СКД была принята в качестве стандарта, У. Диффи и М.Е. Хеллман из Станфордского университета предупреждали, что СКД уязвим по отношению к глобовой (т.е. с исчерпывающим перебором вариантов) атаке, предпринятой достаточно хорошо оснащенным противником, скажем, способным построить параллельные компьютеры с быстродействием, которое позволяет перебирать 10 миллиардов возможных ключей в секунду.

Другое слабое звено системы СКД связано с необходимостью рассылать секретные ключи как отправителям, так и получателям сообщений. Это упрощает работу для агентов противника, у них появляется возможность каким-то образом раздобыть ключ и, пользуясь им, расшифровать сообщения. Поэтому 12 лет назад Диффи и Хеллман предложили рассылать так называемые общественные ключи по абонентам сети связи.

Схема распределения общественных ключей основана на очень большом простом числе  $p$  и числе основания. Число  $a$  специально подбирается таким образом, чтобы  $a^n$  по модулю  $p$ , где  $n$  принимает значения 0, 1, 2, ..., давало все целые числа в диапазоне от 1 до  $p-1$ . Каждому абоненту сети связи известны числитель  $a$  и, каждый абонент должен представить свой ключ, который будет указан в справочнике сети. Например, абонент  $i$  выбирает персональный «полу-

НОМЕР ИТЕРАЦИИ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ЧИСЛО СДВИГОВ ВЛЕВО	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1

		КОЛОНКА															
РЯД		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
S1	0	14	4	13	1	2	15	11	8	3	10	6	12	5	9	0	7
	1	0	15	7	4	14	2	13	1	10	6	12	11	9	5	3	8
	2	4	1	14	8	13	6	2	11	15	12	9	7	3	10	5	0
	3	15	12	8	2	4	9	1	7	5	11	3	14	10	0	6	13
S2	0	15	1	8	14	6	11	3	4	9	7	2	13	12	0	5	10
	1	3	13	4	7	15	2	8	14	12	0	1	10	6	9	11	5
	2	0	14	7	11	10	4	13	1	5	8	12	6	9	3	2	15
	3	13	8	10	1	3	15	4	2	11	6	7	12	0	5	14	9
S3	0	10	0	9	14	6	3	15	5	1	13	12	7	11	4	2	8
	1	13	7	0	9	3	4	6	10	2	8	5	14	12	11	15	1
	2	13	6	4	9	8	15	3	0	11	1	2	12	5	10	14	7
	3	1	10	13	0	6	9	8	7	4	15	14	3	11	5	2	12
S4	0	7	13	14	3	0	6	9	10	1	2	8	5	11	12	4	15
	1	13	8	11	5	6	15	0	3	4	7	2	12	1	10	14	9
	2	10	6	9	0	12	11	7	13	15	1	3	14	5	2	8	4
	3	3	15	0	6	10	1	13	8	9	4	5	11	12	7	2	14
S5	0	2	12	4	1	7	10	11	6	8	5	3	15	13	0	14	9
	1	14	11	2	12	4	7	13	1	5	0	15	10	3	9	8	6
	2	4	2	1	11	10	13	7	8	15	9	12	5	6	3	0	14
	3	11	8	12	7	1	14	2	13	6	15	0	9	10	4	5	3
S6	0	12	1	10	15	9	2	6	8	0	13	3	4	14	7	5	11
	1	10	15	4	2	7	12	9	5	6	1	13	14	0	11	3	8
	2	9	14	15	5	2	8	12	3	7	0	4	10	1	13	11	6
	3	4	3	2	12	9	5	15	10	11	14	1	7	6	0	8	13
S7	0	4	11	2	14	15	0	8	13	3	12	9	7	5	10	6	1
	1	13	0	11	7	4	9	1	10	14	3	5	12	2	15	8	6
	2	1	4	11	13	12	3	7	14	10	15	6	8	0	5	9	2
	3	6	11	13	8	1	4	10	7	9	5	0	15	14	2	3	12
S8	0	13	2	8	4	6	15	11	1	10	9	3	14	5	0	12	7
	1	1	15	13	8	10	3	7	4	12	5	6	11	0	14	9	2
	2	7	11	4	1	9	12	14	2	0	6	10	13	15	3	5	8
	3	2	1	14	7	4	10	8	13	15	12	9	0	3	5	6	11

Таблица сдвига влево (вверху) и таблицы замены (внизу)

ключ  $x_i$  и запирает его в сейфе. Затем он вычисляет число  $k_i$  по формуле

$$k_i = a^{x_i} \pmod{p}$$

и высылает его администрации сети с тем, чтобы оно было опубликовано в справочнике под его именем. То же самое делают все абоненты.

Если теперь абонент  $j$  пожелает передать секретное сообщение абоненту  $i$ , он найдет в справочнике число  $k_i$  и, воспользовавшись своим личным полуключом  $x_j$ , вычислит комбинированный ключ  $k_{ij}$ , возведя  $k_i$  в степень  $x_j$  по модулю  $p$ . Другими словами,

$$k_{ij} = k_i^{x_j} \pmod{p}.$$

Зная, что сообщение послал абонент  $j$ , абонент  $i$  аналогично вычисляет ключ  $k_{ji}$ , возведя  $k_j$  в степень  $x_i$  по модулю  $p$ . Читателям, возможно, будет интересно убедиться, что оба абонента на самом деле пользуются одним и тем же ключом, другими словами, числа  $k_{ij}$  и  $k_{ji}$  равны.

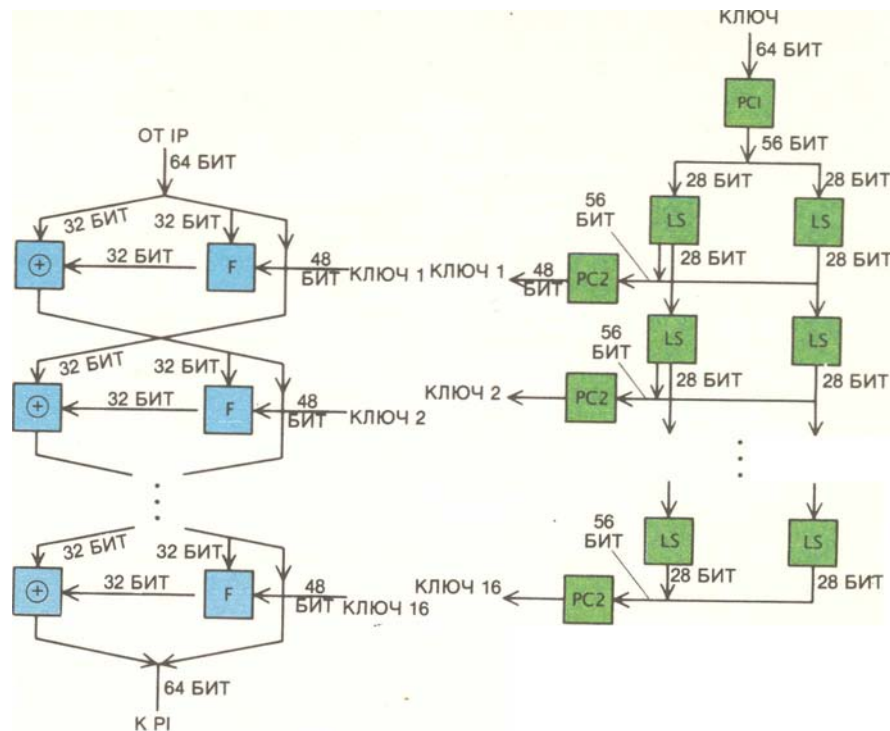
Заинтересованный посторонний может вторгнуться в систему общественных ключей, решив дискретную логарифмическую задачу за приемлемое время. Если число  $y$  в формуле

$$y = a^x \pmod{p}$$

назвать дискретной степенью  $a$ , то  $x$  можно назвать дискретным логарифмом числа  $y$  по основанию  $a$ . Дискретная логарифмическая задача заключается просто в том, чтобы найти  $x$  при известных  $y$  и  $a$ .

Существует ли метод более быстрый, чем простой перебор всех возможных значений  $x$  с возведением каждый раз в степень  $a$  по модулю  $p$  и сравнением результата с числом  $y$ ? Теоретики считают, что не существует, однако строго этого пока никто не доказал. Если дискретная логарифмическая задача в действительности окажется настолько же труднорешаемой, насколько это представляется, то очень большое значение  $x$ , скажем число с несколькими сотнями разрядов, должно уже отпугнуть любого любопытствующего вычислителя.

Диффи и Хеллман расширили свою схему рассылки общественных ключей в криптосистему общественного пользования, придумав специальную функцию, названную ими односторонней функцией-люком. Вот как работает их система. Абонент  $i$  сети связи произвольно выбирает целое число  $k_i$  в качестве своего персонального ключа, а в справочнике публикует свой специальный кодирующий алгоритм  $E_i$ . Он также формулирует другой алгоритм  $D_i$  для декодирования,



Расширение версии центрального блока (слева) и блока ключа-расписания (справа)

который держит в секрете. Абонент  $j$  делает то же самое, публикуя свой кодирующий алгоритм  $E_j$ , но оставляя свой личный ключ  $k_j$  и декодирующий алгоритм  $D_j$  в секрете.

Позже, когда абонент  $j$  захочет послать сообщение абоненту  $i$ , он просто ознакомится с его кодирующим алгоритмом  $E_i$  по справочнику и воспользуется им для того, чтобы закодировать свое сообщение, исходную форму которого мы обозначим через  $m$ . Короче говоря, он передаст шифровку  $y$ , где

$$y = E_i(m).$$

Теперь абонент  $i$  без труда расшифрует сообщение с помощью своего секретного алгоритма  $D_i$ .

Эффективность такой системы шифров в основном зависела от того, удастся ли найти «односторонние кодирующие алгоритмы», т. е. такие кодирующие алгоритмы  $E_i$ , знание которых ничего не говорило бы о соответствующих им декодирующих алгоритмах  $D_i$ . Идея подобной системы была очень привлекательной, хотя в то время, когда Диффи и Хеллман предложили ее, такие односторонние функции еще не были найдены.

Вот тогда-то и появилась криптосистема RSA, названная (по первым буквам фамилий) в честь Р.Ривеста, А.Шамира и Л.Адлемана, которые изобрели ее в 1978 г. Она и сейчас считается наиболее перспективной криптосистемой для сетей связи с извест-

ными ключами. Абоненты сети связи с шифром RSA выбирают каждый по два простых числа и кодирующий показатель степени. Например, абонент  $i$  выбирает простые числа  $P_i$  и  $Q_i$ , а также кодирующий показатель степени  $e_i$ . Он публикует произведение  $n_i = P_i \times Q_i$  и свой кодирующий алгоритм, преобразующий ЧисЛовое сообщение  $m$  следующим образом:

$$E_i(m) = m^{e_i} \pmod{n_i}.$$

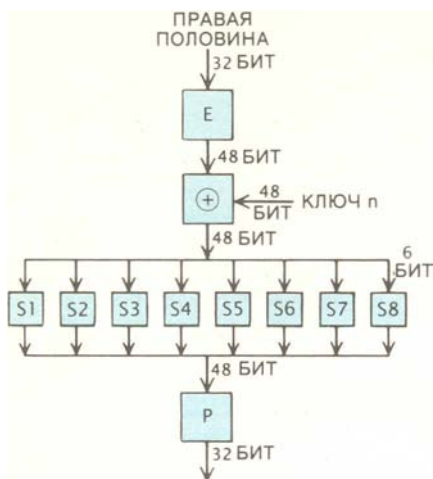
Абонент  $i$  составляет также свой личный декодирующий алгоритм:

$$D_i(x) = x^{d_i} \pmod{n_i}.$$

Оказывается, что алгоритм  $D_i$  в точности противоположен алгоритму  $E_i$ . Эти два алгоритма применяются именно так, как предсказывали Диффи и Хеллман в своем проекте системы шифров для сетей связи. Как же это все работает? Каким образом абонент  $i$  находит число  $d_i$ ?

Магическое число  $d_i$  нетрудно вычислить, зная числа  $e_i$  и  $f_i = (P_i - 1) \times (Q_i - 1)$ . Простой алгоритм, изобретенный еще Евклидом, позволяет вычислить  $d_i$  как наибольший общий делитель чисел  $e_i$  и  $f_i$ . Это наибольшее число, на которое и  $e_i$  и  $f_i$  делятся без остатка. Теория чисел, многие положения которой кажутся несколько удивительными, гарантирует, что произведение  $d_i$  и  $e_i$  можно представить как сумму числа, КраТного  $f_i$ , и единицы. Таким обра-

## Возвращение к ядерным реакторам



Расширенная версия модуля F

зом, когда абонент  $i$  получает сообщение, закодированное по его собственному алгоритму  $E_i$ , он фактически получает сообщение  $m$  в форме

$$m^{e_i} \pmod{n_i}.$$

Если он теперь возведет это выражение в степень  $d_i$ , то получит

$$m^{e_i \times d_i} \pmod{n_i}.$$

Новый показатель степени числа  $m$ , а именно  $e_i \times d_i$  как уже говорилось, равен сумме некоторого Кратного  $f_i$  и единицы. Однако, согласно другой теореме Евклида, число, возведенное в степень суммы  $f_i$  и 1 по модулю  $n_i$  точно равно числу  $m$  и, следовательно, исходная форма сообщения обнажается в лучах математического света.

Вопрос о том, возможно ли расшифровать коды системы RSA, имеет приблизительно такой же ответ, который можно дать на аналогичный вопрос, касающийся системы с известными ключами. Если кто-нибудь изобретет по-настоящему быстрый алгоритм разложения на множители, который бы очень легко разбивал большие числа на простые составляющие, то шифры системы RSA будут без особого труда раскрыты. Увидев число  $p_i$  в общедоступном справочнике сети связи, нарушитель разобьет его на множители  $P_i$  и  $q_i$  и найдет число  $d_i$  при ПОМОЩИ которого сможет декодировать любое шифрованное сообщение от абонента  $i$ . Однако, по мнению теоретиков, такая задача разложения на множители, по-видимому, навсегда останется труднорешаемой.

Из-за недостатка места комментарии по поводу нашей статьи в сентябрьском номере я отложу до следующего раза.

В США НАЗРЕВАЕТ сражение между сторонниками и противниками планируемой министерством энергетики постройки двух новых реакторов с целью получения сырья для ядерного оружия. За последние 15 лет не поступало заказов на изготовление столь крупных ядерных реакторов ни гражданского, ни военного назначения.

По сообщению министерства энергетики, эти реакторы необходимы для гарантированного производства трития, изотопа водорода, получаемого путем радиоактивного облучения лития и используемого для увеличения мощности взрыва ядерного заряда боеголовки. Между тем скептики, такие как сенатор Э. Холлингс из шт. Южная Каролина, задаются вопросом, оправданы ли затраты на постройку этих двух реакторов, оцениваемых в 6,8 млрд. долл., даже при самых пессимистичных прогнозах относительно возможных сокращений вооружений в будущем?

Многие признают необходимость некоторого увеличения производства трития. Ежегодно 5,5% трития в боеголовках распадается и требуется его пополнение. Существующие же реакторы, производящие тритий, конструктивно отстают от современных требований по обеспечению безопасности и они устарели из-за длительной эксплуатации.

На единственной атомной электростанции министерства энергетики Savannah River Plant в шт. Южная Каролина, где производится тритий, в прошлом году из-за образовавшихся в корпусе трещин был списан один старый реактор на тяжелой воде; три других реактора на той же станции, являющиеся в настоящее время единственным источником трития в стране, часто приходится останавливать для проведения ремонтных и регламентных работ. По соображениям безопасности, эксплуатация этих реакторов осуществляется в половину их мощности.

Результаты специального исследования, проведенного в прошлом году Национальным научно-исследовательским советом, вызывают серьезные сомнения в отношении возможности дальнейшей эксплуатации этих реакторов. В материалах исследования указывается на наличие в охлаждающей системе реакторов трещин, образовавшихся в результате напряжений и коррозии, отмечается «от-

сутствие твердой уверенности» в способности защитной оболочки реакторов предотвратить утечку радиоактивности в случае крупной аварии и критикуется руководство этим объектом министерством энергетики. Уверенность в надежности реакторов была еще более поколеблена в августе прошлого года, когда инспекторы по технике безопасности оказались свидетелями того, как безуспешно пытались запустить один из реакторов, обслуживающий персонал станции вдруг стал повышать нагрузку, вместо того чтобы немедленно заглушить его. Несколько дней спустя, на этом же реакторе был отмечен самопроизвольный «всплеск» нагрузки; возможно, это и не было связано с предыдущей неполадкой, но тем не менее не могло не насторожить.

О планах постройки двух новых реакторов для производства трития министерство энергетики объявило незадолго до этого случая. Один большой реактор на тяжелой воде намечено было в кратчайший срок построить на территории Savannah River Plant; его сооружение планировалось произвести за срок около 10 лет. Одновременно предполагалось приступить к проектированию так называемой модульной высокотемпературной ядерной установки с газовым охлаждением и затем соорудить ее на территории Национальной технической лаборатории в шт. Айдахо. Как указывает министерство энергетики, одного реактора на атомной станции Savannah River Plant вполне хватило бы на удовлетворение потребности в тритии, а реактор в шт. Айдахо дополнительно производил бы еще 50% трития сверх необходимого количества.

Дополнительное количество трития может быть получено, даже если не удастся достичь новых соглашений с СССР о крупномасштабных сокращениях вооружений. Каждое такое соглашение заметно уменьшает потребность в тритии и резко увеличивает его наличное количество за счет изъятия из демонтированных боеголовки. Как считает Д. Олбрайт из Ассоциации американских ученых, решение о постройке даже одного дополнительного реактора вполне можно было бы отложить до того, как станут известны результаты проходящих сейчас переговоров о сокращении стратегических вооружений. Сенатор от шт. Массачусетс Э. Кеннеди, как и ряд других, в чрезмерном расширении мощностей по производству трития усматривает опасность для будущих попыток наладить взаимный контроль за



его производством, который может предусматриваться новым соглашением о контроле над вооружениями.

Прямо противоположную позицию в этом вопросе занимает сенатор от шт. Айдахо Дж. Мак-Клур, ярый сторонник постройки двух дополнительных реакторов. Он считает, что разумно иметь несколько источников трития в различных местах на случай возможных аварий и подчеркивает, что опасно полагаться лишь на действующие реакторы. По его мнению, работу по сооружению новых реакторов следует начать как можно скорее, учитывая возможность всяческих задержек из-за технических проблем. Мак-Клур полагает, что Консультативный совет по исследованиям в области энергетики министерства энергетики, который ранее сделал вывод о техническом совершенстве реактора на тяжелой воде, предназначенного для сооружения в шт. Северная Каролина, недооценил сложности с реализацией этого плана. В связи с этим сенатор считает необходимым внести в конструкцию активной зоны реактора и литиевых мишеней необходимые изменения.

Сенатор Мак-Клур также предлагает сделать второй реактор по производству трития в виде образцового «абсолютно безопасного» энергообъекта будущего. В конструкции этого реактора, разработанного фирмой General Atomics в Сан-Диего, используется графитовый замедлитель и гелиевая система охлаждения; реактор не нуждается в сложной и технически несовершенной системе защиты для предупреждения утечки радиации в случае аварии. Если выйдет из строя система охлаждения, размещенный под землей реактор начнет охлаждаться естественным путем и его температура не будет превышать опасный уровень. Реактор такого типа уже построен в Форт-Сен-Врейне (шт. Колорадо), но расположен он на поверхности земли. Свойственные этому реактору недостатки, по мнению специалистов General Atomics, в новой конструкции можно устранить.

В настоящее время, когда в возрождении ядерной энергетики видится один из возможных путей уменьшения зависимости от природного топлива, идея об испытании реактора новой конструкции за счет военного ведомства многим кажется привлекательной. Ожидается, что министерство энергетики обратится с просьбой о выделении из федерального бюджета средств на постройку новых реакторов. Проект федерального бюджета на 1990 финансовый год планируется направить на рассмотрение в конгресс США в январе.

## Еще раз о гравитационной постоянной

**У**ЖЕ В ТЕЧЕНИЕ целого века умами физиков владеет мысль о том, что ньютоновская гравитационная постоянная  $G$  может на самом деле меняться со временем. Австралийский физик Э. Мах предположил, что силы, действующие, например, на воду во вращающемся ведре, обусловлены ускорениями относительно удаленных галактик. Эта идея, известная как принцип Маха, привела к возникновению нескольких теорий, в которых  $G$  должна меняться с расширением Вселенной.

Теория «переменной  $G$ » другого типа была предложена П. Дираком в 1938 г. Он заметил, что отношение размера Вселенной к размеру атома водорода очень близко к отношению электрического и гравитационного притяжения между протоном и электроном в атоме. Эти отношения выражаются огромным числом  $10^{39}$ .

Все величины в обоих отношениях, за исключением размера Вселенной, постоянны, и совсем не очевидно, почему Вселенная должна иметь как раз такой размер, чтобы эти отношения были примерно равны друг другу. Их кажущееся на первый взгляд равенство может быть просто «космическим» совпадением, однако если по неизвестным фундаментальным причинам оба эти отношения должны быть действительно всегда равны друг другу, то отсюда почти сразу следует, что постоянная  $G$  должна уменьшаться с расширением Вселенной. Совсем недавно предсказание возможного изменения с возрастом Вселенной фундаментальных констант, включая  $G$ , появилось в теориях суперструн.

Несмотря на эти многочисленные предсказания об изменении таких постоянных, к настоящему времени ни в одном эксперименте не найдено никаких свидетельств их переменности. Астрономические наблюдения орбитального периода Луны (который бы изменялся, если бы  $G$  менялась), а также данные с космических аппаратов «Викинг» об орбитальном периоде Марса показывают, что любые вариации  $G$  должны составлять менее  $3 \cdot 10^{-11}$  частей в год.

Кроме того, при большем значении  $G$  в прошлом содержание гелия, образовавшегося в эпоху Большого взрыва, превысило бы 24%. Именно это количество гелия предсказывается при использовании в расчетах современного значения  $G$ . Но из астрономических наблюдений известно, что гелий составляет не более 25% вещества во Вселенной. Это определяет верхний предел на переменность  $G$  по

рядка  $2 \cdot 10^{-11}$  частей в год или даже значительно меньше в некоторых космологических теориях. Другими словами, постоянная  $G$  могла бы измениться не более чем на 20% за время, прошедшее с Большого взрыва.

Недавно в журнале «Physical Review Letters» Т. Дамур, Г. Гиббонз и Дж. Тэйлор сообщили, что наблюдения двойного радиопульсара PSR 1913 + 16 дают похожие оценки:  $G$  может меняться не больше чем на  $(1 \pm 2,3) \cdot 10^{-11}$  частей в год (здесь величина 2,3 представляет два стандартных отклонения).

Этот двойной пульсар состоит из нейтронной звезды, вращающейся вокруг другого компактного объекта; со времени своего открытия в 1974 г. он интенсивно изучается. Его орбитальный период и скорость изменения орбитального периода во времени известны с необычайно высокой точностью. Так, скорость изменения орбитального периода известна с точностью до 13-го знака после запятой. В общей теории относительности Эйнштейна предсказывается, что орбитальный период двойного пульсара будет изменяться при излучении системой гравитационных волн; это должно вести к постоянному приближению звезд по спирали друг к другу. Наблюдаемое изменение орбитального периода прекрасно согласуется со значением, предсказываемым общей теорией относительности в предположении постоянной величины  $G$ .

Однако если бы постоянная  $G$  медленно менялась, то описывающие движение пульсара по орбите уравнения также изменились бы и предсказывали другую скорость изменения орбитального периода. Таким образом, небольшая разница между наблюдениями и предсказаниями общей теорией относительности позволяет оценить максимальный эффект, который можно считать вызванным непостоянством  $G$ . Именно эта методика и привела к указанному выше пределу на переменность  $G$ . По словам авторов сообщения, его величина согласуется с нулевым значением. Все-таки кое-что в природе никогда не изменяется.

## ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

Издательство «Мир» не занимается рассылкой и продажей книг и собирается предварительные заказы на свои книги. Все заказы следует направлять в книжные магазины.



## Об «иллюзии кафельной стенки», в которой ряды плиток кажутся искривленными, хотя они вовсе не искривлены



ДЖИРЛ УОЛКЕР

«ИЛЛЮЗИЯ кафельной стенки» возникает при разглядывании плоскости, покрытой чередующимися квадратами или прямоугольниками, которые разделены тонкими «швами». Иллюзия состоит в том, что горизонтальные линии кажутся сходящимися к левой или правой стороне. Направление схождения меняется от ряда к ряду: в одном ряду плитки как бы увеличиваются слева направо, в другом - справа налево.

Специалисты по зрительному восприятию обратили внимание на эту иллюзию в начале 1970-х годов, после того как она была замечена на стенке кафе в Бристоле в Великобритании. В 1979 г. Р. Грегори и П. Херд из Бристольского университета опубликовали первый подробный анализ этой иллюзии. Они связали ее с гораздо более «старой» иллюзией, известной под названием узора Мюнстерберга и названной так по имени психолога Х. Мюнстерберга, описавшего ее в 1897 г. В узоре Мюнстерберга верхняя и нижняя стороны каждой плитки также кажутся наклонными и направление наклона меняется от ряда к ряду, однако эффект схождения здесь слабее. Замечается также светлая область, «вспыхивающая на месте чер-

ных вертикальных столбцов в непосредственной близости от белых прямоугольников. В обоих узорах наклон кажущийся: на самом деле плитки не имеют никаких наклонных элементов. Избавиться от иллюзии наклона можно, если рассматривать рисунок под очень малым углом к странице. (Чтобы иллюзия проявилась более заметно, подложите под страницу лист темной бумаги, которая «скроет» текст, проступающий с обратной стороны.)

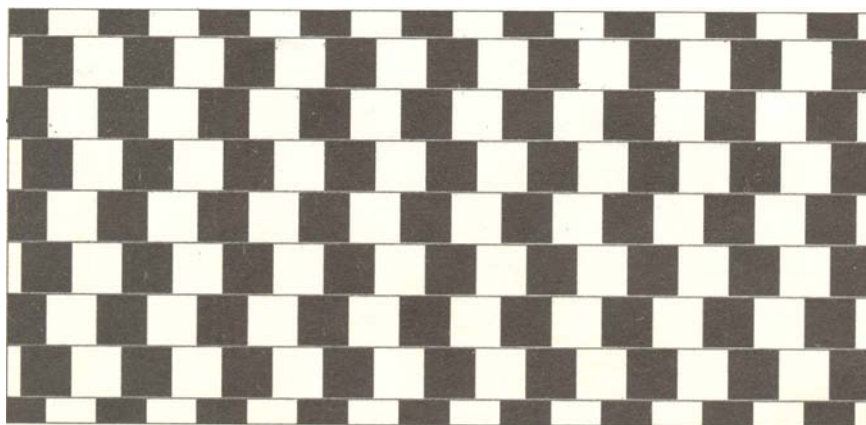
Грегори, Херд и другие исследователи заметили, что иллюзия кафельной стенки проявляется особенно отчетливо, когда темные и светлые плитки контрастируют по яркости, а шов достаточно узок и по яркости занимает промежуточное положение между темными и светлыми плитками. Если яркость шва такая же, как у светлых плиток, иллюзия ослабевает и даже может вообще пропасть; если же шов совсем светлый, иллюзия не возникает вообще. Когда шов такой же темный, как и темные плитки, возникает иллюзия Мюнстерберга со слабым схождением; если он более темный, схождение отсутствует. Плитки не обязательно должны быть черными и белыми; они могут быть

цветными, но если они не различаются по яркости, иллюзия не возникает. Плитки должны чередоваться в строгом порядке, однако если они смещены относительно друг друга так, что образуют в точности шахматную доску, иллюзия тоже отсутствует.

Грегори и Херд попытались сравнить кафельную стенку с определенными структурами, придуманными Дж. Фрейзером в начале века. Фрейзер показал, как «составить» узкую полосу из чередующихся слегка наклонных темных и светлых линий, чтобы возникла иллюзия наклона самой полосы. Иллюзия носит название эффекта скрученных шнуров, поскольку каждая полоска напоминает два шнура, обвивающие друг друга. Объяснение эффекта скрученных шнуров так и не найдено. Возможно, он связан с тем обстоятельством, что детекторы зрительной системы, отвечающие за распознавание мелкошабных («локальных») ориентаций, влияют на восприятие крупношабных («глобальных») ориентаций. Это влияние, по-видимому, становится более сильным, когда в поле зрения находится большое количество одинаковых или немного различающихся локально наклонных элементов.

Можно ли сказать, что наклон в иллюзии кафельной стенки возникает благодаря именно такому механизму? Если да, то что играет роль этих локально наклонных элементов? Можно было бы полагать, что все дело в относительном смещении черных и белых плиток в соседних рядах, но размеры плиток слишком велики; кроме того, это предположение не учитывает различий в яркости шва и плиток. Тем не менее долгое время исследователи пытались обнаружить какие-либо локально наклонные элементы, которые могли бы повлиять на воспринимаемое схождение рядов плиток в целом.

Грегори и Херд предположили, что локальный наклон «создается», когда зрительная система определяет границы шва. Чтобы противодействовать непрекращающимся слабым движениям глазных яблок, в результате которых изображения границ «ездят» по сетчатке, необходим некий механизм, который фиксировал бы положение изображений границ так, чтобы картина казалась неподвижной. Там, где шов разделяет плитки одного цвета (либо черные, либо белые), этот механизм устанавливает положение границ точно. Но там, где шов разделяет плитки, различающиеся по яркости (при условии, что сам шов темнее светлой плитки и светлее темной), фиксирующий механизм, возможно, работает хуже и изображения границ слегка смешаются. Тог-



Кафельная стенка

да зрительная система отмечает периодические отклонения границ шва от прямой линии, так что линия шва воспринимается как жгут из скрученных шнуров.

В 1979 г. Б. Моулден и Дж. Реншоу из Университета Ридинга попытались разгадать причину иллюзии Мюнстерберга, основываясь на идее Германа Гельмгольца - известного ученого XIX в., одного из первых исследователей зрительного восприятия. Когда яркая белая область примыкает к темной, граница между ними кажется смещенной в темную область - эффект, называемый иррадиацией. Такое смещение границы может объяснить кажущееся расширение белой плитки на фоне черных. Снизу и сверху от нее, где находятся белые плитки, такое расширение не наблюдается. Таким образом, локальный наклон белой плитки возникает из-за различной оценки ее частей.

Еще одну попытку анализа предпринял в 1983 г. М. Маккурт из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре. Он рассмотрел эффект, называемый индукцией яркости, который состоит в том, что чередование светлых и темных плиток кафельной стенки вызывает небольшие изменения в воспринимаемой яркости горизонтальных швов. Участок шва между темными плитками кажется несколько более ярким, а между светлыми плитками - несколько более темным. Отрезок шва, кажущийся более темным, соединяет две темные плитки, а отрезок, кажущийся более светлым, - две светлые. В силу наклона и параллельности черных и белых структур линия шва напоминает скрученный шнур.

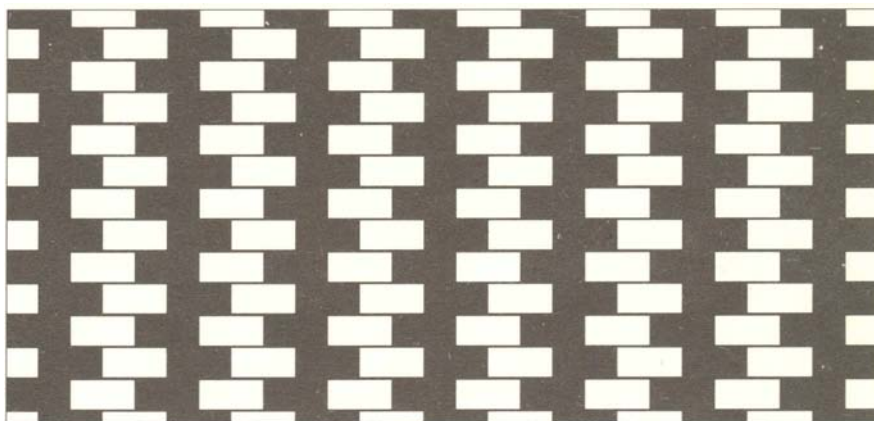
Дополнительный опыт показал, что если сделать шов местами более темным, а местами более светлым, чтобы его яркость действительно менялась периодически (см. рисунок внизу), иллюзия кафельной стенки станет выразительнее. Еще более сильной она станет, если заменить линию шва светлыми и темными отрезками, которые действительно наклонены между плитками одной яркости.

М. Морган из Университетского колледжа в Лондоне и Б. Моулден дали в 1986 г., пожалуй, наилучшее объяснение иллюзии кафельной стенки. Они основывались на модели зрения, которая была разработана за последние 25 лет. Особенно большой вклад внес покойный Д. Марр, работавший в Массачусетском технологическом институте. Сначала я опишу простой вариант этой модели, сосредоточив внимание на процессах, происходящих на сетчатке и оставляя в стороне математическую сторону проблемы, а затем вернусь к нашей теме.

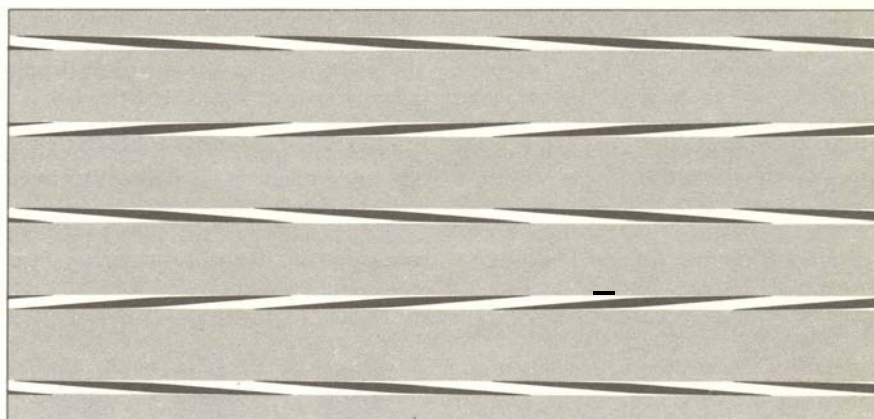
Марр утверждал, что на начальных стадиях обработки зрительной информации происходит построение «грубого первичного наброска» (эскиза) той реальной сцены, которую видит глаз. По богатству деталей этот эскиз далек от реальной сцены, но в нем присутствуют выпуклости, полосы, заметны концы линий и участки краев, которые грубо обрисовывают

реальные объекты. Для того чтобы построить этот эскиз, на начальных стадиях обработки зрительной информации сетчатка и мозг выделяют резкие перепады яркости, которые соответствуют границам светлого и темного.

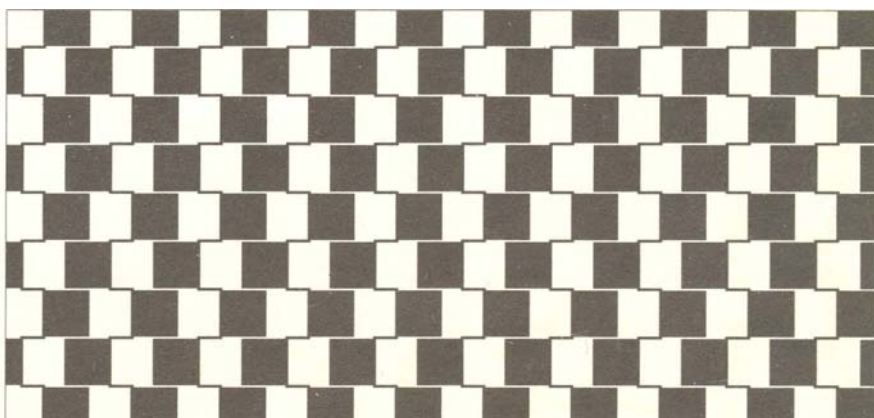
Обработка информации начинается в сетчатке: Фоторецепторы поглощают фотоны и посылают сигналы через биполярные клетки другим клет-



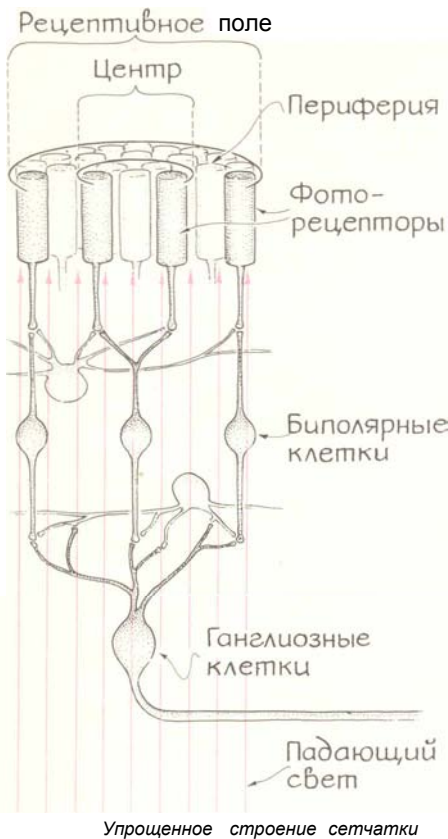
«Узор Мюнстерберга»



«Узор скрученных шнуров»



Вариант узора из кафельных плиток



кам - ганглиозным (рис. сверху). Каждая ганглиозная клетка связана с группой фоторецепторов, занимающих на сетчатке небольшую область - рецептивное поле ганглиозной клетки. (На рисунке показаны лишь несколько фоторецепторов.) Это поле делится на центр и перифе-

рию, которые реагируют взаимно противоположным образом на освещение поля.

Величина сигнала, идущего от ганглиозной клетки, определяется частотой импульсов, посылаемых клеткой в следующие уровни зрительной системы. Неосвещенная клетка посылает в единицу времени немного импульсов, и эта частота называется «уровнем покоя». Предположим, освещены только фоторецепторы центра рецептивного поля. Клетки одного типа, называемые клетками с оп-центром, в этом случае увеличивают скорость посылки импульсов, а клетки другого типа, называемые клетками с off-центром, «выключаются». Если освещена только периферия рецептивного поля, все происходит наоборот: клетки с оп-центром «выключаются», а клетки с off-центром начинают посылать импульсы с частотой, которая превышает уровень покоя. Если же и центр, и периферия освещены одинаково, и те и другие клетки могут посылать импульсы с частотой, которая лишь ненамного больше уровня покоя.

Предположим, граница, разделяющая светлую и темную области, отображается на сетчатку (см. рисунок внизу). При ровном освещении светлой области оп- и off-клетки посылают импульсы или с частотой покоя или несколько чаще. В том участке сетчатки, куда попадает изображение темной области, клетки обоих типов посылают импульсы лишь с частотой покоя. Клетки, на которые падает изображение границы, ведут себя более активно. Всякая оп-клетка, чей

центр лежит в более светлой области, чем одна сторона ее периферии, посылает импульсы с большой частотой. Также ведет себя всякая off-клетка, центр которой находится в более темной области, чем одна сторона ее периферии. Сигналы от клеток двух типов идут по зрительному пути независимо и складываются лишь тогда, когда к эскизу добавляется информация об ориентации границ. Если оп-клетки активны в одном месте на сетчатке, а off-клетки - рядом, между двумя группами клеток должна проходить граница и отображение этой границы добавляется к эскизу.

Марр предполагал, что ответ ганглиозной клетки является мерой того, насколько велики перепады яркости в рецептивном поле. Если поле освещено однородно (сильным или слабым светом) или меняется плавно, клетки посылают импульсы с частотой покоя или несколько чаще. Если же освещенность меняется резко, как при наличии границы, некоторые клетки ведут себя более активно: это оп-клетки, находящиеся на светлой стороне границы, и оп-клетки, находящиеся на темной стороне. Когда вы смотрите на узкую темную полосу, детекторы обнаруживают две границы; изображение внутренней части полосы активизирует off-клетки, а изображения участков, примыкающих к полоске с двух сторон, - оп-клетки. Когда вы смотрите на светлую полосу, распределение активности клеток прямо противоположное.

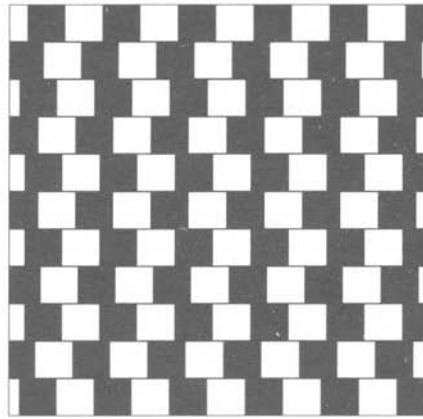
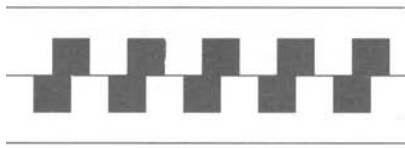
Морган и Моулден применили модель Марра для анализа иллюзии кафельной стенки и иллюзии Мюнстерберга. Рассмотрим иллюзию кафельной стенки, когда яркость шва имеет промежуточное значение между яркостями светлой и темной плиток. Однородное освещение сетчатки в участках, соответствующих изображениям самих плиток, порождает слабый сигнал ганглиозных клеток. На рисунке внизу справа эти участки показаны серым. Более сильные сигналы порождаются краями плиток и швом. Там, где шов разделяет светлые плитки (если сам он выглядит более темным), активизируются off-клетки. Линия активности off-клеток соединяется с краями изображений темных плиток, которым также соответствует сильный сигнал off-клеток. На рисунке эти линии показаны черным. Там, где шов разделяет темные плитки (если сам шов более светлый), активизируются оп-клетки. Линия их активности соединяется с краями изображений светлых плиток, которые также дают сильный сигнал оп-клеток. На рисунке эти линии показаны белым. (Не принимайте серую, черную и белую окраску на рисунке за реальную осве-



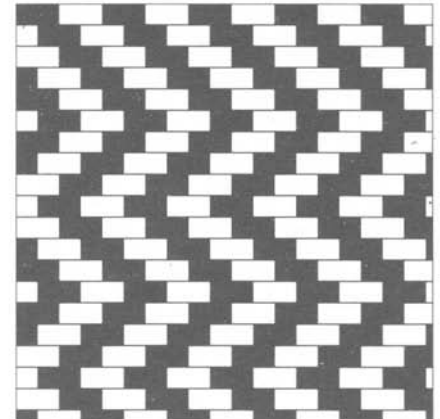
Ответ ганглиозной клетки на границе темного и светлого



Величина сигнала ганглиозной клетки



Варианты узора Мюнстерберга



«Детсадовская иллюзия»

шенность; они обозначают только величину сигнала. Картина реальной, воспринимаемой освещенности добавляется, по всей вероятности, на более поздних стадиях переработки зрительной информации.)

Заметьте, что на рисунке области сильных сигналов on- и off-клеток образуют повторяющуюся картину, которая напоминает две или три ступеньки. Ступеньки поднимаются либо справа налево, либо слева направо, образуя структуру с небольшим наклоном. Наклон означает, что, когда изображения границ добавятся к эскизу, они будут слегка наклонены относительно линии шва. Повторение ступенек означает, что локальный наклон порождает наклон в целом, как в композиции скрученных шнуров. Иллюзия возникает не потому, что в рисунке есть локально наклонные элементы, а потому что переработанные сигналы заставляют эскиз линии шва выглядеть так, будто шов составлен из наклонных элементов.

Быть может, вы сочтете, что это объяснение слишком длинно, но оно очень точно учитывает зависимость иллюзии от яркости шва. Если шов и светлые плитки одинаковы по яркости, сигналы off-клеток в тех местах, где шов разделяет светлые плитки, отсутствуют, и сходство между изображениями, «построенными ганглиозными клетками, и структурой скрученных шнуров ослабевает. Если яркость шва больше, on-клетки дают сильный сигнал в этих местах, и иллюзия не возникает.

Если яркость шва такая же, как яр-

кость темных плиток, иллюзия схождения слабее, а в некоторых случаях ее нет вообще, поскольку никаких сигналов от on-клеток с тех мест, где шов разделяет темные плитки, не поступает. Если шов темнее, на линии раздела активизируются off-клетки и иллюзия, разумеется, пропадает.

Иррадиация, возникающая в узоре Мюнстерберга, может включать в себя и другой артефакт, связанный с определением границ. В 1984 г. М. Морган, Б. Моулден, Г. Мейгер из Университетского колледжа в Лондоне и Р. Уатт из Университета Ридинга высказали предположение, что иррадиация обусловлена нелинейным откликом клеток на начальных ступенях зрительной системы. Хотя звено, где это происходит, определено не было, возможно, это Фоторецепторы, биполярные клетки или их бесчисленные связи. Термин «нелинейный» означает, что если яркость света изменяется на небольшую величину, соответствующее изменение в отклике зрительной системы будет зависеть от того, насколько этот свет ЯРОК. Нелинейный отклик изменяет выполняемую ганглиозными клетками. Оценку перепада яркости в их рецептивных полях, и в результате граница светлого и темного кажется слегка смещенной в темную область.

Существует несколько вариантов иллюзии Мюнстерберга; два варианта изучались и описаны в 1978 г. Р. деем из Университета Монаша в Австралии; они иллюстрируются на рисунке вверху слева. Первый - это «усеченный» вариант иллюзии, в ко-

тором средняя линия кажется наклоненной по отношению к верхней и нижней (на самом деле они все параллельны). Во втором варианте сдвиг плиток изменяется от ряда к ряду.

Дей также упоминает и другой узор, придуманный раньше (вверху справа), который создает так называемую «детсадовскую» иллюзию. Он ссылается и на неопищенное в литературе наблюдение, сделанное Грегори, который указывал, что хотя узор, создающий детсадовскую иллюзию, напоминает узор Мюнстерберга, но когда они оба построены из цветных плиток одинаковой яркости, в первом в определенной мере сохраняется схождение, а во втором нет. Возможно, в восприятии детсадовской иллюзии действуют какие-то иные механизмы.

Еще одна иллюзия схождения была описана в 1980 г. С. Тейлором и Дж. Вудхауз из Кардиффского университета в Уэльсе (см. рисунок внизу). Когда границей между двумя соседними квадратами в ряду служит одна линия, иллюзия не возникает (слева). Если же граница формируется двумя явно различными отрезками, возникает впечатление того, что линии сходятся (в середине). Здесь показан и «усеченный» вариант иллюзии (справа); этот рисунок напоминает узор из скрученных шнуров, хотя наклонных элементов здесь нет. Мне кажется, что в этих простых структурах наклон (по отношению к длинным параллельным линиям) обнаруживается даже тогда, когда они расположены столбиком или разбросаны по стро-



Иллюзия Тейлора-Вудхауз

П. Брессан из Падуанского университета показала, что иллюзия схождения пропадает, если линии в усеченном варианте слишком тонки или слишком толсты.

Я думаю, что эта иллюзия должна иметь какое-то отношение к отображению линий в эскизе, который конструирует зрительная система. Если линии слишком тонки, они представляются горизонтальными отрезками. Если же эти линии слишком толсты, их детали с большим правдоподобием «рисуются» с краями, которые сохраняют свою горизонтальность. Однако если эти линии не слишком тон-

ки и не слишком толсты, они представляются наклонными полосками, которые аппроксимируют их форму без деталей. Позднее в эскиз добавляются детали, и в конце концов вы видите плотные линии, но впечатление наклона сохраняется.

При желании вы всегда можете найти примеры иллюзий на выложенных кафелем стенках, в произведениях графики и современного искусства. Забавная мысль: сколько же раз графический рисунок должен был изображаться неправильно или кафельная стенка переделываться, чтобы выглядеть правильной?

## Наука и общество

### Шаткие доказательства

**В**ПРОЦЕССЕ поиска планетных систем у других звезд многообещающие и интригующие заявления ученых впоследствии неизменно приводили к разочарованиям. Примерно 30 лет назад П. ван де Камп сообщил об обнаружении волнообразных изменений координат одной из ближайших к Солнцу звезд - звезды Барнарда и объяснил это явление гравитационным притяжением невидимой гигантской планеты. К сожалению, впоследствии более точные измерения не подтвердили этого наблюдения. В 1985 г. группа астрономов из Аризонского Университета и Национальной оптической астрономической обсерватории объявила о непосредственном обнаружении планетоподобного объекта вблизи другой звезды из окрестностей Солнца; это открытие было сделано с помощью сложного метода обработки изображений, называемого спекл-интерферометрией. И опять последующие наблюдения показали, что сообщение об открытии было ошибочным.

Неудачи, однако, не смутили ученых, и недавно две группы астрономов (из Аризонского университета под руководством Б. Кэмпбелла и из Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра под руководством Д. Лейтема) предложили еще две кандидатуры на роль звезд с планетоподобными СПУТНИКАМИ. Сам факт наличия спутников у этих звезд вряд ли будет впоследствии опровергнут. Вопрос в том, какова природа спутников: являются ли они планетами или это более массивные, звездоподобные тела.

Как и ван де Камп, Кэмпбелл и Лейтема искали у звезд колебательные изменения их положений. Ван де Камп использовал астрометрические методы, определяя смещение близких к

Земле звезд относительно звезд настолько далеких, что их положение на небе кажется неизменным во времени. Группы Кэмпбелла и Лейтема изучали спектры звезд, пытались с помощью эффекта Доплера обнаружить движение звезды в направлении к Земле или от нее, т. е. вдоль луча зрения. Используемый ими метод позволяет изучать гораздо больше звезд, чем с помощью астрометрических измерений, необходимо лишь, чтобы яркость исследуемой звезды была достаточно велика.

Однако, давая информацию о ДВИЖЕНИИ звезды только в одном направлении, спектральный анализ не позволяет установить пространственную ориентацию орбитальной плоскости спутника. При этом можно определить лишь нижний предел массы спутника в предположении о параллельности плоскости его орбиты лучу зрения, т. е. земной наблюдатель видит орбитальную плоскость как бы «с ребра», так что гравитационное влияние спутника на звезду проявляется при наблюдениях в полной мере.

После семилетнего изучения группы звезд Кэмпбеллу удалось обнаружить в спектре звезды гамма Цефея очень малые колебания сложной формы. Для их объяснения он предположил, что на гамму Цефея одновременно влияют два тела: планетоподобный объект с орбитальным периодом 3,1 года и удаленная, невидимая звезда. По оценке ученого, масса планеты по крайней мере в 1,6 раза превосходит массу Юпитера. Другие астрономы, впрочем, считают, что наблюдавшееся Кэмпбеллом очень малое доплеровское смещение может быть результатом циклических флуктуаций на поверхности звезды, обусловленных конвекцией. Возражая оппонентам, Кэмпбелл говорит, что если бы доплеровское смещение было обусловлено конвекцией - универсаль-

ным явлением в мире звезд, - то аналогичное смещение наблюдалось бы у большинства изученных им звезд.

Лейтема также на протяжении семи лет изучал группу звезд, и у одной из них, обозначенной HD 114762, ему удалось надежно зарегистрировать периодические смещения. По его словам, их период равен 84 суткам, что всего на 4 суток короче орбитального периода Меркурия. Масса спутника, который, по-видимому, обращается вокруг HD 114762 по орбите весьма малого радиуса, превосходит массу Юпитера по крайней мере в 10 раз. Такая величина нижнего предела массы заставляет отнести данный объект к классу коричневых карликов - гипотетических объектов, более массивных, чем планеты, но слишком маленьких, чтобы в их недрах начались термоядерные реакции, которые обеспечивают свечение звезд. Преимущество объекта Лейтема по сравнению с объектом Кэмпбелла состоит в том, что спектральные наблюдения Лейтема были подтверждены другим исследователем - М. Мейером из Женевской обсерватории.

Возможно, существуют другие планетные системы. Кэмпбелл, Лейтема и Мейер примерно половину изученных ими звезд занесли в категорию «подозрительных» кандидатур. Однако, по мнению Дж. Гатвуда из Аллегхенской обсерватории, чтобы убедить скептически настроенных астрономов в существовании планет у той или иной звезды, придется провести повторно не только спектральные исследования, но и спекл-интерферометрические или астрономические измерения. Сбор таких «подтверждающих» данных, по-видимому, потребует нескольких лет. Поэтому, считает Гатвуд, если в технике получения и обработки изображений не произойдет качественных изменений, вряд ли можно ожидать сообщений об открытии планет земных размеров в обозримом будущем.

### Сосуществование с самим собой

**И**ММУННУЮ систему организма иной раз можно было бы считать его внутренним врагом. И В-лимфоциты, секретирующие антитела, и Т-лимфоциты, убивающие чужеродные клетки, а также регулирующие иммунную защиту, узнают свои мишени посредством поверхностных рецепторов, разнообразие которых достаточно для того, чтобы могла быть связана практически любая крупная молекула, в том числе компоненты собственного организма. Тем не менее аутоиммунные реакции, лежащие в основе такого, например, заболева-

ния, как ювенильный диабет, - скорее исключение, чем правило. Каким же образом удерживаются под контролем клетки, нацеленные на «своин молекулы»?

Ранее было показано, что В- или Т-клетки, которые сталкиваются с соответствующим антигеном (т. е. молекулой-мишенью, к которой они специфичны) до того как достигают конечной стадии созревания, становятся толерантными к нему: они не могут отвечать на этот антиген в дальнейшем. Ауто толерантность, вероятнее всего, развивается в результате того, что незрелые Т- и В-клетки, несущие рецепторы к антигенам собственного организма, неизбежно встречают свои мишени и возникает толерантность к ним. Но судьба таких аутореактивных клеток остается загадочной: погибают ли они, или же просто инактивируются? В настоящее время над решением этой загадки бьются многие исследователи, применяя самые изощренные экспериментальные подходы. Как ни странно, для Т- и для В-лимфоцитов ситуация, похоже, разная.

При изучении ауто толерантности существуют две основные трудности. Аутореактивные клоны (т. е. группы генетически идентичных клеток, обладающих рецепторами к одному и тому же антигену собственного организма) обычно «затеряны» среди многих миллионов В- и Т-клеточных клонов, имеющих в иммунной системе. До последнего времени единственным способом обнаружения аутореактивного клона была регистрация его специфической активности, т. е. способности секретировать определенные антитела или активировать другие клетки иммунной системы. Такой критерий не позволяет отличить отсутствие самих клеток от отсутствия у них активности.

Недавно группе исследователей под руководством К. Гуднау и Э. Бастена из Сиднейского университета удалось проследить судьбу аутореактивных В-клеток. Успех принесла линия мышей, генетически способных производить В-клетки только одного типа, нацеленные на один-единственный антиген - синтезирующийся в их собственном организме новый белок. Для того чтобы непосредственно обнаружить эти В-клетки, исследователи получили тестерные антитела, узнающие поверхностный рецептор аутореактивных клеток, и пометили их флуоресцентным красителем.

Создание линии аутореактивных мышей описано в журнале «Nature». Сначала в оплодотворенные яйцеклетки мышей двух линий ввели чужеродные гены. Одна линия получила ген лизоцима куриного Яйца(HEL)- нетоксичного белка, который в норме

является чужим для мышинной иммунной системы. Другая линия приобрела ген антитела к HEL. В потомстве, несущем первый ген, HEL стал «своим белком: его производила почти каждая клетка. Во второй линии трансгенных мышей от 60 до 90% В-лимфоцитов имели рецепторы к HEL и производили в большом количестве антитела против этого белка».

Затем эти две линии скрестили. Часть потомства унаследовала оба чужеродных гена - и ген антитела, и ген его белка-мишени. В результате у дважды трансгенных мышей целый арсенал В-клеток оказался аутореактивным. Тем не менее дважды трансгенные мыши, как и нормальные, были ауто толерантными: в сыворотке крови антитела против HEL содержались в очень малой концентрации. Что же случилось с аутореактивными В-клетками? Анализ при помощи тестерных антител показал, что большинство В-клеток, специфичных к HEL, в организме присутствовали, но не проявляли свою активность.

Чтобы выяснить, не обусловлено ли отсутствие активности у аутореактивных В-клеток какими-либо другими элементами иммунной системы (такими, как, например, Т-лимфоциты, называемые супрессорами), исследователи проверили реакционно-способность изолированных В-клеток. Мышам, у которых собственная иммунная система была выведена из строя облучением, трансплантировали 100 тыс. В-клеток, взятых у дважды трансгенных мышей. Затем животным-реципиентам ввели белок HEL. Ответ трансплантированных клеток оказался слабым. По-видимому, В-клетки аутореактивных мышей подверглись «долговременному функциональному перерождению».

Аналогичные исследования Т-клеток дали совершенно другой результат: аутореактивные Т-клетки, похоже, элиминируются, а не инактивируются. Эти исследования опираются на одно интересное свойство иммунной системы мыши. У некоторых линий мышей есть свои специфические белки, активирующие множество различных клонов Т-клеток, чьи рецепторы обладают общими признаками. Не менее четвертой части всех рецепторов, образующихся при развитии Т-клеток, способны взаимодействовать с этими антигенами. Д. Кепплер и Ф. Маррак из Национального еврейского центра иммунологии и изучения респираторных заболеваний в Денвере с сотрудниками, а также Г. Макдональд и его коллеги из Онкологического института Людвиг в Эпалинже (Швейцария) описали, что происходит с Т-клетками, узнающими эти ключевые антигены.

При помощи тестерных антител,

избирательно реагирующих с аутореактивными рецепторами, удалось обнаружить, что в тимусе, где созревают Т-лимфоциты, в избытке содержатся клетки с такими рецепторами. В то же время зрелые аутореактивные клетки как в тимусе, так и в остальных частях организма отсутствуют. По-видимому, аутореактивные Т-лимфоциты вымирают в ходе созревания. Г. фон Бемер с коллегами из Базельского института иммунологии недавно пронаблюдали сходную картину вымирания клеток в линии трансгенных мышей, способных производить лишь один Т-клеточный рецептор, специфичный к «своему белку».

Что же убивает или инактивирует аутореактивные лимфоциты? Относительно Т-клеток группа Бемера видит ответ в том, что клетки, несущие аутореактивный рецептор, но не имеющие двух поверхностных белков, характерных для Т-ЛИМФОЦИТОВ, а именно CD4 и CD8, не элиминируются. Это позволяет предполагать, что данные белковые маркеры тоже играют какую-то роль в вымирании клеток. Разгадку инактивации В-клеток нашли Гуднау и Бастен с сотрудниками. В-клетки производят различные классы поверхностных рецепторов для одного и того же антигена. Оказалось, что на поверхности неактивных В-клеток у дважды трансгенных мышей очень мало рецепторов одного из классов, обозначаемого IgM.

Использование трансгенных мышей очень удобно для дальнейших исследований в этом направлении, так как оно позволяет произвольно варьировать характеристики аутореактивного рецептора и «своего антигена». Например, для изучения роли рецепторов различных классов инактивации В-клеток в группе Гуднау планируют получить линии трансгенных мышей, у которых на аутореактивных лимфоцитах имелись бы рецепторы лишь одного-единственного класса.

Почему судьба аутореактивных В- и Т-клеток различна? Маррак отмечает, что это различие по меньшей мере не противоречит тому, что вообще известно об иммунном ответе. В-клетки не могут эффективно секретировать антитела без помощи Т-клеток, узнавших тот же антиген. По предположению Маррак, поскольку Т-клетки играют ключевую роль в иммунном ответе, они, вероятно, подвержены более строгому контролю, чем В-клетки. Гуднау добавляет, что существование клонов аутореактивных В-клеток, возможно, окупается, так как гены антител, в отличие от генов Т-клеточных рецепторов, быстро мутируют, а в результате мутаций В-клетки могут в конце концов пригодиться в борьбе против какого-нибудь чужеродного антигена.

## «Благородное семейство» растений; исторические памятники и опасные объекты; древнейшие породы; чем заняты ученые



**ФИЛИП МОРРИСОН**

ЭВОЛЮЦИЯ злаков и их СИСТЕМАТИКА. ПОД редакцией *Томаса Р. Содерстрема, Хидир У. Хилу, Кристофера С. Кэмпбелла, Мэри Е. Баркуорт*

GRASS SYSTEMATICS AND EVOLUTION, edited by Thomas R. Soderstrom, Khidir W. Hilu, Christopher S. Campbell and Mary E. Backworth. Smithsonian Institution Press (\$45).

**П**ЕРЕД НАМИ отчет о симпозиуме по злакам, состоявшемся в Вашингтоне в 1986 г., в котором приняли участие около 150 специалистов со всего мира. По своему исполнению этот элегантный том, на фронтисписе которого мы видим очаровательную работу Дюрера, может служить образцом для всех изданий подобного рода. И хотя не каждая из 33 содержащихся в нем статей доступна специалисту, отчет содержит так много интересного, что выход его в свет нельзя обойти молчанием.

«Симбиоз» человека и злаков уходит корнями в далекое прошлое. Биологов всегда интересовало это «благородное» семейство растений. По распространенности и разнообразию злаки можно сравнить лишь с орхидными, насчитывающими десятки тысяч видов. Орхидеи могут похвастаться цветами, которые своим видом и ароматом привлекают насекомых-опылителей; семена же их совсем крошечные, почти невидимые, и переносятся они ветром. У злаков иная стратегия: они развеивают свою пыльцу по ветру, полагаясь на счастливый случай и на особые хрупкие приспособления, позволяющие использовать воздушные течения. Эти растения и их семена «путешествуют» различными способами: одни цепляются чешуйками колосков за шерсть животных, другие подставляют ветру длинные шелковистые метелки; некоторые злаки целиком засыхают и, от-

делившись от корня, отправляются в путь, перекаtywаясь по степи; другие же переносятся муравьями, которых они привлекают капельками масла. Многим растениям этой группы (среди них пшеница, рис, кукуруза, ячмень) мы обязаны хлебом насущным.

На симпозиуме обсуждались вопросы эволюции, генетики и систематики злаков. Поражает разнообразие современных методов даже в такой «почтенной области, как систематика растений, вместе с тем гербарии с засушенными стеблями (которые и спустя столетие, проведенное на полках, издают слабый аромат лугов) остаются неизменными спутниками ботаника.

Трудно найти более яркий пример модульного элемента, чем травинка - живая частичка зеленого ковра бесконечных степей и равнин. Само злаковое растение также может быть представлено как объединение элементов. Четкая классификация всех 750 родов злаков - комбинаторная задача, справиться с которой не под силу даже специалистам. Одна австралийская организация сделала попытку автоматизировать этот процесс с помощью компьютерной программы, помогающей любому опытному классификатору составить набор ключевых признаков того или иного вида.

Хромосомы также являются модулями, и их структура предоставляет ученым обширное поле для исследований, в особенности если учесть, что для семейства злаковых характерна множественность хромосом: некоторые из 12-плоидных видов могут похвастаться почти тремя сотнями хромосом! Органы фотосинтеза хлоропласты, которым растения обязаны зеленым цветом, имеют свои собственные хромосомы - маленькие аккуратные кольцевые двухцепочечные ДНК, которые еще предстоит картировать и сравнить. Около 50

различных ферментов, обнаруженных у злаков, были проанализированы на биохимическую изменчивость. Эти белки варьируют под генетическим контролем, но сохраняют свои каталитические свойства. Высокоурожайные гибриды «кукурузного пояса» США демонстрируют в два раза меньшую изменчивость ферментов, чем наиболее сложные из мексиканских сортов кукурузы.

Ископаемые злаки впервые обнаружены в 1820 г. Эта находка позволила оценить возраст злаков по меньшей мере в 35 млн. лет. В Северной и Южной Америке лошадь и другие пасущиеся животные эволюционировали вместе со злаковыми прерий; на Среднем Западе США был даже найден ископаемый носорог с остатками семян злака во рту. Ссылаясь на находки ископаемых остатков травоядных животных и на современное многообразие злаков, автор одной из статей, помещенных в отчете, считает, что эти растения начали широко распространяться 50 млн. лет назад в тропических безлесных низменностях Южной Америки.

Одна из статей будет особенно интересна широкому читателю. Ее автор, Хью Илгис из Висконсинского университета в Мадисоне, на протяжении 20 лет пытался установить происхождение удивительного злака - кукурузы, которая издавна является кормилицей обеих Америк и не способна к пересеву без помощи человека. Около пяти лет назад Илгис выдвинул новую теорию, на которой мы вкратце и остановимся.

Обычно считается, что предком кукурузы является кустистый однолетний злак теосинте - растение, достигающее четырехметровой высоты, буйные заросли которого часто встречаются в Центральной Мексике. Недалеко от этого района обнаружены древнейшие остатки кукурузы (не теосинте), датируемые пятым тысячелетием до н.э., т. е. еще до земледельческим периодом.

Одно растение теосинте приносит до нескольких сотен маленьких початков, но даже после созревания зерен их твердая как камень оболочка не раскрывается. Хотя поспевшие початки теосинте прекрасно сохраняются, их зерна никогда не употреблялись в пищу. А вот сладкие и сочные зеленые стебли этого растения можно и сегодня купить повсюду в Мексике. Остатки стеблей теосинте находят в древних пещерах, где когда-то обитал человек. Каким же образом теосинте превратилось в кукурузу? Генетические отличия между этими двумя растениями невелики, они свободно скрещиваются.

Согласно одной из теорий, сторонником которой был прежде и сам Ил-



тис, процесс превращения двухрядных початков теосинте с их немногочисленными, покрыты ми твердой оболочкой зернами в мягкие початки кукурузы - в наше время крупные и со множеством рядов зерен - представляет собой последовательность мутаций. Эта последовательность очень сложна и вероятность ее полного осуществления крайне низкая. Початки кукурузы, как и мужские метелки теосинте, располагаются сравнительно далеко от стебля; женские же початки теосинте расположены внизу, ближе к стеблю. В своей новой теории Илтис предположил, что женские початки кукурузы являются не чем иным, как поменявшимися пол мужскими метелками ее предка! Мужские соцветия обладают значительно большей изменчивостью; половое развитие управляется гормонами. Нижние, примыкающие к основному стеблю соцветия становятся женскими, а высоколежащие, концевые - мужскими. И сейчас можно встретить «феминизированные» концевые метелки кукурузы, пораженной грибом или испытывающей стресс вследствие перепадов температуры при смене дня и ночи. Так что, возможно, все обошлось без мутаций.

На протяжении тысячелетий кукуруза подвергалась направленной селекции под «неусыпным и, однако, не слишком навязчивым вниманием первых мексиканских земледельцев, для которых семена этого растения еще не стали главным продуктом питания». Постепенно кукуруза обрела те свойства, которые обеспечивают высокую урожайность, и превратилась в одну из основных сельскохозяйственных культур. Этот важный для истории цивилизации процесс еще не завершился к моменту завоевания Мексики Кортесом. Илтис показывает, как в противоположность кукурузе простые злаки Ближнего Востока даже в диком состоянии кормили человека (хотя собирать их урожай было нелегко); как быстро они «откликнулись» на применение более совершенных орудий жатвы, когда появление серпа способствовало семенной селекции.

Почему же все еще не обнаружены «полумягкие початки», свидетельствующие о постепенном, направляемом человеком переходе от теосинте к кукурузе? По мнению Илтиса, остатки таких початков следует искать не в поселениях первых земледельцев, а в более древних, доземледельческих районах, там, где люди все еще старательно собирали семена диких растений. В полутора сотнях километров к западу от города Куэрнавака расположены высыхающие зимой саванны, покрытые известковы-



Рисунок Альбрехта Дюрера, помещенный в книге «Эволюция злаков и их систематика».

ми холмами со множеством пещер. На солнечных склонах этих холмов летом вырастает разновидность теосинте, генетически наиболее близкая к кукурузе. «Здесь, под известняковым покровом, и лежит драгоценный секрет. Археологи просто еще не искали там, где следует». Начало внезапного превращения одного вида злака в другой представляет особый интерес. Быть может, когда-то давным-давно мексиканцам пришлось пережить исключительно голодный год, возможно, из-за выброса пепла в атмосферу при извержении вулкана. И вот к концу этого голодного года они внезапно заметили, что бесполезные до тех пор початки теосинте на сей раз принесли крупные и годные в пищу зерна. «И кто знает, может быть, какому-то не-

известному Доколумбову теисту и пришла в голову мысль назвать их «Божьим зерном», что на языке науатль звучит как «Тео-синтле!»

Фотографии *Мэрилин Бриджес*, текст *Марии Рейх*, *Чарльза Гэлленкампа*, *Люси Липпард* и *Кита Критчлоу*. СЛЕДЫ ПРОШЛОГО ДРЕВНИЕ ПАМЯТНИКИ С ВЫСОТЫ ПТИЧЬЕГО ПОЛЕТА MARKINGS: AERIAL VIEWS OF SACRED LANDSCAPES photographs by Marilyn Bridges, essays by Maria Reiche, Charles Gallenkamp, Lucy Lippard and Keith Critchlow (\$29.95).

Фотографии и текст *Роберта дель Тредиччи*. ОПАСНЫЕ ОБЪЕКТЫ AT WORK IN THE FIELDS OF THE BOMB,

photographs and text by Robert Del Tredici. Harper & Row, Publishers (\$15.95).

**ПРОЛЕТАЯ** на небольшом самолете на высоте нескольких сотен метров над изветстыми холмами графства Оксфордшир (Великобритания), пилот и фотограф-любитель Мэрилин Бриджес сделала круг над «Белой лошадей» (древнее изображение лошади, вырезанное на склоне холма) в Аффингтоне в тот момент, когда каждая складка местности кажется черной на фоне освещенных заходящим солнцем ровных участков. Огромная 100-метровая фигура лошади, скачущей во весь опор, образована примерно из 10 линий, вырезанных в густом дерне около 20 веков назад. Эти линии, или вырезы, обнажившие белый известняк, по традиции обновляются «каждые 7 лет на троицу и духов день». Черно-белая фотография, на которой мы видим изображение «Белой лошади», не только передает ощущение открытого, освещенного солнцем пространства - глядя на этот снимок, кажется, что начинаешь понимать «замысел» далеких предков, вырезавших это изображение. В книге содержится множество фотографий, на которых запечатлены древние памятники «с высоты полета ведьмы» (хотя Бриджес восседала не на помеле, а в кабине рокочащей «Сесень»). Она не может не летать и с удовольствием делится с нами своими ощущениями. Иногда это чувство одиночества и страха, появляющееся во время полета над древними захоронениями, иногда, напротив, чувство восхищения творениями древних. Книга содержит более 80 фотографий. Среди них мы встретим снимки, сделанные над лесами Юкатана и над Перуанскими Андами, над Стоунхенджем, Карнаком и Силбери-Хилл. Живописно выглядят архитектурные памятники древних майя, среди них гигантские пирамиды и два еще нераскопанных храма, окруженных непроходимыми лесами. Мария Рейх, посвятившая большую часть жизни попытке разгадать тайну рисунков пустыни Наско, отмечает в книге, что мы часто склонны давать «немым» формам современное толкование.

Снимки, сделанные Бриджес, несомненно, привлекательны. Они дают читателю возможность не только взглянуть на древние сооружения «сверху», но и познакомиться с наиболее загадочными из них, включая дольмены и кивы.

Роберт дель Тредичи - еще один фотограф, путешествующий по свету. Вотличие от Бриджес его интересуют не древние памятники, а объекты, по-

явившиеся всего три десятилетия назад. Если Бриджес иногда испытывала страх, пролетая над древними захоронениями, то объекты, запечатленные на снимках Тредичи, все внушают страх - страх перед потенциальной катастрофой. И это не удивительно, поскольку они связаны с производством ядерного оружия.

Дель Тредичи посетил Японию, пересек Европу вплоть до Лапландии, побывал он и около Московской больницы № 6, где находятся на лечении те, кто получил большие дозы облучения в Чернобыле. Около 100 черно-белых фотографий предупреждают об опасности, которую заключает в себе «ядерный джин». В книгу вошли и работы других авторов, например снимок огненного шара при взрыве ядерного заряда на островах Тринити, и фотографии, запечатлевшие трагедию Хиросимы. Однако большинство снимков, казалось бы, далеки от трагедийного содержания. В основном это индустриальный пейзаж с котлованами, трубами, арматурой и т. п. Но все это имеет отношение к производству ядерного оружия. Мы видим урановые рудники в шт. Онтарио и завод в Амарилло, где изготавливаются все виды этого оружия, и тем самым прослеживаем процесс вооружения США, в который вовлечено множество людей. Опасность здесь как бы завуалирована обыденностью изображенного на снимках, однако чувство тревоги усиливается, когда читаешь о людях, заболевших лучевой болезнью, или свидетельства очевидцев трагедии Хиросимы и Нагасаки.

Некоторые из фотографий поражают воображение. На одной из них мы видим две огромные ПУДВодныеподки «Трайидент» в устье реки Темс (шт. Коннектикут), на другой - широкий, облицованный стальными плитами туннель, прорытый в горах Невады и служащий для измерения радиации при испытании ядерных зарядов. Измерительные приборы находятся на другом конце туннеля за массивными металлическими воротами с автоматическим управлением, предохраняющими их от разрушения в момент взрыва. Еще на одном снимке запечатлено грибовидное облако от взрыва заряда мощностью 5 кт, начиненного химическими взрывчатыми веществами. Этот взрыв был недавно произведен в пустыне.

В книге есть и фотографии людей. Их лица разные: одни выражают отчаяние, на других написано безразличие или самодовольство. Среди них фотография пилота самолета, сбросившего атомную бомбу на Хиросиму, епископа города Амарилло, женщины, работающей в урановом ли-

тейном цехе (шт. Огайо). «У женщины в волосах цветов - ведь до рождения осталась всего неделя».

Последний раздел содержит интервью, взятые автором у людей, с которыми ему довелось встречаться. В них выражены самые различные мнения в отношении смертоносного оружия. Книга Тредичи не просто произведение искусства, она обнажает одну из «опухолей» нашего общества. Мы все еще рассуждаем, является ли она злокачественной или доброкачественной и ждем, пока на этот вопрос ответит история. В конце книги автор приводит слова одного из известных физиков наших дней - доктора Эдварда Теллера из Пало-Альто, который считает, что «даже если будут взорваны все запасы ядерного оружия, накопленные во всем мире, значительная часть человечества не пострадает.» Однако убедить нас в этом он не в силах.

*Престон Клауд. ОАЗИС В КОСМОСЕ: ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ С САМОГО НАЧАЛА.*

OASIS IN SPACE: EARTH HISTORY FROM THE BEGINNING, By Preston Cloud. W.W. Norton & Company, Inc. (\$29.95).

**ПОКА** ЧТО о самом начале нам может рассказать только астрономия: метеориты и пробы лунных пород - единственные образцы, которые позволяют нам определить время возникновения Солнца, Земли и Луны, - 4,6 млрд. лет назад. Самые старые из известных нам земных пород (не считая небольших со всем древних кристаллов минералов) находятся в местности Изуа, на каменистом берегу озера меж низких темных холмов у юго-западного края Гренландского ледяного щита. Эти отложения, с момента своего возникновения много раз подвергавшиеся нагреву и складкообразованию, впервые были надежно датированы в середине 70-х годов; их возраст 3,8 млрд. лет. Они сформировались в приповерхностных слоях, но минералы, из которых они состоят, долгое время находились глубоко под землей под воздействием высоких температур и давлений. Поверхностные воды были тогда уже довольно обильными и могли вымывать и переносить большие массы обломочного материала; атмосферное давление было достаточным, чтобы вода могла находиться в жидком состоянии, но свободного кислорода, вероятно, было мало, так как богатые железом породы имеют темный цвет, а не желто-красный цвет окислов.

Такие «породы-дедушки» нашли в полдюжине мест, которые можно считать протоконтинентами. Назовем время их возникновения изуанским. Вокруг них выросли ядра континентов - обширные области, в которых изуанские территории - не более чем пятнышки. Этот рост продолжался в течение трех-четырех геовеков (элегантный термин автора, обозначающий период в 100 млн. лет): Позднее возникли гранитно-зеленокаменные образования (террейны); д-р Клауд называет их пилбаранскими и приводит подробные карты каждого из четырех наиболее известных таких территорий.

Фотография из космоса территории самой Пилбары, расположенной на северо-западе австралийской пустыни, оставляет неизгладимое впечатление: это овалы массивы, немного похожие на огромные купола Йосемита-гранитные острова среди глади вулканических зеленокаменных пород. Что произошло раньше: гранит ли поднялся из застывшего вулканического потока или лава залила старые гранитные купола? Приходится допустить возможность обоих вариантов. Этот вулканический материал образовался, главным образом, под водой: здесь в большом количестве имеются подушечные лавы, которые формируются, когда лавовый поток изливается в море. В то время еще ни в одном месте земного шара горы или равнины не распространились до размеров континента. Существовало около полдюжины фрагментов суши - в целом примерно одна пятая часть современной площади. Обильное тепло поднималось из глубин юной Земли, а вместе с ним - золото, платина и другие редкие металлы.

Эти древнейшие части суши были, в сущности, мини-континентами; в ту пору все еще царствовал Нептун, но его владычество распространялось уже не на столь обширные водные пространства. На очереди было формирование основных континентальных щитов - 60% или более от той поверхности Земли, которая сейчас находится выше уровня океана. Процесс растянулся и во времени и в пространстве. Первым - около 3 млрд лет назад - завершил ось поднятие юга Африки; большой по площади Канадский щит образовался позднее - примерно 2,6-2,7 млрд лет назад. Огромные низменные пространства были постепенно заполнены поднявшимся из глубины гранитом, теперь уже неоднородным по химическому составу; как следствие, уменьшился и поток глубинного тепла. Наступало время, когда должен был начаться самый грандиозный из

продолжающихся геологических процессов - танец континентов.

Происходила повсеместная дифференциация земной коры. Образовалась кора двух типов: более тонкая и плотная базальтовая океаническая кора и более толстые и легкие континентальные плиты. И та и другая кора лежит на податливой, ползучей верхней мантии, конвекция в которой питает систему рифтов «как будто мокрый теннисный мяч разрывается по швам») и двигает плиты. Тепловая активность была сильна и раньше, но она была рассредоточена: тепловая энергия тратилась в региональных масштабах. С появлением океанского дна и поднимающейся над океаном суши начали, вероятно, формироваться медленные глубинные течения, обуславливающие тектонику плит. (Точных данных здесь до сих пор нет; посвященная этому вопросу глава строится на Правдоподобных допущениях.)

Первая великая революция в истории Земли ознаменовала конец первой эры формирования шита - эры, носящей название архейской. Ее конец, вероятно, был растянут во времени и «больше походил на земледельческую или промышленную революцию, чем на Американскую или Французскую». Следующая продолжительная эра, начавшаяся 25 геовеков назад, получила название протерозойской (от греч. *proteros* - более ранний и *zoe* - жизнь). Впрочем, несмотря на название, жизнь зародилась не в эту пору. Уже изуанское время оставило свидетельство существования органической материи - соотношение концентраций изотопов углерода. Уже время, когда возникли пилбаранские террейны, дало окаменелости - убедительные доказательства для глаза (а лучше - микроскопа) любого скептика. Последующие эпохи были скорее палеонтологическими, чем геологическими: они отмечены развитием форм жизни и соответственно этому описаны в литературе. Наши собственные кости доказывают, как тесно связана органическая жизнь с царством минералов, не говоря уже о том, что источником кислорода, которым мы дышим, являются растения. Ископаемые следы жизни всего протерозоя - это в основном не остатки организмов и не отпечатки, а химические соединения.

Протяженные тонкие прослойки железа, чередование которых не нарушалось на протяжении больших отрезков времени, признаки увеличения содержания кислорода в атмосфере (например, обширные скопления красных окислов железа) и сложные текстуры из микроорганизмов, назы-

ваемые строматолитами, - все это свидетельствует о распространении ранних форм жизни, еще бесшумных, неподвижных и незаметных. Мелкие отдельные клетки, часто образующие скопления или пласты, росли по краям всех водоемов, но никогда в удаленных от воды районах суши.

Постепенно организмы становились биохимически более сложными; некоторые «предпримчивые» клетки объединялись, образуя новые, более крупные, симбиотические организмы. Через какое-то время появились первые таинственные отпечатки подвижных мягкотелых многоклеточных морских существ, достаточно больших, чтобы их можно было заметить каждое в отдельности. Такие долгожители уже могли существовать на отмелях, поскольку растущий слой озона задерживал все больше солнечного ультрафиолета. Приближалась современная эра; отмечавшие ее геологические явления и процессы были почти такими же, как сейчас, если не считать процессов развития жизни. Эта эра началась около семи геовеков тому назад, когда даже до появления трилобитов оставалось еще несколько сотен миллионов лет. Она была названа Фанерозойской (временем видимой жизни) и подразделяется на несколько этапов, помогающих уяснить ее часто обсуждаемую историю - дрейф и схождение континентов или возникновение и исчезновение гор и океанов.

Проработавший долгое время в Геологической службе США, д-р Клауд внес значительный вклад в изучение описанных событий. Он создал богатую иллюстрированную и обстоятельную книгу; написанная блестящим языком, она представляет собой первое введение в геологию, в котором основное внимание уделено решающим событиям древности: возникновению континентов и дна океана, совместной эволюции форм жизни и атмосферы, выходу руд на поверхность, механизмам движения материков и даже непонятным оледенениям далекого прошлого. Эти темы в книге берут верх над некоторыми менее важными вопросами из истории последних геовеков: жизнь на суше, образование Атлантического океана и Гималаев и решающий для эволюции переход от эпохи динозавров к эпохе млекопитающих.

Этот толстый том посвящен истории Земли в целом. Он начинается с нескольких туманного беглого изложения все еще спорных начальных страниц эволюции Земли как космического тела и описания техники геологических исследований. Заканчивается он свежим и сжатым описанием эволюции жизни и континентов. Однако более всего эта прекрасная и нетруд-

ная для восприятия (если не просто легкая) книга выделяется превосходными фактами и убедительной аргументацией, лежащими в основе современного взгляда на историю Земли до возникновения на ней организмов, имеющих твердый скелет.

Деннис Фланаган. Взгляд Фланагана: наука на рубеже XXI столетия

FLANAGAN'S VERSION: A SPECTATOR'S GUIDE TO SCIENCE ON THE EVE OF THE 21ST CENTURY, by Dennis Flanagan. Alfred A. Knopf (\$18.95).

ПРИВЕДЕМ одно из ярких воспоминаний из книги Фланагана: «В конце сороковых годов мне довелось посетить Абердинский испытательный центр в шт. Мэриленд, где я увидел вычислительную машину. Можно было буквально *слышать*, как работал этот один из первых компьютеров. Где-то в верхнем углу большой комнаты, заполненной стойками с бесчисленными реле, вдруг слышится резкий звук «бип», который издает замыкающееся реле. Ему вторит целый залп «бипов». Кажется, что проник внутрь работающего мозга ... В компьютере ENIAC в качестве переключателей применялись уже не реле, а стеклянные радиолампы, их было около 18 тысяч... когда работает этот компьютер, слышно, как жужжат большие охлаждающие вентиляторы ... такое впечатление, будто находишься рядом с паровой машиной! Конечно, не следует забывать, что компьютеры, как и любые другие инструменты, являются преобразователями энергии.

Вот в таком духе ведется изложение полдюжины остроумных, занятно написанных глав, разъясняющих достижения физики, астрономии, геологии, биологии и техники. Деннис Фланаган много и вдумчиво читал обо всем этом, побывал во многих лабораториях и задавал вопросы всем специалистам, с которыми ему довелось встретиться (а также запомнил лучшие из услышанных ответов). Он рассказывает, зачастую в шуточной форме, о том, «чем заняты ученые», или, как он любит говорить, «wat Wetenschappers doep» (по его мнению, фраза «чем заняты ученые» лучше звучит по-голландски). Главным образом, ученые *пытаются узнать то, что им еще не известно* (курсив Фланагана). Аргументы Фланагана столь же остры, как и его синие карандаши, которые она сам заточивает. Он не терпит туманных фраз, шутовства и позерства, стремясь к пониманию главного. С 1948 г. вплоть до своего ухода на пенсию четыре года назад Флана-

ган был блестящим редактором журнала «Scientific American». (Примерно 250 номеров журнала, вышедших под его редакцией, содержат материал, подготовленный автором данной рецензии.)

Возьмем, к примеру, один из научных экспериментов, которые произвели сильное впечатление на Фланагана. Как рассказал эколог из Ок-Риджа Джерри Пэйн, он положил несколько туш поросят в лесу в шт. Теннесси и стал подсчитывать представителей различных биологических видов (в том числе посчитав и себя), подхлывших к этим тушам в течение 8 дней, по прошествии которых от них осталась лишь шкура, зубы и кости. Среди тех, кто наведывался к тушам, он смог определить представителей 522 видов, принадлежащих 359 родам, преимущественно насекомых. Уже «само по себе такое богатство видов» дает основания полагать, «что жизнь неизбежна» при наличии подходящих условий, разумеется.

«В основе Вселенной нет ничего, кроме полей» (курсив Фланагана). Физик Роберт Сербер из Колумбий-

ского университета первым объяснил Фланагану, что каждый электрон, приближающийся к двойной щели дифракционной решетки, проходит одновременно через оба ее отверстия, интерферируя лишь сам с собой. «У меня как бы наступило прозрение», - пишет Фланаган. Однако он продолжал надеяться, что наступит время, когда будет раскрыта парадоксальность свойств квантовых полей. Теперь, умудренный опытом, он признает, что любое предвзятое мнение ничего не стоит. Те, кто пытается ответить на вопрос: «Как же такое возможно?» путем философствования, чаще всего обречены на интеллектуальные мучения. Ричард Фейнман однажды заметил, что они «зайдут в тупик, потратив все усилия впустую».

В книге Фланагана много пищи для размышлений. Несмотря на краткость и живость изложения, ее никак нельзя назвать простой. Мы уже долго не встречали столь прекрасного образца научно-популярной литературы, написанной великолепным мастером слова.

## Наука и общество

### Диалектика развития

КАЖДАЯ клетка организма, за немногими исключениями, несет копии всех генов данного организма. Но при этом в ней активны лишь определенные гены -- те, которые нужны в клетках данного типа; скажем, мышечная клетка имеет удлиненную форму и производит миозин, а клетки эпидермиса плоские и вырабатывают кератин. Какие «инструкции» заставляют клетки развивающегося зародыша приобретать специализированную форму и функции, соответствующие их типу и местоположению? Несмотря на то что природа молекул, отвечающих за инструктирующие сигналы, до сих пор по большей части неизвестна, благодаря методам молекулярной биологии начинают открываться, каким образом этим руководят гены.

Значительная доля исследований в этом направлении проводится на плодовой мушке *Drosophila melanogaster* - обычном объекте генетических исследований. Тело взрослой мушки подразделяется на 19 сегментов, некоторые из них несут отличительные структуры - крылья, ноги или «усы», называемые антеннами. С начала 1970-х годов известно, что у эмбриона дрозофилы еще до того, как в про-

должном направлении появляется какая бы то ни было специализация, недифференцированные клетки как-то образом приобретают предназначение, т. е. программу, согласно которой они становятся частью определенной области взрослого организма. Это было установлено в результате опытов, в которых те или иные фрагменты эмбриона уничтожались либо пересаживались с одного места на другое. Часто такие манипуляции приводили к тому, что та или иная структура возникала на неправильном месте или вообще не развивалась. Стало ясно, что информация о надлежащем местонахождении клетка передается ей на раннем этапе развития.

Как? Ключом к сути генетического контроля развития являются так называемые гомеозисные гены. У дрозофилы с мутацией в таком гене в каком-либо сегменте имеется неправильная структура. Классический пример - ген *Antennapedia*, в результате мутации в котором на голове мухи оказываются ноги вместо антенн.

Изучение гомеозисных мутантов привело В. Геринга из Базельского университета и других к важному открытию: во всех без исключения гомеозисных генах, а их сегодня известны десятки, имеется почти одинаковая короткая последовательность нуклео-

тидов, получившая название гомеобокс. Гомеобокс кодирует короткий «отрезок» белка, имеющий специфическую структуру, которая придает ему способность связываться с ДНК. Это заставило предположить, что белки, кодируемые гомеозисными генами, возможно, контролируют другие гены, связываясь с участками ДНК, определяющими момент активации этих генов. Таким образом, гомеозисные гены представлялись переключателями, которые инициируют активность тех генов, которые необходимы в данном сегменте.

Это, разумеется, порождает вопрос о том, каким образом устанавливаются собственно границы сегментов и каким образом в каждом сегменте активируются правильные гомеозисные гены. В результате последних экспериментов вырисовывается в общих чертах система, которая, по всей видимости, может это обеспечивать.

Начнем с того, что известно еще несколько классов генов, которые определенным образом влияют на развитие. Мутации в большинстве из этих генов летальны, но эмбрион успевает прожить достаточно, чтобы стали заметны отклонения от нормы. Одни гены, действующие на очень ранних стадиях эмбриогенеза, устанавливают различие между передним и задним концами эмбриона. Эти гены являются «материнскими эффектами» и принадлежат материнскому организму, а не эмбриону. К их числу относятся играющие важную роль ген *bicoid* и комплекс генов, называемый *oscar*. Из яиц самок с дефектным геном *bicoid* получаются эмбрионы без головы и груди, а у самок с мутацией в генах *oscar* эмбрионы без брюшка. Анализ подобных мутаций позволяет предположить, что материнские гены определяют накопление веществ, которые каким-то образом маркируют два полюса яйца еще до его оплодотворения.

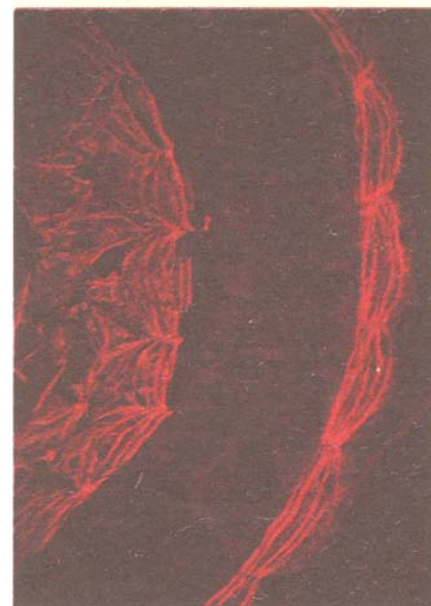
Другие гены, влияющие на эмбриональное развитие, принадлежат, как и гомеозисные гены, самому эмбриону. Их эффекты разнообразны. Гены сегментации, например, определяют, сколько у эмбриона разовьется сегментов. При некоторых мутациях в этих генах отсутствуют целые группы соседних сегментов. Например, у мутанта *hunchback* нет нескольких головных сегментов. Мутации в иных генах сегментации приводят к специфическому фенотипу, при котором затрагивается каждый второй сегмент. Один из таких генов - *fushi tarazu*, что в переводе с японского означает «меньше, чем нужно, сегментов»; мутации в нем приводят к тому, что каждый второй сегмент сливается со

своим передним соседом, в итоге у эмбриона оказывается вдвое меньше сегментов, чем в норме.

Где и какой ген у эмбриона активен? Сегодня в распоряжении исследователей есть методы, позволяющие маркировать РНК, образующиеся при транскрипции определенных генов, управляющих развитием. При помощи этих методов ученые, в том числе Д. Тауц из Института биологии развития им. Макса Планка в Тюбингене, начали распутывать сложную сеть положительных и отрицательных регуляторных взаимодействий между генами различных типов, определяющими сегментацию зародыша дрозофилы. Так, например, продукт гена *bicoid* активирует ген *hunchback*, но подавляет другой ген такого типа - *Kruppel*. Кроме того, некоторые гены одного общего типа подавляют друг друга.

В целом складываются очертания иерархической системы генной регуляции, на каждом уровне которой инструкции передаются «вниз по инстанции». После того как материнские гены установили градиент вдоль переднезадней оси эмбриона, последовательно активируются разные типы эмбриональных генов, каждый из которых реагирует на активность предыдущего более высокого уровня (и, возможно, предшествующих ему) и определяет - на каждом нижележащем уровне - все более конкретно и детально развитие клеток на своем участке. Общий результат этого состоит в том, что эмбрион подразделяется на все более узкие зоны, вплоть до половины сегмента, т. е. нескольких клеток в ширину. Представляется вероятным, что в итоге каждая зона обладает своей специфической комбинацией активных генов сегментации. Теоретически такая комбинаторика может определять, какому гомеозисному гену или генам следует активироваться, а также информировать клетки, какой половине сегмента они принадлежат. Многие гены этого регуляторного каскада содержат гомеобокс. Другие несут еще одну специфическую последовательность ДНК, кодирующую характерную белковую структуру, способную связываться с ДНК; этот домен напоминает растопыренные пальцы. Последний, похоже, функционирует так же, как и домен, кодируемый гомеобоксом. Есть указания на то, что аналогичным образом, возможно, распределяется генная активность в дорсовентральном направлении (т.е. от спинной стороны эмбриона к брюшной).

До последнего времени не было прямого доказательства того, что продукт гена, влияющего на положение



РОЛЬ ГЕНА *Xhox 1A* в развитии продемонстрирована у эмбриона лягушки. На стадии двух клеток в одну из них ввели избыток РНК этого гена. В результате на этой стороне (слева) развитие мышц пошло неправильно.

ние сегмента, может определять эмбриогенетическую судьбу клетки. Это всего лишь логически выводилось из наблюдаемого распределения генной активности у мутантов. В. Драйверу и К. Нюсслейн-Фольхард, также из Тюбингенского института биологии развития, удалось получить такое доказательство для белка, кодируемого геном *bicoid*. Они нашли способ произвольно менять количество и распределение белка-продукта гена *bicoid* в эмбрионе дрозофилы. Эти изменения влияли на судьбу клеток так, что строение эмбриона искажалось предсказуемым образом.

Белок - продукт гена *bicoid* - это, пожалуй, первый доказанный пример эмбриологического морфогена ранних стадий развития, т. е. вещества, которое непосредственно воздействует на клетки эмбриона и определяет их участь в ходе развития. Кроме него известен еще только один несомненный морфоген - ретиноевая кислота, которая действует на гораздо более поздней стадии эмбриогенеза; показано, что она влияет на развитие крыльев у кур. Производить манипуляции с генами позвоночных гораздо труднее, чем с генами беспозвоночных, поэтому понимание природы генетического контроля развития у позвоночных сильно отстает от того, что достигнуто при изучении дрозофилы. Тем не менее У. Макгиннис из Йельского университета и дру-

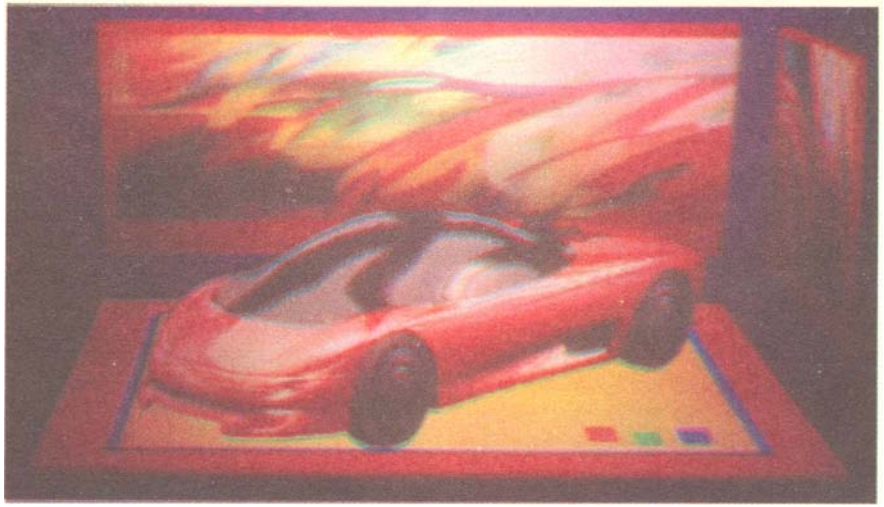
гие исследователи уже выявили гомеобоксы в генах многих других животных с исходно сегментированным планом строения тела, в том числе у земляных червей, лягушек, кур, мышей и человека. Таким образом, вполне вероятно, что гомеобокс играет важную роль у многих видов.

Р. Харвей, работающий ныне в Институте медицинских исследований Уолтера и Элизы Холл в Мельбурне и Д. Мелтон из Гарвардского университета недавно получили первые серьезные данные в пользу эмбриогенетической роли гена, содержащего гомеобокс-су позвоночного животного. Они ввели в половину эмбриона шпорцевой лягушки *Xenopus laevis* РНК, транскрибированную с гена, обозначаемого *Xhox 1A*, и это нарушило пространственное расположение развивающихся групп мышц, причем во всех прочих отношениях эти мышцы были, по всей видимости, нормальными. Мелтон также обнаружил ген, который у развивающегося эмбриона *Xenopus* активен лишь в отдельных зонах, наподобие распределения активности генов сегментации у дрозофилы. Эти результаты подкрепляют предположение о том, что у позвоночных действуют механизмы, сходные с выявленными у дрозофилы.

Хотя управляющие развитием генные каскады, действующие по таким принципам, по-видимому, важны для подразделения растущего эмбриона на сегменты и, следовательно, установления «межей» для клеток, существуют, вероятно, другие механизмы, которые передают информацию между клетками на очень короткие расстояния. Ряд интересных фактов наводит на мысль, что в этом, возможно, участвуют вещества типа факторов роста. Если сходство с факторами роста не случайность, то сразу возникает картина коммуникации клеток: факторы роста связываются с рецепторами на клеточной поверхности и таким образом инициируют цепь событий, которая может включать изменение экспрессии генов.

### Цветные голограммы

**В** ТЕЧЕНИЕ нескольких десятилетий стереоизображения, называемые голограммами, производили неизгладимое впечатление объема, но цвет этих изображений оставался либо однотонным, либо неестественным. Теперь исследователи Оксфордского университета и Массачусетского технологического института (МТИ) получили первые голограммы, которые в точности воспроизводят цвета реальных объектов или



ЦВЕТНОЕ СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЕ автомобиля, сконструированного компьютерной системой, составлено из многих голографических изображений, создающих эффект перспективы. В Массачусетском технологическом институте С. Бентон и Дж. Уолкер разработали этот процесс для получения стереоснимков.

изображений, получаемых на компьютере. Технология окраски значительно расширяет художественность и точность голограмм и позволит заметно улучшить качество изображений в медицине и в системах автоматизированного проектирования.

Ученые Оксфордского университета П. Хьюбел и Э. Уорд для получения многоцветных голограмм реальных объектов совместили современные достижения в области лазерной техники и пленочных материалов. Их стратегия заключалась в получении голограмм с помощью лазерного излучения трех цветов с последующим соединением этих монохроматических изображений в одну многоцветную голограмму.

Чтобы получить, например, голограмму чайной чашки с цветными карандашами, оксфордские исследователи вначале взяли лазер с красным излучением на длине волны 647 нм и пленку, чувствительную к красному свету. Как и в любой голограмме, лазерный пучок расщеплялся на два луча - предметный и опорный. Предметный луч направили на чашку и карандаши, так что красные области отражали красный свет. Опорный луч был направлен так, что он выходил из-за плоскости пленки. Световые волны опорного и отраженного лучей создавали интерференционную картину, которая фиксировалась на пленке. Вторая экспозиция производилась с зеленым лазерным излучением на длине волны 528 нм, а третья (на ту же пленку) - с синим излучением на длине волны 458 нм. ЭТИ две пленки проявили. Когда обе пленки склеили, точно совместив изображе-

ния, и затем осветили белым светом, голограмма воспроизвела все первоначальные цвета.

В МТИ С. Бентон, Дж. Уолкер, У. Плесняк и М. Клаг преобразовали хранимую в памяти компьютера информацию об объектах в трехмерные цветные изображения, названные голографическими стереограммами. Такая стереограмма состоит из многих вертикальных голографических полос, представляющих последовательные перспективы любого объекта; видя две различные перспективы, наблюдатель воспринимает изображение объемным.

Чтобы воспроизвести стереограмму автомобиля, например, ученые МТИ вначале создали трехмерное изображение этого автомобиля на экране компьютера и сфотографировали его на слайд. Слайд вставили в аппарат, который управляет кассетой с пленкой и лазером. Неэкспонированная пленка была прикрыта маской, имеющей узкое «окно для экспозиции» в виде полоски шириной около 1 мм. Лазер проектировал слайд на пленку, создавая интерференционные картины, подобные тем, которые получались бы, если бы свет отражался от реального автомобиля, а не от построенного компьютером изображения. После первой экспозиции компьютер определил вторую перспективу автомобиля, пленку продвинули к следующей полоске и лазер спроектировал на нее второе изображение слайда со второй перспективой. Этот процесс продолжался до тех пор, пока не было зафиксировано нужное число перспектив.

Чтобы получить цветную стерео-

грамму, компьютер разделил изображение автомобиля на основные цветные составляющие - красный, зеленый и синий. Стереоснимок для красной составляющей был сделан на пленке. Стереоснимки для зеленой, а затем и синей составляющей были сделаны на одном и том же участке пленки с помощью красного излучения лазера, но химический состав пленки во время экспозиций изменили, чтобы получить цвета. После проявления пленки на ней получилось полноцветное стереоизображение автомобиля. Специалисты МТИ применили свой метод для получения цветных голографических изображений сердца с магнитно-резонансных установок и атомов висмута с растрового туннельного микроскопа.

### Ледяной дом

**П**РИМЕРНО 2,5 млн. лет назад обширные ледяные покровы начали продвигаться на юг из Арктики и в конце концов «захватили» значительную часть Северной Америки и Европы. С тех пор льды наступали и отступали с периодичностью примерно в 100 000 лет. Регулярное повторение этих ледниковых эпох принято связывать с изменением орбиты Земли - так называемыми циклами Миланковича. Однако эти циклы существовали за миллионы и даже миллиарды лет до ледниковых эпох. Почему же тогда Земля стала подвергаться оледенению только сравнительно недавно?

Сотрудники Геологической обсерватории Ламонт-Доэрти предполагают, что началу процессов оледенения, возможно, послужило быстрое воздымание крупных горных хребтов за последние 5 млн. лет. Они считают, что высокогорный рельеф Скалистых гор и Гималаев мог нарушать движение воздушных потоков в Северном полушарии, препятствуя проникновению холодного арктического воздуха на юг. Моделирование с помощью ЭВМ подтверждает эту гипотезу. Быстрое поднятие могло также стать косвенной причиной уменьшения содержания углекислого газа в атмосфере и, как следствие охлаждения в масштабах всей Земли (нечто вроде обратного парникового эффекта).

Развивая эту гипотезу, М. Раймо, У. Руддман и Ф. Фрелих пишут в журнале «Geology», что более высокий рельеф обуславливает большие скорости эрозии. Очень высокие участки местности задерживают влагу и вызывают обильные осадки, и вода, текущая по склонам, оказывает здесь большее эрозионное воздействие, чем на равнине; более того, продолжающееся воздымание постоянно

обнажает все новые породы для воздействия процессов выветривания. Выветривание пород на возвышенностях приводит к образованию положительно заряженных ионов, включая натрий, калий, магний и кальций, которые выносятся ручьями и реками в океан. Большой приток положительных ионов делает океан более щелочным, что приводит к уменьшению содержания углекислого газа, растворенного в морской воде (частично в результате фиксации его в виде других соединений углерода). Поскольку содержание углекислого газа в атмосфере и его содержание в океане находятся в состоянии равновесия, результатом указанного процесса должно быть уменьшение содержания углекислого газа в атмосфере.

Обеднение атмосферы углекислым газом, обусловленное выветриванием, компенсируется другими процессами, такими как выделение газа при вулканических извержениях и метаморфизме. Раймо, Руддман и Фрелих считают, однако, что в течение последних 5 млн. лет эти компенсационные процессы не успевали восста-

навливать обеднение, обусловленное усиливающимся выветриванием. Они ссылаются на многочисленные исследования, показывающие, что в этот период большинство главных горных хребтов Земли воздымалось с большей скоростью, чем в предшествующие 5 млн. лет. Скорость подъема Гималаев и особенно Анд более чем удвоилась. Образцы керна, поднятые с океанского дна, также показывают, что побочные продукты выветривания осаждались в океане более интенсивно в последние 5 млн. лет.

Очевидно, прошло несколько миллионов лет, прежде чем в результате воздымания климат Земли охладился настолько, что произошло оледенение. Хотя те же самые процессы продолжают и сегодня, Раймо указывает, что этот замедленный и едва заметный обратный парниковый эффект вряд ли может противодействовать обычному парниковому эффекту, который обусловлен поступлением в атмосферу углекислого газа, образующегося при сжигании минерального топлива и в ходе другой деятельности людей.

## Вниманию гипотетелей!

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ. МЕТОДЫ

Перевод с английского  
Под ред. Дж. Финдлея и У. Эванса

Книга международного коллектива авторов (из Англии, США, ФРГ, Швейцарии) знакомит с современными практическими подходами к исследованию мембран животных и растительных клеток.

Содержание: Выделение оргanelл и мембран изживотных клеток. Получение мембранных фракций растительных клеток. Иммунологические методы исследования мембран. Выделение и анализ липидных компонентов. Выделение и анализ мембранных белков и пептидов. Оптическая спектроскопия биологических мембран. Биофизические методы в мембранологии. Из рецен-

зий: «Книга является уникальной и не имеет аналогов среди литературы, посвященной биологическим мембранам, ни в СССР, ни за рубежом». «Блестящее руководство, в котором собраны действительно самые современные методы изучения биологических мембран и главы которого написаны ведущими специалистами». «Это руководство послужит своеобразным катализатором развития современных исследований мембран в нашей стране и станет настольной книгой мембранологов».

Для биохимиков, биофизиков, иммунологов.

1990,30 л. Цена 3 р. 90 к.

На книги, выходящие в 1990 г.,  
магазины научно-технической литературы принимают заказы  
с апреля - мая 1989 г.

Издательство заказы не принимает



## Знать или не знать?



**РОБЕРТ А. ВАЙНБЕРГ**

**З**А ДВА С ЛИШНИМ миллиарда лет эволюции живых организмов на Земле природа создала сложнейшие генетические «тексты». Таким текстом является геном человека, содержащий около 3 млрд. пар нуклеотидов, образующих 50000-100000 различных генов. Этот набор генов является результатом миллионов перделок исходного текста, которым обладали когда-то наши одноклеточные предки. Какие-то части современного человеческого текста заметно похожи на гены дрожжей и бактерий, другие, напротив, кажутся совершенно новыми.

В настоящее время определение полной последовательности нуклеотидов человеческого генома вполне реально при достаточном обеспечении финансовыми средствами и рабочими кадрами. В нуклеотидной последовательности ДНК скрыты разгадка происхождения человека, объяснение функционирования его организма. Генетический текст содержит, кроме того, следы ранних вставок, сокращений и замен - строки высочайшей поэзии жизни.

Секвенировать (т. е. определить последовательность составляющих элементов) такую сложную систему, как геном человека, стало возможным благодаря двум крупным достижениям молекулярной биологии. Во-первых, разработаны методы клонирования, позволяющие разделить всю ДНК на участки и получить множество копий каждого участка, что в свою очередь позволяет индивидуально охарактеризовать его. Во-вторых, есть группа методов, с помощью которых можно с абсолютной точностью установить последовательность нуклеотидов каждого отдельного участка ДНК. Составив «конец в конец» эти последовательности, мы получим всю информацию, содержащуюся в геноме - тексте из 3 млрд. букв.

Проблема расшифровки генома человека сейчас широко обсуждается.

Разумеется, общественность волнуется финансовая проблема. Бурный поток информации, который возникает в результате секвенирования генома человека, достанется недешево. Оценки общей стоимости работ достигают 3 млрд. долл. Есть, правда,

надежда, что благодаря методическим усовершенствованиям расходы могут быть уменьшены на порядок. Но все равно полное секвенирование генома человека - это грандиознейшее дело, которое вместе с исследованиями, направленными на борьбу со СПИДом, может исчерпать ограниченные фонды, доступные для фундаментальных медико-биологических исследований. Что даст в итоге проект секвенирования для решения ключевых фундаментальных проблем биологии - поможет ли он этому или только задержит прогресс, отвлекая на себя драгоценные средства?

**П**РОЕКТ ПОЛНОГО секвенирования человеческого генома бросает вызов традиции, вошедшей в «плоть и кровь» современных биологических исследований. Биология расцвела в результате относительно небольших работ, сконцентрированных на узких, четко определенных проблемах. Наиболее успешные исследования были осуществлены высококвалифицированными специалистами, страстно увлеченными своими изысканиями, на почве которых они объединялись в немногочисленные тесные группы. Традиция скрупулезного изучения узких, четко сформулированных проблем в биологии вполне оправдана. Живые организмы столь сложны, что исследователь, пытаясь понять все в целом, рискует тем, что в итоге не будет знать ничего твердо и достоверно.

По грандиозности проект полного секвенирования генома человека подобен полету на Луну или созданию суперколлайдера. Для его выполнения понадобятся объединенные координированные усилия десятков исследовательских групп, каждая из которых осуществит полный анализ своей «доли генома». Большая часть работы будет повторяющейся и рутинной, вплоть до такого уровня, когда нужны многочисленные технический персонал и автоматизированные устройства.

В проекте намечены два этапа. Первый из них - картирование, второй - собственно секвенирование. Картировать геном - значит установить порядок определенных групп фрагментов ДНК, как они располо-

жены вдоль хромосом. При помощи маркеров будет установлена локализация отдельных сегментов ДНК длиной от нескольких сотен до нескольких тысяч нуклеотидов. На этапе секвенирования будет определен порядок нуклеотидов в этих сегментах.

Вопрос о картировании разногласий по существу не вызывает. Даже те, кто не одобряет проект секвенирования генома в целом, находят картирование полезным. Его результаты помогут найти связь между определенными участками ДНК (и соответствующими генами) и специфическими биологическими явлениями. Когда составится полная карта человеческого генома, будет намного легче идентифицировать гены, ответственные за многие заболевания, такие как муковисцидоз и болезнь Хантингтона, равно как и гены, обуславливающие подверженность раку.

Главным предметом дискуссий вокруг проекта секвенирования человеческого генома является этап собственно определения нуклеотидной последовательности. Есть ли нужда знать каждое слово, каждую букву в энциклопедии? Уже ясно, что у человека подавляющая часть ДНК - около 95% - представлена последовательностями, мало важными в кодировании биологических структур и функций или вообще не играющими в этом никакой роли. Большая доля генома - это, по-видимому, результат эволюционного «выветривания», не нужные обрывки «фраз», утративших значение сотни миллионов или даже миллиард лет назад. Остальная ДНК - примерно 5% - содержит осмысленную информацию, определяющую весь организм; она кодирует аминокислотные последовательности десятков тысяч белков, выполняющих в организме структурную или функциональную роль.

Даже если специфическая последовательность аминокислот, образующих данный белок, известна, на выяснение его функции может уйти несколько лет. И даже тогда понимание этой функции в клетке или органе неизбежно будет лишь ограниченным, так как всякий белок функционирует не в отдельности, а в контексте сложной сети взаимодействий других белков. Те 50000-100000 отдельных аминокислотных последовательностей, которые будут установлены в результате секвенирования генома, всего лишь очертят масштабы проблемы, а решать ее придется уже следующему поколению биологов. Короче говоря, огромный объем данных, который будет получен в ходе секвенирования, кое в чем окажется полезным, но далеко не в такой степени, в какой грандиозен сам проект.



ОБУЧЕНИЕ ДЕТЕЙ  
ИЗ БЕДНЫХ СЛОЕВ  
НАЦИОНАЛЬНЫХ  
МЕНЬШИНСТВ

SCHOOL POWER: IMPLICATIONS OF AN INTERVENTION PROJECT. James P. Comer. The Free Press, 1980.

FAMILY LIFE AND SCHOOL ACHIEVEMENT: WHY POOR BLACK CHILDREN SUCCEED OR FAIL. Reginald M. Clark. University of Chicago Press, 1983.

GOOD SCHOOLS: WHAT RESEARCH SAYS ABOUT IMPROVING STUDENT ACHIEVEMENT. Willis D. Hawley and Susan J. Rosenholz in *Peabody Journal of Education*, Vol. 61, No. 4; Summer, 1984.

WHY THE CURRENT WAVE OF SCHOOL REFORM WILL FAIL. John E. Chubb in *The Public Interest*, Vol. 9Q, pages 28-49; Winter, 1988.

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ  
КОЛЕБАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ  
У КОСМИЧЕСКИХ  
ИСТОЧНИКОВ  
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

INTENSITY-DEPENDENT QUASI-PERIODIC OSCILLATIONS IN THE X-RAY FLUX OF GX5-1. M. van der Klis, F. Jansen, J. van Paradijs, W. H. G. Lewin, E. P. J. van den Heuvel, J. E. Trumper and M. Sztajno in *Nature*, Vol. 316, No. 6025, pages 225-230; July 18, 1985.

THE PHYSICS OF ACCRETION ONTO COMPACT OBJECTS. 1st *Lecture Notes in Physics*, Vol. 266; '86.

THE PHYSICS OF COMPACT OBJECTS: THEORY VS. OBSERVATIONS. In *Advances in Space Research*, Vol. 8, No. 2-3; 1988.

A REVIEW OF QUASI-PERIODIC OSCILLATIONS IN LOW-MASS X-RAY BINARIES. W. H. G. Lewin, J. van Paradijs and M. van der Klis in *Space Science Reviews*, Vol. 46, pages 273-377; 1988.

ПРИЧИНЫ  
МЕТАСТАЗИРОВАНИЯ  
РАКОВЫХ КЛЕТОК

METASTASIS RESULTS FROM PREEXISTING VARIANT CELLS WITHIN A MALIGNANT TUMOR. Isaiah J. Fidler and Margaret L. Kripke in *Science*, Vol. 197, No. 4306, pages 893-895; August 26, '97.

REJECTION OF TRANSPLANTABLE AKR LEUKEMIA CELLS FOLLOWING MHC DNA-MEDIATED CELL TRANSFORMATION. Kam Hui, Frank Grosveld and Hilliard Festenstein in *Nature*, Vol. 311, No. 5988, pages 750-752, October 25, '84.

MHC GENES AND ONCOGENES CONTROLLING THE METASTATIC PHENOTYPE OF TUMOR CELLS. Lea Eisenbach, Gil Kushtai, Daniel Plaksin and Michael Feldman in *Cancer Reviews*, Vol. 5, pages 1-18; 1986.

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ГРОЗОВЫХ  
ОБЛАКОВ

ATMOSPHERIC ELECTRICITY. John A. Chalmers. Pergamon Press, 1967.

THE THUNDERCLOUD. C. B. Moore and B. Vonnegut in *Lightning, Vol. 1: Physics of Lightning*, edited by R. H. Golde. Academic Press, 1977.

THE LIGHTNING DISCHARGE. Martin A. Uman. Academic Press, 1987.

THE ROLE OF ELECTRIC SPACE CHARGE IN NUCLEAR LIGHTNING. Earle R. Williams, Chathan M. Cooke and Kenneth A. Wright in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 93, No. D2, pages 1679-1688; February 20, 1988.

THE ELECTRIFICATION OF THUNDERSTORMS. Earle R. Williams in *Journal of Geophysical Research*, in press.

Имянитов И. М., Чубарина Е. В., Шварц Я. М. Электричество облаков. - Л.: Гидрометеоздат, 1971.

Атмосферное электричество. Труды 111 Всесоюзного симпозиума. - Л.: Гидрометеоздат, 1988.

СВЕРХТЕКУЧАЯ  
ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

MUTUAL FRICTION IN A HEAT CURRENT IN LIQUID HELIUM II. W. F. Vinen in *Proceedings of the Royal Society of London*, Vol. A242, pages 493-515; '957.

GENERATION OF SUPERFLUID TURBULENCE DEDUCED FROM SIMPLE DYNAMICAL RULES. K. W. Schwarz in *Physical Review Letters*, Vol. 49, No. 4, pages 283-285; July 26, 1982.

QUANTUM TURBULENCE. Russell J. Donnelly and Charles E. Swanson in *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 173, pages 387-429; 1986.

SUPERFLUID TURBULENCE. J. T. Tough in *Progress in Low Temperature Physics*, Vol. 8, pages 133-216, 1987.

THREE-DIMENSIONAL VORTEX DYNAMICS IN SUPERFLUID 4HE: HOMOGENEOUS SUPERFLUID TURBULENCE. K. W. Schwarz in *Physical Review B*, Vol. 38, No. 4, pages 2398-2417; August " 1988.

Патерман С., ГИДРОДИНАМИКА СВЕРХТЕКУЧЕЙ ЖИДКОСТИ. - М.: Мир, 1978.

Халатников И. М., ТЕОРИЯ СВЕРХТЕКУЧЕСТИ. - М.: Физматгиз, 1971.

INFRARED OPTICAL FIBERS. Tadashi Miyashita and Toyotaka Malarbe in *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. QE-18, No. 10, pages 1432-1450; October, 1982.

SPECIAL ISSUE ON Low-Loss FIBERS. 1st (IEEE) *Journal of Lightwave Technology*, Vol. LT-2, No. 5; October, 1984.

THE SEARCH FOR VERY Low Loss FIBER-OPTIC MATERIALS. M. E. Lines in *Science*, Vol. 226, No. 4675, pages 663-668; November 9, '84.

HEAVY METAL FLUORIDE GLASSES. Martin G. Drexhage in *Treatise on Materials Science and Technology*, Vol. 26, pages 151-243; 1985.

HALIDE GLASSES. Cornelius T. Moynihan in *Materials Research Society Bulletin*, Vol. 12, No. 5, pages 40-44; June 16, 1987.

Дианов Е. М. ВОЛОКОННЫЕ СВЕТОВОДЫ СРЕДНЕГО ИК ДИАПАЗОНА. Известия вузов СССР. Радиоэлектроника, 1983, т. 27, № 5, с. 27-35.

Дианов Е. М., Дмитрук Л. Н., Плотниченко В. Г., Чурбанов М. Ф. ВОЛОКОННЫЕ СВЕТОВОДЫ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЧИСТЫХ ФТОРИДНЫХ СТЕКОЛ. Высокочистые вещества, 1987, № 3, с. 10-34.

ПРОБЛЕМЫ ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИ. Труды Института общей физики АН СССР, т. 15. М.: Наука, 1988.

ЭВОЛЮЦИЯ ВЫПРЯМЛЕННОГО  
СПОСОБА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ  
У ЧЕЛОВЕКА

HUMAN WALKING. Verne T. Inman, Henry J. Ralston and Frank Todd. Williams & Wilkins, 1981.

Lucy: THE BEGINNINGS OF HUMANKIND. Donald C. Johanson and Edey Maitland. Simon and Schuster, 1981.

THE ORIGIN OF MAN. C. Owen Lovejoy in *Science*, Vol. 211, No. 4480, pages 341-350; January 23, 1981.

THE OBSTETRIC PELVIS OF A. L. 288-1 (Lucy). Robert G. Tague and C. Owen Lovejoy in *Journal of Human Evolution*, Vol. 15, No. 4, pages 237-255; May, 1986.

Джохансон Д., Иди М. ЛЮСИ. ИСТОКИ РОДА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО. Пер. с англ. - М.: Мир, 1984.

ЧТО МЕШАЕТ ВАКЦИНАЦИИ  
НАСЕЛЕНИЯ РАЗВИВАЮЩИХСЯ  
СТРАН

NEW VACCINE DEVELOPMENT. ESTABLISHING PRIORITIES. Vol. 2: DISEASES OF IMPORTANCE IN DEVELOPING COUNTRIES. Committee on Issues and Priorities for New Vaccine Development, Institute

## Вниманию читателей!

### 3. Беньяеки УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Перевод с английского

В книге известного американского специалиста в области механики горных пород дается ясное изложение современного состояния проблемы управления горным давлением при разработке месторождений полезных ископаемых. Рассматривается широкий круг вопросов управления состоянием пластов и выработок при добыче угля и руд, проведения и обеспечения устойчивости подземных выработок для добычи нефти и хранения радиоактивных отходов с высоким уровнем активности, а также обсуждаются наиболее важные аспекты проектирования в горном деле. Значительное внимание уделяется проблемам упрочнения пластов при помощи анкеров, устойчивости целиков, управления пластами при добыче лавами, горных ударов - их механизму и способам управления в условиях удароопасности, а также управления пластами при проектировании и сооружении стволов. Важным является рассмотрение в книге взаимосвязи различных видов исследований - геологических, геофизических и геомеханических.

Для исследователей и горных инженеров, занимающихся подземной разработкой, добычей нефти и строительством, а также для студентов горных вузов.

1990, 17 л. Цена 3 р. 70 к.

На книги, выходящие в 1990 г., магазины научно-технической литературы принимают заказы с апреля-мая 1989 г. Издательство заказы не принимает



of Medicine, National Academy Press, 1986.

NEW SCIENTIFIC OPPORTUNITIES AND OLD OBSTACLES IN VACCINE DEVELOPMENT. Kenneth S. Warren in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 83, No. 24, pages 9275-9277; October, 1986.

ESTABLISHING HEALTH PRIORITIES IN THE DEVELOPING WORLD. Julia Walsh. United National Development Program. Adams Publishing Group, 1988.

THE STATE OF THE WORLD'S CHILDREN 1988. James P. Grant, United Nations Children's Fund. Oxford University Press, 1988.

VACCINES. Stanley A. Plotkin and Edward A. Mortimer. W. B. Saunders Co., 1988.

### НАУКА ВОКРУГ НАС

BORDER LOCKING AND THE CAFE WALL ILLUSION. Richard L. Gregory and Priscilla Heard in *Perception*, Vol. 8, pages 365-380; 1979.

VISION: A COMPUTATIONAL INVESTIGATION INTO THE HUMAN REPRESENTATION AND PROCESSING OF VISUAL INFORMATION. David Marr. W. H. Freeman and Company, 1982.

THE MUNSTERBERG FIGURE AND TWISTED CORDS. M. J. Morang and B. Moulden in *Vision Research*, Vol. 26, No. 11, pages 1793-1800; 1986.

FURTHER STUDIES OF THE CAFE WALL AND HOLLOW SQUARES ILLUSIONS, J. Margaret Woodhouse and Steve Taylor in *Perception*, Vol. 16, pages 467-471; 1987.

### ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

DATA ENCRYPTION STANDARD. National Bureau of Standards, Federal Information Processing Standards Publication 46. National Technical Information Service, 1977.

THE FIRST TEN YEARS OF PUBLIC-KEY CRYPTOGRAPHY. Whitfield Diffie in *Proceedings of the IEEE*, Vol. 76, No. 5, pages 560-577; May, 1988.

## Вниманию читателей!

### Р. Саун, А. Уиттик ОСНОВЫ ДЛГОЛОГИИ

Написанное канадскими специалистами руководство по биологии водорослей, освещающее все аспекты этой дисциплины. Книга хорошо иллюстрирована, ее характеризует системность подхода и полнота охвата материала; по тематике она не имеет аналогов в отечественной литературе.

Содержание: Классификация. Клеточная и надклеточная организация. Морфология одноклеточных, многоклеточных и колониальных нитчатых водорослей. Физиология и биохимия. Экология. Эволюция и филогения. Использование водорослей.

Из рецензий: «Книга станет первым в СССР специализированным учебником-справочником по водорослям». «В качестве современного руководства по альгологии будет полезна для многих исследователей».

1990, 37 л. Цена 5 р. 60 к.



## В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 16.12.88.  
По оригинал-макету. Формат 60 x 90 1/8.

Гарнитуры таймс, гелиос\_

Офсетная печать.

Объем 6,50 бум. л.

УСЛ.-печ. л. 13,00.

Уч.-изд. л. 16,54.

Усл. кр.-отг. 54,36.

Изд. N 25/6779. Заказ 1072.

Тираж 26600 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в Межиздательском

фотоаборном центре

издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Государственного комитета СССР

по делам издательств,

полиграфии и книжной торговли.

127576. Москва, Илимская, 7



# Вниманию читателей!

## СТРУКТУРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТОНИКА ПЛИТ

В 3-х томах:

Перевод с английского

Под ред. К. Сейферта



Книга, написанная известными геологами США, Великобритании, Канады и Австралии, дает весьма полное и современное представление о достижениях, проблемах и методах исследований в структурной геологии и о разнообразных аспектах концепции тектоники плит: тектонических, петрологических, геохимических и др. Материал преподносится в 125 статьях по относительно крупным обобщенным темам. Кроме того приводятся термины и понятия с указанием, в какой статье они объясняются. Статьи и термины расположены в алфавитном порядке для удобства нахождения нужного материала. Дается также английское написание терминов. В целом книга воспринимается как справочник, позволяющий получить краткую, но полную информацию по любой проблеме указанной области геологии.

В первый том вошло около 40 статей, посвященных дрейфу континентов, конвекции и движению плит, деформации горных пород, геосинклиналям и геоклиналям, геодинамике, графическим методам в структурной геологии и др.

Во второй том вошло около 40 статей, посвященных пластическим деформациям пород и минералов, островным дугам, океаническим хребтам, мантийным плюмам и горячим точкам, рифтовым долинам, милонитам и др.



В третий том вошло около 40 статей, посвященных тектонике плит, мантийным плюмам и происхождению магмы, процессам складчатости, покровообразования и метаморфизма, складкам, разрывам, соляной тектонике, точечным диаграммам, сутурам и др. Имеется предметный указатель на русском и английском языках.

Для геологов широкого профиля, специалистов в области геотектоники, структурной геологии, геодинамики и магнетизма, преподавателей и студентов геологических вузов\_

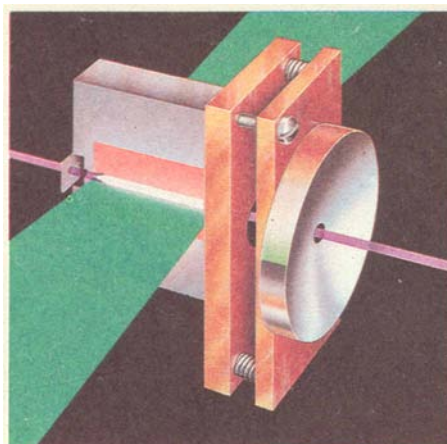
1990, 108 л. Цена 22 р. 50 к. за комплект.

На книги, выходящие в 1990 г  
магазины научно-технической литературы принимают заказы  
в апреле - мае 1989 г.

Издательство заказы не принимает



*В следующем номере:*



**ЛАЗЕРЫ МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**ПРОБЛЕМА БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В США**

**ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ФАЗА**

**ПЛАСТИЧНОСТЬ В РАЗВИТИИ МОЗГА**

**СТРУКТУРНЫЙ ГРУНТ**

**ОПЛОДОТВОРЕНИЕ У МЛЕКОПИТАЮЩИХ**

**СИЛА ТЯЖЕСТИ И КРОВООБРАЩЕНИЕ У ЗМЕЙ**

**ПЕРУАНСКИЕ КАНАЛЫ ДОИНКСКОГО ПЕРИОДА**

**О СТРАННЫХ ОТРАЖЕНИЯХ,  
КОТОРЫЕ МОЖНО УВИДЕТЬ  
В ЕЛОЧНЫХ ШАРАХ И ДРУГИХ БЛЕСТЯЩИХ СФЕРАХ**

**СЛУЧАЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ  
И ОБРАЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ СКОПЛЕНИЙ**