

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Август **8** 1983

ЗАСТЕЖКА-МОЛНИЯ

Издательство МИР предлагает:

Э. Фомалон, Р. Фратер, Дж. Хамакер и др.

**ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В АСТРОНОМИИ
ПО ФУНКЦИЯМ КОГЕРЕНТНОСТИ**

Перевод с английского



Современные радиотелескопы апертурного синтеза — сложные антенно-вычислительные комплексы, существенной особенностью которых является математическое обеспечение построения изображений на основе измеряемых спектров пространственных частот. В коллективной монографии, в написании которой приняли участие видные специалисты из США, Великобритании, ФРГ, Нидерландов, Японии, детально рассмотрены теоретические и практические методы выделения изображения объекта при наличии ошибок измерения и шумов. Описанные методы находят все большее применение, помимо радиоастрономии, в оптике, кристаллографии,

ядерной физике, медицине и т.д.

Основное содержание: Методы апертурного синтеза. Апертурный синтез с ограниченной или отсутствующей информацией о фазе. Техника обработки и методы отображения. Методы оптической интерферометрии. Восстановление изображений методом максимальной энтропии. Другие методы улучшения изображения.

Книга предназначена для астрономов, оптиков, а также для лиц, интересующихся способами построения изображений в кристаллографии, ядерной физике, медицине и т.п., — как для специалистов, так и для студентов старших курсов.

1982, 316 с. Цена 3 р.



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

№ 8 · АВГУСТ 1983

В номере:

СТАТЬИ

- 4 Невидимое вещество в спиральных галактиках *Вера К. Рубин*
Спиральные галактики, по-видимому, содержат значительное количество несветящегося вещества, которое расположено далеко от их центра
(Scientific American, June 1983, Vol. 248, No. 6)
- 17 Перенос новых генов в клетки растений *Мэри-Дэлл Хилтон*
При индукции опухоли у растений бактерия вводит в него фрагмент ДНК. Эту изобретенную самой природой форму генетической инженерии можно использовать для модификации сельскохозяйственных растений
(Scientific American, June 1983, Vol. 248, No. 6)
- 28 Гигантские вулканические кальдеры *Питер Фрэнсис*
Гигантские кальдеры — это кратеры диаметром в десятки километров, оставшиеся после вулканических извержений. За всю историю человечества не произошло ни одного такого мощного извержения. В течение последнего миллиона лет образовалось, вероятно, не более десяти таких кальдер
(Scientific American, June 1983, Vol. 248, No. 6)
- 42 Пекинский человек *У Руан, Лин Шенлон*
За 230 тыс. лет своего существования *Homo erectus pekinensis* оставил в пещере множество костей и орудий, которые позволяют судить о его биологической, технологической и в какой-то мере о социальной эволюции
(Scientific American, June 1983, Vol. 248, No. 6)
- 52 Персональные компьютеры *Ху Мин Д. Тунг, Амар Гупта*
Эти портативные недорогие вычислительные машины обладают многими возможностями больших компьютеров. С ними могут работать люди, не имеющие никакой технической подготовки. Их широкое внедрение облегчит решение многих задач на производстве, в науке, в сфере управления и даже в быту
(Scientific American, December 1982, Vol. 247, No. 6)
- 66 Экологическая физиология китов и дельфинов *Джон У. Канвишер, Сэм Г. Риджуэй*
Киты и дельфины ведут активный образ жизни, как и наземные млекопитающие. В процессе приспособления к водной среде обитания у этих животных выработались специфические адаптации, в том числе способность глубоко нырять и подолгу оставаться под водой
(Scientific American, June 1983, Vol. 248, No. 6)
- 76 Георг Кантор и рождение теории трансфинитных множеств *Джозеф У. Даубен*
Насколько велико бесконечное множество? Кантор доказал существование иерархии бесконечностей, каждая из которых «больше» предшествующей. Его теория множеств — один из краеугольных камней математики
(Scientific American, June 1983, Vol. 248, No. 6)
- 88 Застежка-молния *Льюис Уэйнер*
Эта всем знакомая деталь одежды имеет 60-летнюю историю. За время своего существования она претерпела немало модификаций. Ее появлению мы обязаны Элайасу Хоу — изобретателю швейной машины
(Scientific American, June 1983, Vol. 248, No. 6)

РУБРИКИ

- 3 Об авторах
51 50 и 100 лет назад
96 Наука вокруг нас
40, 75, 87, 108 Наука и общество
103 Книги
111 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

BOARD OF EDITORS

Gerard Piel
PUBLISHER

Dennis Flanagan
EDITOR

Brian P. Hayes
ASSOCIATE EDITOR

Philip Morrison
BOOK EDITOR

John M. Benditt

Peter G. Brown

Michael Feirtag

Diana Lutz

Jonathan B. Piel

John Purcell

James T. Rogers

Armand Schwab, Jr.

Joseph Wisnovsky

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
PRODUCTION MANAGER

George S. Conn
GENERAL MANAGER

© 1983 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

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

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Л. П. Чуркина

КОРРЕКТОР
И. И. Дериколенко

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

ТИТУЛЬНАЯ НАДПИСЬ,
ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ:
В. В. Ефимов

АДРЕС РЕДАКЦИИ
129820, Москва, И-110, ГСП
1-й Рижский пер., 2
ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ
286.2588

© Перевод на русский язык и оформление: издательство «Мир», 1983

На обложке



ЗАСТЕЖКА-МОЛНИЯ

На увеличенном изображении фрагмента застежки-молнии показано, как смыкаются ее звенья. Здесь изображены металлические звенья, хотя бывают и пластмассовые — из найлона или полиэстера, которые впервые стали изготавливать после второй мировой войны, когда появились новые виды пластмасс и технология их обработки была усовершенствована. Каждое звено имеет небольшой выступ сверху и выемку снизу. При перемещении замка вверх его V-образная перемычка задает звеньям определенный угол, при котором выступ каждого звена заходит в выемку другого звена на противоположной строчке. Бортики замка фиксируют сцепление звеньев. Именно за счет такой геометрии звеньев обеспечивается сплошное соединение двух строчек застежки. При расстегивании происходит обратный процесс: бортики замка выводят звенья из зацепления, а перемычка раздвигает их (см. статью Л. Уэйнера «Застежка-молния» на с. 88). Каждое звено закреплено на тесьме с помощью лапок, обжимающих ее утолщенный край. Тесьма служит также и для пришивания застежки к одежде.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Ted Lodigensky

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
52	R. F. Bonifield		Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Peking		<i>любезного разрешения David Burstein (в середине слева)</i>
53—61	Allen Beechel	50	Patricia J. Wynne	6	Gabor Kiss
62	Hoo-min D. Toong and Amar Gupta, Massachusetts Institute of Technology	4—5	National Geographic Society—Palomar Observatory Sky Survey (<i>вверху слева, в центре в середине, внизу слева и внизу в середине</i>), European Southern Observatory/ Science Research Council Southern Sky Atlas (<i>вверху в центре и вверху справа</i>), Mount Wilson and Las Campanas Observatories, с <i>любезного разрешения Allan R. Sandage (в середине справа и внизу справа)</i> , Palomar Observatory, c	7—8	Vera C. Rubin Carnegie Institution of Washington (<i>вверху</i>); Gabor Kiss (<i>внизу</i>)
18	Robert and B. Gillian Turgeon, Cornell University (<i>вверху</i>); Mary-Dell Chilton (<i>внизу</i>)			9—13	Gabor Kiss
19—24	Bunji Tagawa			14	Vera C. Rubin, Carnegie Institution of Washington (<i>слева</i>); Gabor Kiss (<i>справа</i>)
25	Jacques Tempé			15	Gabor Kiss
26	Bunji Tagawa			67	Sam H. Ridgway
29	Natural Environment Research Council, Swindon, England, and Open University			68	Alan D. Iselin
30—31	Peter Francis			70	U.S. Navy (<i>вверху</i>), Sam H. Ridgway (<i>внизу</i>)
32—36	Tom Prentiss			71—73	Alan D. Iselin
38	Peter Francis			77	Egbert Schneider
43	Carl Mydans			78—85	Jerome Kuhl
44—48	Patricia J. Wynne			89—94	Ian Worpole
49	Wu Rukang and Lin Shenqlong,			97	Frank R. Seufert
				98—101	Michael Goodman

Об авторах

Hoo-min D. Toong, Amar Gupta (ХУ МИН Д. ТУНГ, АМАР ГУПТА «Персональные компьютеры») — инженеры, изучающие проблему влияния вычислительной техники на различные стороны деятельности человека. Тунг — доцент по специальности организация производства в Слоуновской школе управления при Массачусетском технологическом институте (МТИ) и возглавляет лабораторию цифровых систем в Исследовательском центре информационных систем МТИ. В этом же институте он получил ученые степени бакалавра (1967 г.) и магистра (1969 г.) естественных наук, а также доктора философии (1974 г.) в области электротехники и теории вычислительных систем. Гупта — бакалавр технических наук по электротехнике (с 1974 г.) и доктор философии по вычислительной технике (с 1980 г.). Обе ученые степени получил в Индийском технологическом институте (г. Канпур). Кроме того, он имеет степень магистра естественных наук, присвоенную ему в МТИ. С 1974 г. сотрудничает с правительственными организациями Индии, осуществляющими закупку вычислительных систем.

Mary-Dell Chilton (МЭРИ-ДЭЛЛ ХИЛТОН «Перенос новых генов в клетки растений») сообщила о себе следующее: «Я училась в Иллинойском университете (г. Эрбана-Шампейн) и готовилась стать химиком. Моя специализация начиналась с органической химии; потом на курсах биохимии и микробиологии я "познакомилась" с ДНК, и интерес к ней не ослаб у меня до сих пор. В аспирантуре Вашингтонского университета я изучала ДНК бактерий, мышей и кукурузы. В 1970 г. начала преподавать микробиологию, а в 1979 г. стала доцентом биологии в Вашингтонском университете (г. Сент-Луис). Контакты с научными сотрудниками Monsanto Company в Сент-Луисе привели к тому, что я увлеклась генетической инженерией на высших растениях. Недавно меня назначили директором отделения сельскохозяйственной биотехнологии в CIBA-Geigy. Там я отвечаю за создание нового исследовательского центра в Северной Калифорнии, одной из задач которого будет практическое использование систем переноса генов, описанных в этой статье».

Peter Francis (ПИТЕР ФРЭНСИС «Гигантские вулканические кальдеры») родился в Замбии, которая тогда называлась Северной Родезией. Для продолжения образования переехал в Англию. В Имперском колледже науки и техники (входит в состав Лондонского университета. — *Перев.*) в 1969 г. получил

докторскую степень по геологии. Начиная с 1971 г. входит в штат преподавателей факультета наук о Земле Открытого университета (университет заочного обучения в Англии. — *Перев.*). В 1981 г. был приглашен в Институт Луны и планет (г. Хьюстон) в качестве старшего научного сотрудника, где разрабатывает методы дистанционного исследования вулканических массивов. П. Фрэнсис провел экспедиции в вулканические районы Центральной Америки, Южной Америки и Африки.

Wu Rukang, Lin Shenglong (У РУКАН, ЛИН ШЕНЛОН «Пекинский человек») — палеоантропологи, родились в Китае, занимаются антропологией Китая. У Рукан окончил Центральный университет Чонкина в 1940 г. со степенью бакалавра. В 1946 г. он переехал в США, где получил степени магистра (1947 г.) и доктора (1949 г.) в Вашингтонском университете (г. Сент-Луис). После этого У Рукан вернулся в Китай и стал заведующим кафедрой анатомии Дальнего медицинского колледжа. В 1956 г. он переходит на должность научного сотрудника в Институт палеонтологии позвоночных и палеоантропологии Китайской академии наук. В настоящее время является заместителем директора этого института. У Рукан — действительный член Академии наук, президент Анатомического общества. Лин Шенлон изучал археологию в Пекинском университете. В 1959 г. он перешел в Университет Внутренней Монголии, а в 1962 г. возобновил исследовательскую работу в Институте палеонтологии позвоночных и палеоантропологии.

Vera C. Rubin (ВЕРА К. РУБИН «Невидимое вещество в спиральных галактиках») пишет: «Вот уже 18 лет я работаю в отделе земного магнетизма Института Карнеги в Вашингтоне, где занимаюсь изучением динамики галактик. Я состою также внештатным сотрудником обсерваторий Маунт-Вилсон и Лас-Кампанас. Астрономическое образование получила в Вассаровском колледже (степень бакалавра — в 1948 г.), Корнеллском университете (степень магистра — в 1951 г.) и Джорджтаунском университете (степень доктора — в 1954 г.). В диссертации на степень магистра я исследовала крупномасштабные систематические движения во всех галактиках с известными тогда лучевыми скоростями. Докторская диссертация была посвящена изучению пространственного распределения галактик. Темы этих двух работ, которые тесно связаны с моими современными исследованиями, вновь привлекли всеобщее внима-

ние в 70-х годах, когда значительно возрос объем полученных данных и появились быстродействующие ЭВМ. Я часто выезжаю в различные обсерватории, особенно Китт-Пик близ Тусона и Серро-Гололо и Лас-Кампанас в Чили».

John W. Kanwisher, Sam H. Ridgway (ДЖОН У. КАНВИШЕР, СЭМ Г. РИДЖУЭЙ «Экологическая физиология китов и дельфинов») изучают физиологию ныряния у человека и морских животных. Дж. Канвишер получил биофизическое образование. В 1951 г. в Рочестерском университете ему присвоили степень доктора. В 1952 г. у него появился интерес к физиологии; он прослушал курсы океанологии и биологии моря в Гарвардском университете и в Массачусетском технологическом институте. Канвишер много работает и как инженер-консультант; у него несколько патентов на приспособления, позволяющие дольше находиться под водой. С. Риджуэй возглавляет Медико-биологическое подразделение в центре подводной службы Военно-морского флота США. Степени бакалавра (1958 г.) и доктора ветеринарии он получил в Техасском университете сельского хозяйства и техники. В 1973 г. в Кембриджском университете стал доктором в области физиологии нервной системы. Вел научно-исследовательскую работу в области ветеринарии во многих учреждениях, в том числе в Южно-Калифорнийском университете, в Калифорнийском университете (г. Санта-Барбара) и в Ракетном центре ВМФ США.

Joseph W. Dauben (ДЖОЗЕФ У. ДАУБЕН «Георг Кантор и рождение теории трансфинитных множеств») — профессор истории и истории естествознания в Колледже Герберта Г. Лемана при Нью-Йоркском университете. В 1966 г. получил степень бакалавра в Колледже Клермонта. Докторскую диссертацию защитил в 1972 г. в Гарвардском университете. В 1973 и 1974 гг. в Американской академии в Риме изучал математику, а также искусство итальянского Возрождения. В 1977 и 1978 гг. работал в Институте высших исследований. В 1980 г. — приглашенный профессор в Оберлинском колледже. В 1981 г. — приглашенный профессор в Гарварде.

Lewis Weiner (ЛЬЮИС УЭЙНЕР «Застежка-молния») — инженер-консультант, его работа в основном связана с производством изделий, описанию которых посвящена статья. Родился в Чехословакии, образование получил в Праге в Карловом университете. В 1941 г. переехал в США. Имеет ряд патентов на устройства, применяемые в производстве застежек-молний.

Невидимое вещество в спиральных галактиках

Спиральные галактики, по-видимому, содержат значительное количество несветящегося вещества, которое расположено далеко от их центра

ВЕРА К. РУБИН

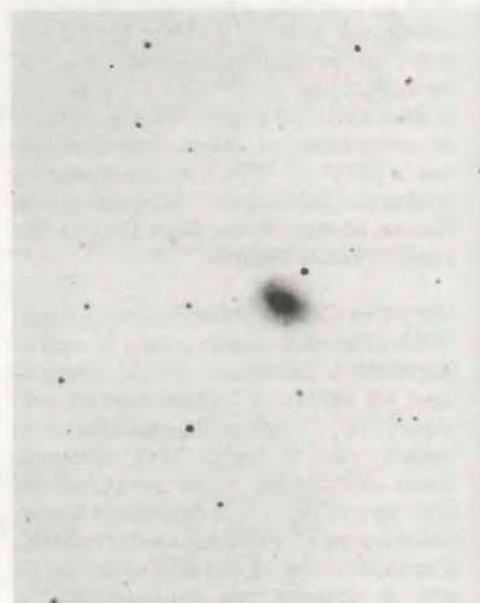
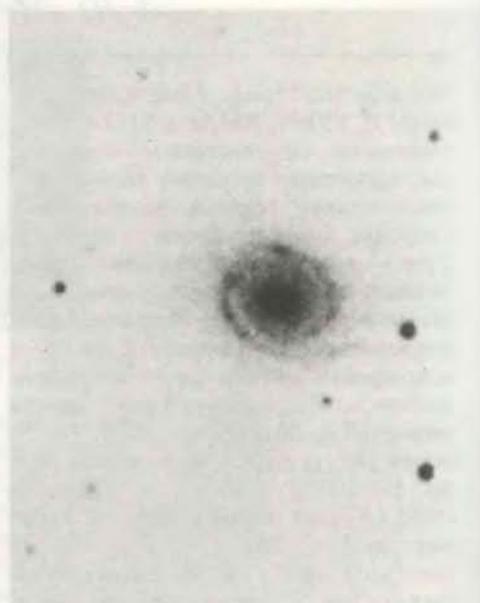
КОГДА в 20-х годах нашего века было найдено свидетельство того, что наблюдаемая Вселенная расширяется, естественно, возник вопрос: будет ли расширение продолжаться вечно или масса Вселенной достаточна для того, чтобы вследствие взаимного притяжения ее составляющих расширение прекратилось и сменилось сжатием? Большинство космологов считают, что наблюдаемая Вселенная начала расширяться из сверхплотного и сверхгорячего (сингулярного) состояния 10 — 20 млрд. лет назад и расширяется по сей день. Подсчитано, что критическая плотность вещества, необходимая, чтобы расширение прекратилось, т.е. чтобы Вселенная была замкнутой, составляет $5 \cdot 10^{-30}$ г/см³. Такую плотность создают три атома водорода, находящиеся в объеме, равном 1 м³. Однако средняя плотность, обусловленная светящимся веществом галактик, равна всего $7,5 \cdot 10^{-32}$ г/см³. Значит, если Вселенная замкнута, то плотность ненаблюдаемого вещества должна превышать плотность светящегося вещества в 70 раз.

На протяжении полувека астрономы пытались определить массы галактик, населяющих наблюдаемую Вселенную, постоянно помня об этом расхождении. Оценки масс типичных галактик, основанные на их светимости, лежат в диапазоне от нескольких миллиардов до нескольких триллионов солнечных масс. Разумеется, звездное население галактик весьма разнообразно — от звезд со светимостью, в 10 000 раз превосходящей солнечную, до малой доли солнечной светимости. Поэтому возникает вопрос: является ли распределение поверхностной яркости в галактиках надежным индикатором распределения массы? И если провести экстраполяцию на еще большие масштабы, то можно ли считать распределение поверхностной яркости в галактиках надежным индикатором распределения массы в наблюдаемой Вселенной?

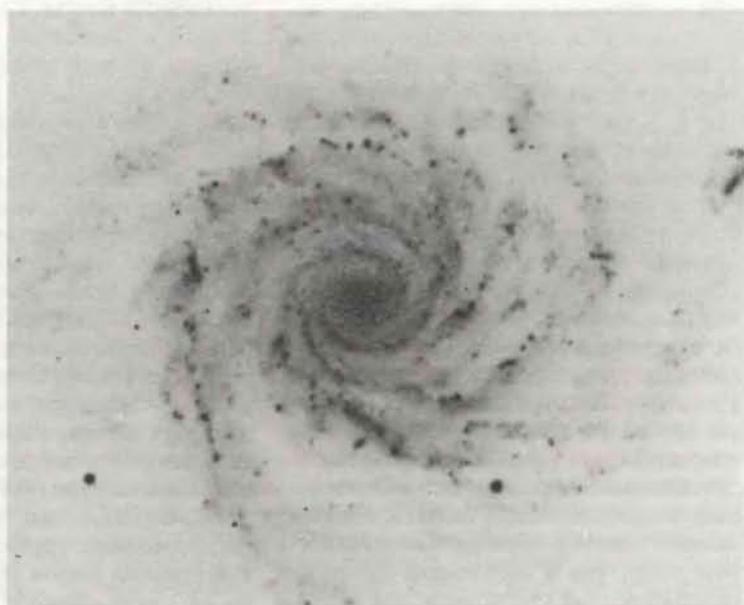
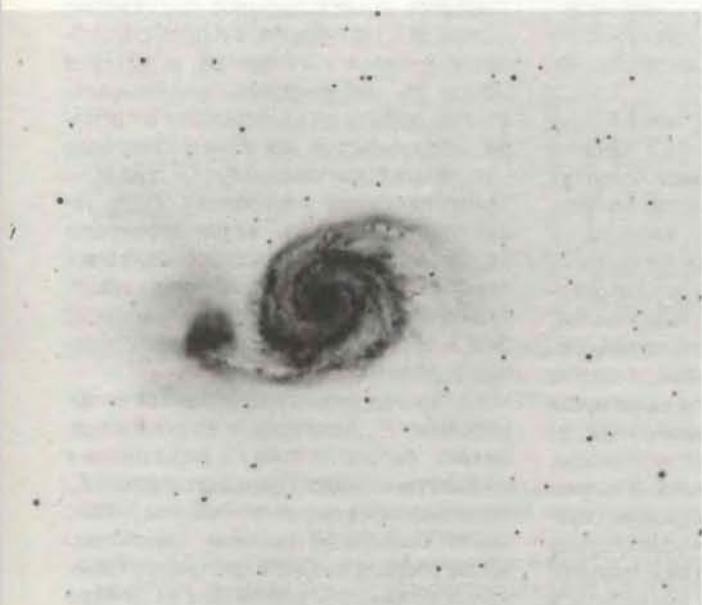
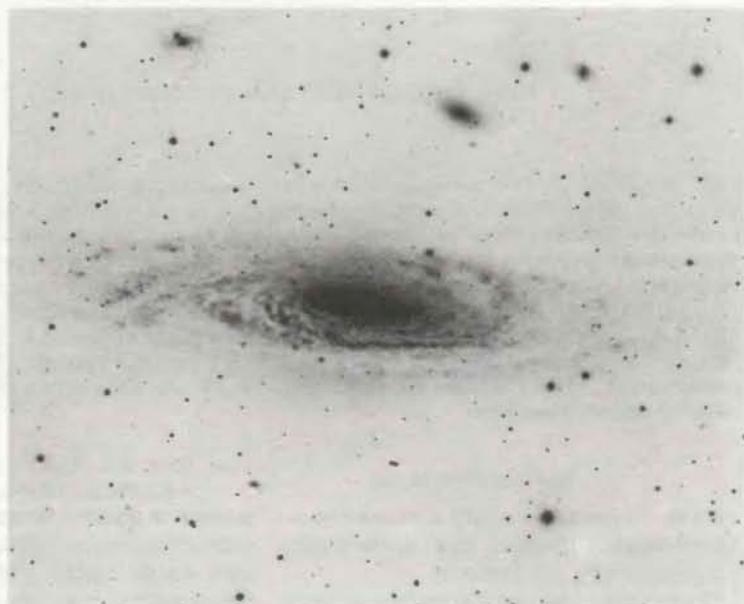
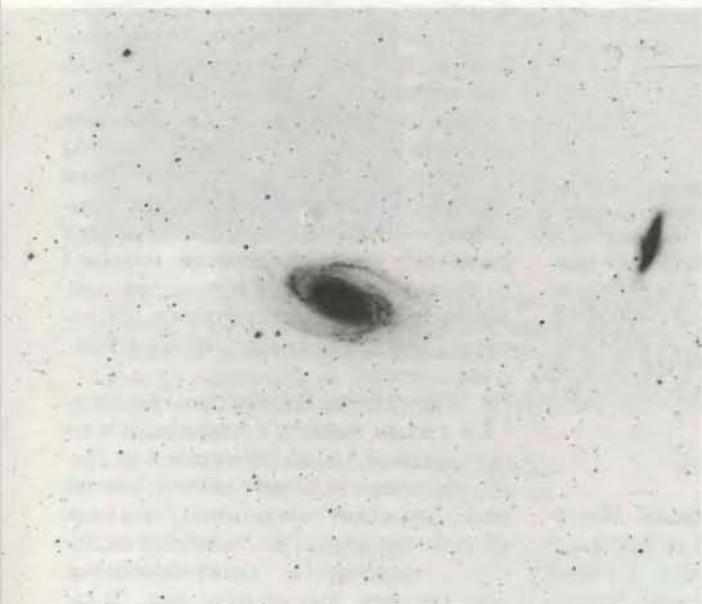
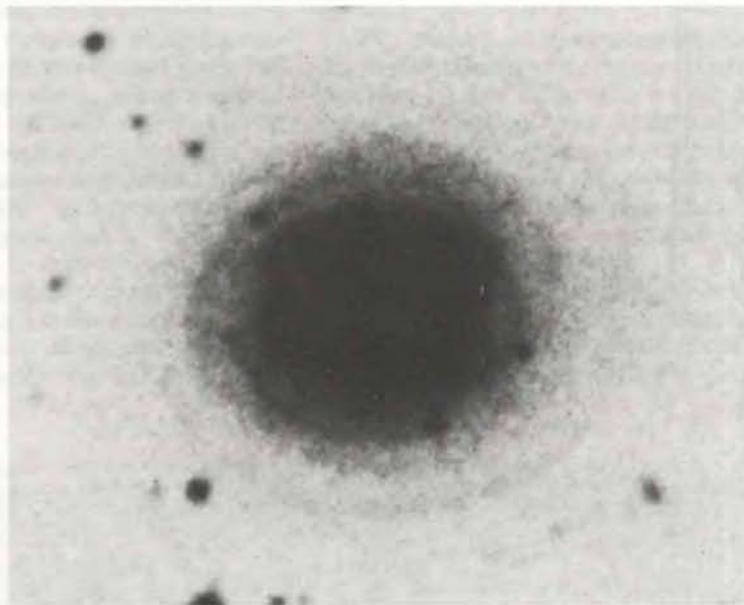
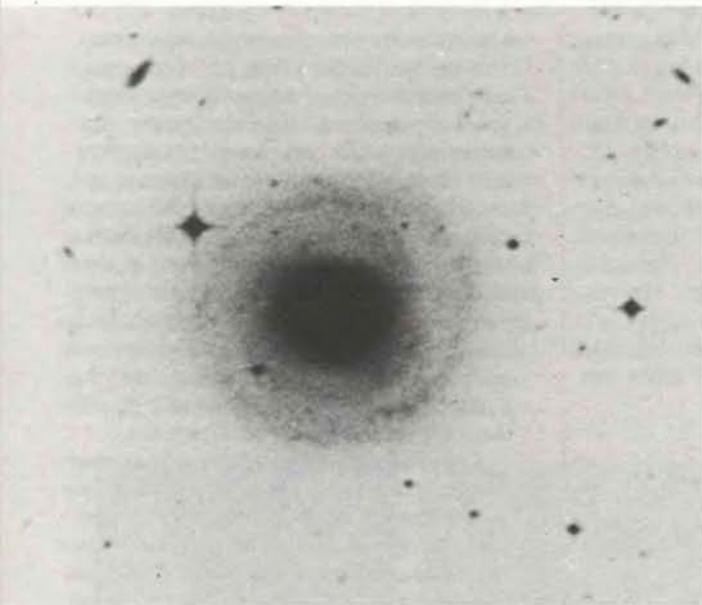
Я и мои сотрудники в Отделе земного магнетизма Института Карнеги в Вашингтоне попытались ответить на

эти вопросы. Для этого мы предприняли измерения скорости вращения галактик на различных расстояниях от центра. Уже давно известно, что за пределами яркого ядра типичной спиральной галактики ее поверхностная яркость быстро падает по мере удаления от центра. Если бы распределение яркости было истинным индикатором распределения вещества, то это означало бы, что большая часть массы сосредоточена вблизи центра галактики. Считалось, что вне ядра скорость вращения уменьшается обратно пропорционально корню квадратному из расстояния от центра, т.е. в соответствии с законом Кеплера для движения тел Солнечной системы. Однако оказалось, что скорости вращения галактик в нашей выборке либо постоянны, либо немного возрастают вдоль радиуса вплоть до расстояний, на которых еще были возможны измерения. Из этого неожиданного результата следует, что по мере удаления от центра количество светящегося вещества уменьшается, но зато возрастает количество несветящейся материи.

НАШИ результаты в совокупности с результатами многих других ученых, которые пытались решить вопрос о массе галактик иными методами, позволяют теперь сделать вывод, что распределение яркости не может служить надежным индикатором распределения массы ни в галактиках, ни во Вселенной в целом. Примерно 90% вещества во Вселенной не излучает достаточно интенсивно ни в одном диапазоне электромагнитного спектра и поэтому не может быть обнаружено при наземных наблюдениях. Раньше астрономы называли несветящееся вещество «скрытой массой». Теперь же они осознали, что это вещество вовсе не скрывается — просто оно невидимо. Такая несветящаяся материя может существовать в форме очень слабых маломассивных звезд, больших планет, подобных Юпитеру, или черных дыр любой массы. Другие «кандидаты» — это нейтрино (если, как следует из последних измерений, их масса покоя действи-

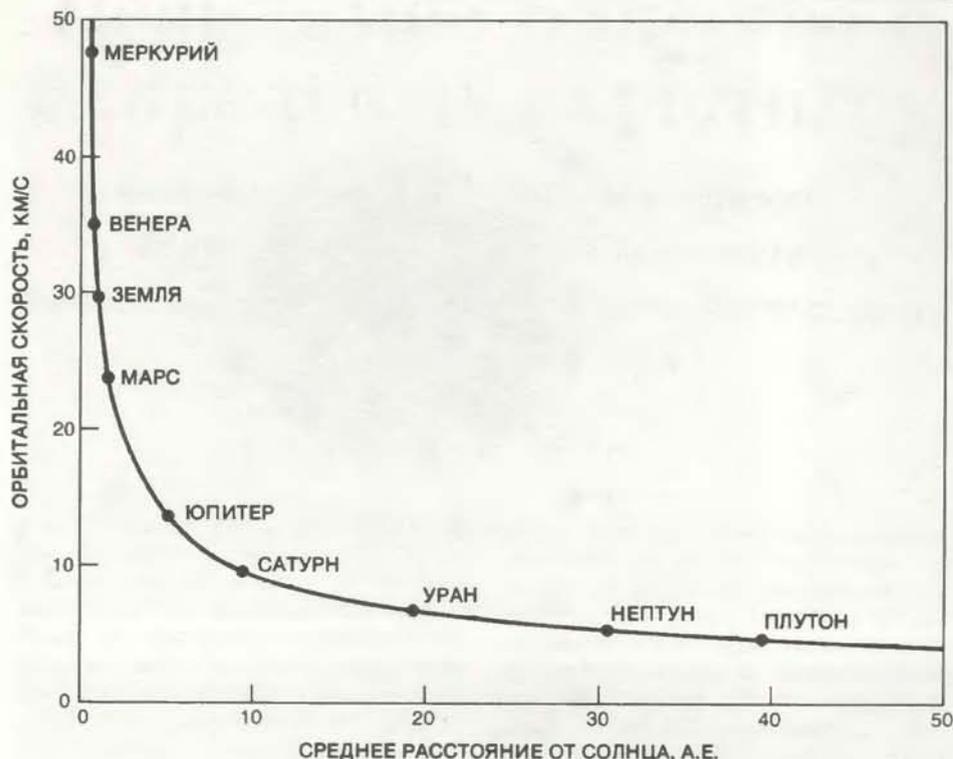


СПИРАЛЬНЫЕ ГАЛАКТИКИ, в которых изучалась невидимая масса, подразделяются на три основных типа: Sa, Sb и Sc. К каждому типу принадлежат га-



лактики разнообразных размеров и светимостей. Здесь приведены негативные изображения девяти галактик: по три галактики типа Sa (*вверху*), типа Sb (*в центре*) и типа Sc (*внизу*). Масштаб: 1,2 см соответствует 10 кило-

парсекам (32 600 световым годам). При переходе от типа Sa к типу Sc относительные размеры ядра становятся все меньше, а спиральная структура все более развита.



ЗАКОН КЕПЛЕРА, описывающий орбитальные скорости планет Солнечной системы, в которой 99% полной массы приходится на долю Солнца. Орбитальные скорости изменяются обратно пропорционально корню квадратному из r — среднего расстояния планеты от Солнца. Расстояния приводятся в астрономических единицах (а.е.). Одна астрономическая единица равна среднему расстоянию от Земли до Солнца. Плутон (39,5 а.е.) находится в 100 раз дальше от Солнца, чем Меркурий (0,39 а.е.). Орбитальная скорость Меркурия составляет около 47,9 км/с, а скорость Плутона в 10 раз меньше — 4,7 км/с ($47,9/100$). Результаты исследований автора показывают, что орбитальные скорости звезд в спиральных галактиках не подчиняются закону Кеплера.

тельно отлична от нуля) и такие гипотетические частицы, как магнитные монополи или гравитоны.

В начале нашего века астрономы сделали вполне разумное предположение, что распределение светящегося вещества, где бы оно ни находилось, совпадает с распределением массы. Однако, как установили почти полвека назад С. Смит и Ф. Цвикки (Калифорнийский технологический институт), в некоторых богатых скоплениях галактик скорости отдельных их членов столь велики, что силы взаимного притяжения не в состоянии предотвратить разрушение этих скоплений. Либо такие скопления должны распасться, либо в них присутствует достаточное количество ненаблюдаемого вещества, удерживающего галактики в скоплениях. Почти все имеющиеся данные подтверждают, что скопления галактик — устойчивые образования. Поэтому ранние наблюдения Смита и Цвикки можно считать первым свидетельством того, что в скоплениях галактик содержится как светящееся, так и темное вещество.

В недавних работах многих астрономов получены дополнительные аргу-

менты в пользу этого вывода. Изучение динамики отдельных галактик, в том числе нашей Галактики, а также пар, групп и скоплений галактик указывает на существование невидимой, но вездесущей массы. Присутствие несветящегося вещества обнаруживается только по его гравитационному эффекту.

В течение последних нескольких лет У. Форд-младший, Н. Тоннард, Д. Бернштейн и я предприняли попытку изучить распределение массы во Вселенной по распределению вещества в галактиках, подобных нашей и принадлежащих к наиболее распространенному классу — спиральным галактикам. Мы выбрали именно этот класс, поскольку строение спиральных галактик наиболее благоприятно для выявления как светящегося, так и темного вещества; и современные большие телескопы, снабженные спектрографами с электронно-оптическими преобразователями, позволяют провести всесторонние наблюдения одной галактики примерно за 3 часа. Прежде чем представить наши наблюдения, я опишу, как небесные тела взаимодействуют посредством сил гравитации и как это взаимо-

действие позволяет выявить крупномасштабное распределение вещества.

В конце XVII в. Роберт Хук выдвинул гипотезу, что планеты притягиваются Солнцем с силой, обратно пропорциональной квадрату их расстояния. Затем Исаак Ньютон установил, что любая пара объектов во Вселенной связана гравитационным притяжением, прямо пропорциональным произведению их масс и обратно пропорциональным квадрату расстояния между ними. Иными словами, если увеличить расстояние между объектами, скажем, в два раза, то сила их взаимного притяжения уменьшится в четыре раза.

Для планет, обращающихся вокруг Солнца, в котором заключена большая часть полной массы Солнечной системы, ослабление гравитационного притяжения с расстоянием влечет за собой уменьшение скорости движения по орбите. Поэтому орбитальная скорость Меркурия, находящегося на расстоянии 0,39 астрономической единицы (а.е.) от Солнца (1 а.е. равна среднему расстоянию от Земли до Солнца), составляет около 47,9 км/с. Орбитальная скорость Плутона, находящегося в 100 раз дальше, на среднем расстоянии 39,5 а.е., в десять раз меньше, чем Меркурия, — всего 4,7 км/с. Спиральные галактики также вращаются, поскольку сохранили момент количества движения первичных сгустков газа, от которых они ведут свое происхождение.

В СПИРАЛЬНОЙ галактике газ, пыль и звезды (вместе с планетами и их спутниками), принадлежащие к ее диску, обращаются вокруг общего центра масс. Движение газа и звезд (так же как и движение планет в Солнечной системе) определяется гравитационным притяжением всех других масс. В галактике, имеющей форму сфероида, взаимное гравитационное притяжение массы M_r , заключенной в пределах области радиуса r от центра, и объекта массы m , движущегося по экваториальной орбите на расстоянии r от центра, определяется законом всемирного тяготения Ньютона $GM_r m/r^2$, где G — гравитационная постоянная. Если галактика стабильна — не расширяется и не сжимается, — то сила гравитации будет равна центробежной силе, действующей на массу m на расстоянии r : $GM_r m/r^2 = mV_r^2/r$, где V_r — орбитальная скорость.

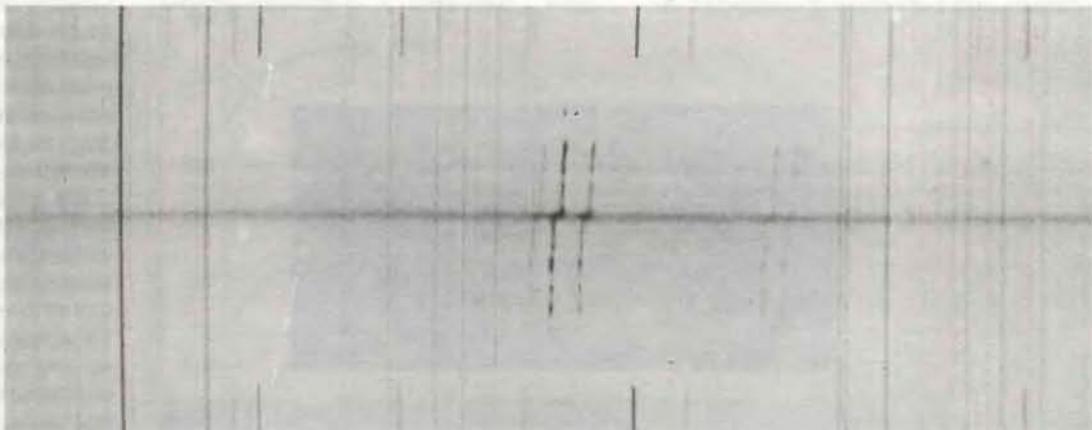
Когда это уравнение решается относительно V_r , величина m сокращается. Значит, скорость тела на расстоянии r от центра зависит только от массы M_r , заключенной внутри его орбиты. Если, как в Солнечной системе, почти вся масса сосредоточена в центре, то изменение скорости с удалением от центра происходит по закону $1/\sqrt{r}$, называемому законом Кеплера (в честь ученого, открывшего законы движения планет).

В галактике максимум яркости приходится на ее центр, с увеличением расстояния от центра яркость быстро падает. Астрономы долгое время считали, что масса, как и яркость, быстро убывает с расстоянием. Именно поэтому ожидалось, что орбитальные скорости звезд должны подчиняться закону Кеплера. До последнего времени было выполнено только несколько измерений скоростей вращения во внешних слабых областях галактик с целью подтвердить или опровергнуть это предположение.

Хотя спиральные галактики весьма разнообразны по своему внешнему виду, астрономы подразделяют их на три типа в соответствии с классификацией, предложенной Э. Хабблом около 60 лет назад. Для галактик типа Sa характерно протяженное центральное вздутие, окруженное туго закрученными гладкими спиральными рукавами. У галактик типа Sb центральное вздутие меньше, спиральные рукава закручены слабее, и в них можно различить отдельные светящиеся сгустки. У галактик типа Sc имеется небольшое цент-

ральное ядро, от которого отходят сильно разделенные спиральные рукава, разбивающиеся на отдельные яркие сгустки. Таким образом, последовательность типов от Sa к Sc характеризуется постепенным уменьшением центрального ядра и увеличением вращения вокруг него диска. Вывод о вращении диска следует из простых динамических соображений.

К каждому типу принадлежат галактики самых разнообразных размеров и светимостей. Так, среди объектов типа Sc наряду с карликами малой массы и



СПЕКТР СПИРАЛЬНОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 7541 (справа), полученный на 4-метровом телескопе Национальной обсерватории Китт-Пик автором статьи и У. Фордом. Эта галактика типа Sc находится на расстоянии 60 мегапарсеков от нас (1 Мпс = 3,26 млн. световых лет). Продолжительность экс-

позиции 114 мин. Слева показано изображение галактики на телевизионном мониторе, расположенном в цоколе башни телескопа. Темная линия, пересекающая изображение галактики, показывает ориентацию щели спектрографа.



ЭМИССИОННЫЕ ЛИНИИ на спектрограмме галактики NGC 7541 обусловлены двумя источниками: свечением ночного неба и атомами в газовых облаках, окружающих горячие звезды. Большинство линий свечения ночного неба принадлежит молекулам гидроксильного радикала (ОН) земной атмосферы, а несколько линий — атомарному кислороду и водороду. Вследствие вращения галактики эмиссионные линии, возникающие в ее диске, смещаются к фиолетовому или красному концу спектра в зависимости от того, прибли-

жаются звезды и газ к наблюдателю или удаляются от него. Поскольку сама галактика удаляется от наблюдателя в результате общего расширения Вселенной, линия водорода H_{α} в спектре галактики смещена в красную сторону относительно своего положения в спектре свечения ночного неба. Это смещение есть мера скорости удаления галактики от нас. Наклон эмиссионных линий галактики свидетельствует о том, что орбитальные скорости звезд и газа в ее диске увеличиваются с расстоянием от центра.

тельно несмещенных линий гидроксильного радикала (ОН) земной атмосферы, оставляющего свой «автограф» на каждой пластинке. Многие астрономы применяют сложные сканирующие приборы для измерения положений линий, особенно в спектрах слабых объектов. Мы же измеряем положение эмиссионных линий с помощью обычного микроскопа, предметный столик которого может перемещаться

в двух направлениях. Точность измерения по каждой координате достигает 1 мкм.

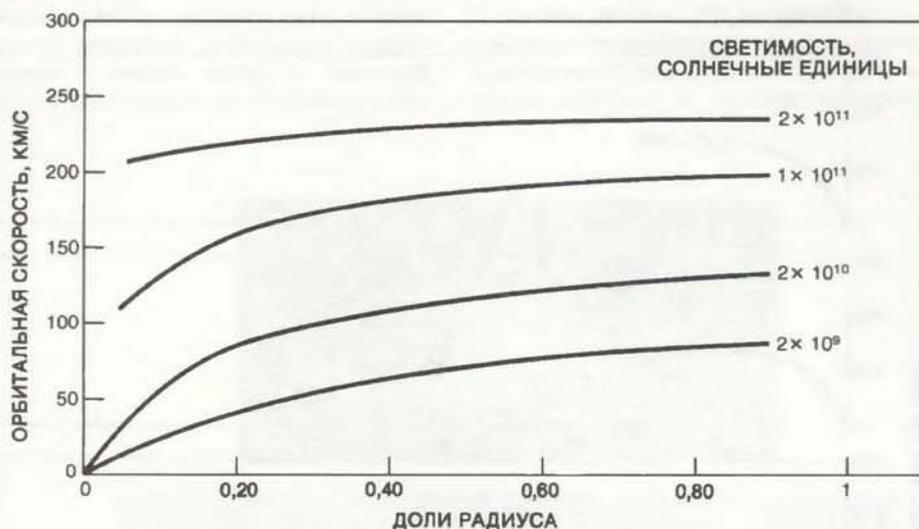
В качестве номинального радиуса галактики мы брали расстояние, на котором ее поверхностная яркость падает до предела обнаружимости на пластинке, отснятой на 1,2-метровой камере Шмидта обсерватории Маунт-Паломар. Этот предел равен 25-й звездной величине на квадратную секунду дуги.

Чтобы установить расстояние до изучаемых объектов, а следовательно, их истинные размеры, мы приняли для постоянной Хаббла (определяющей скорость расширения Вселенной) значение 50 км/(с·Мпс). (1 Мпс = = 3,26 млн. световых лет.)

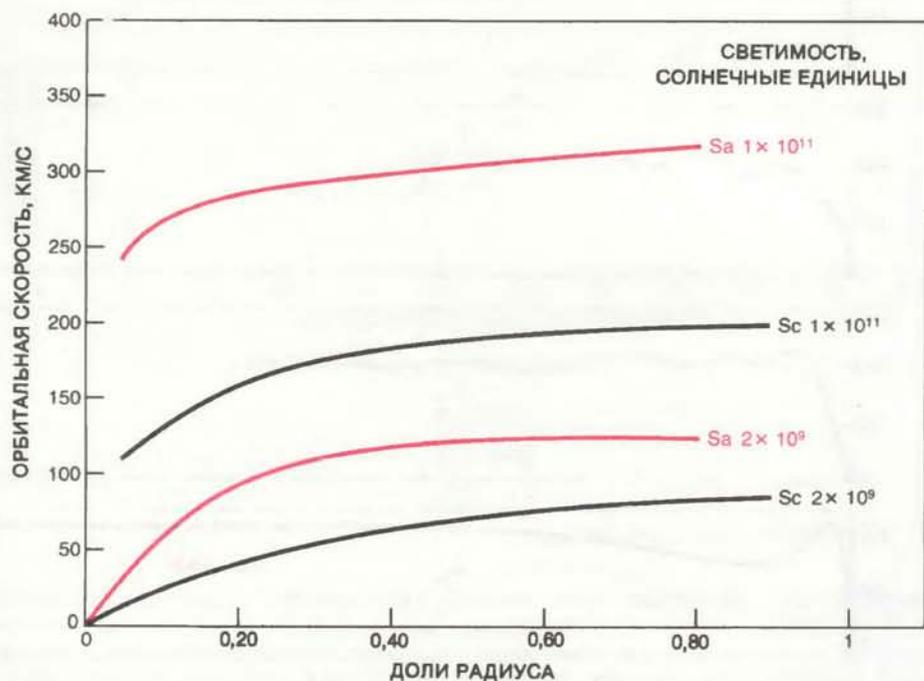
ПО ИЗМЕРЕНИЯМ скоростей сильных эмиссионных линий мы построили гладкую кривую вращения путем усреднения скоростей приближения и удаления в двух различных половинах галактического диска. Хотя для каждой галактики характерна собственная картина вращения, выявленные систематические тенденции весьма впечатляющи. Чем выше светимость, тем больше размеры галактики, тем выше ее скорость вращения и тем сильнее изменение скорости поперек центрального вздутия. Кроме того, каждому типу галактик свойственны некоторые особенности вращения. Так, скорость вращения галактик типа Sa наибольшей светимости на расстоянии половины радиуса от центра в 1,5 раза выше, чем галактики типа Sc такой же светимости. А скорость вращения галактик типа Sc наибольшей светимости на таком же радиальном расстоянии вдвое больше, чем галактик этого же типа, светимость которых в 100 раз ниже.

Из наших наблюдений можно сделать один общий вывод: по мере приближения к видимой границе галактик кривые вращения либо достигают некоторой предельной скорости, либо загибаются вверх. Не нашлось ни одной более или менее протяженной области, в которой скорость вращения уменьшалась бы с увеличением расстояния от центра, что должно было бы наблюдаться, если бы масса была сосредоточена в центре галактики. Отсюда следует, что масса в отличие от яркости вовсе не концентрируется к центру спиральных галактик. Значит, распределение яркости в галактике не может служить индикатором распределения массы.

Массы изученных нами галактик в пределах светящейся области, определенные по их скоростям вращения, лежат в диапазоне от $6 \cdot 10^9$ до $2 \cdot 10^{12}$ масс Солнца. Пока что мы не в состоянии оценить полную массу какой-нибудь галактики, так как не можем указать, где находится «край» галактики. Известно лишь, что масса внутри области данного радиуса линейно увеличивается с расстоянием и вопреки ожиданиям не сходится к какому-либо пределу на краю видимого диска. Поскольку масса линейно зависит от радиуса, в последовательных зонах диска одинаковой ширины должна содержаться одинаковая масса. Объем таких последовательных кольцевых зон растет пропорционально квадрату радиуса.



СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ галактик типа Sc различной светимости как функция расстояния от центра, представленного в долях видимого радиуса. Светимости, выраженные в солнечных светимостях, различаются на два порядка величины. На всех радиальных расстояниях в галактике более высокой светимости орбитальные скорости выше.



СРАВНЕНИЕ ГАЛАКТИК ТИПОВ Sa и Sc одинаковой светимости показывает, что в галактиках типа Sa орбитальные скорости значительно выше, чем в галактиках типа Sc на одних и тех же радиальных расстояниях от центра. Отсюда следует, что в галактиках типа Sa на единицу светимости приходится большая масса, чем в галактиках типа Sc.

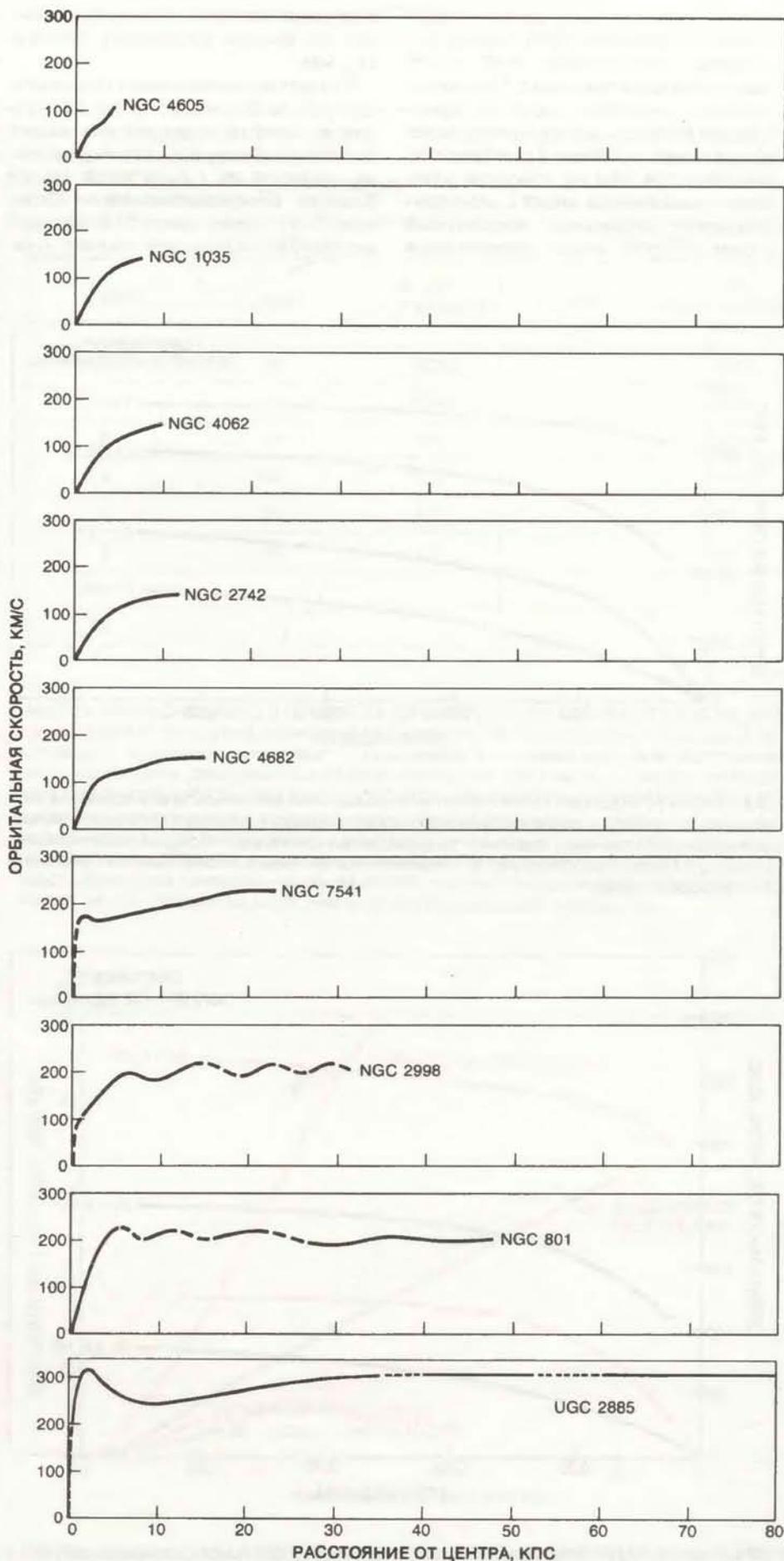
ритель скорости вращения поперек всего светящегося диска спиральных галактик с подходящим наклоном к лучу зрения. Предполагалось изучить внутреннюю динамику и распределение массы в отдельных галактиках различных морфологических типов. Мы уже выполнили наблюдения 60 спиральных галактик: по 20 объектов каждого из трех основных типов Sa, Sb и Sc. Были выбраны наиболее типичные представители, диски которых подходящим образом наклонены к картинной плоскости (максимальный компонент орбитальной скорости направлен вдоль луча зрения), а угловые диаметры не превосходят длину щели спектрографа. Кроме того, мы стремились охватить как можно больший диапазон светимостей в пределах каждого типа.

Большинство спектров было получено на четырехметровых телескопах Национальной обсерватории Китт-Пик в Аризоне и Межамериканской обсерватории Серро-Тололо в Чили. Несколько спектрограмм было снято на 2,5-метровом телескопе обсерватории Лас-Кампанас в Чили.

Поток фотонов, пройдя сквозь щель спектрографа и дифракционную решетку, фокусировался на электроннооптический преобразователь "Carnegie" (RCA C33063), где он усиливался в 10 раз и более, и лишь после этого попадал на фотографическую эмульсию. Экспозиция составляла от 2 до 3 ч. Использовались пластинки "Kodak 3Ha-J", чувствительность которых была сильно повышена путем выдерживания в течение 2 ч в специальной газовой смеси (азот с 2%-ной примесью водорода) при температуре 65°C и предварительного экспонирования вспышками света. Без электроннооптического преобразователя и sensibilizации пластинок экспозиции были бы недопустимо велики — от 20 до 60 ч.

Обычно каждая галактика снимается дважды. Сначала щель спектрографа располагают вдоль большой оси, так что каждая точка спектра соответствует одной области диска. В полученном изображении легко выявляется доплеровское смещение эмиссионных линий. Затем щель спектрографа располагают вдоль малой оси диска. В этом случае орбитальная скорость перпендикулярна лучу зрения, поэтому доплеровское смещение не наблюдается. Отсутствие доплеровского смещения при таком положении щели подтверждает, что мы действительно изучаем орбитальные движения.

Чтобы иметь стандарт частоты, относительно которого можно измерять смещения эмиссионных линий в спектре изучаемой галактики, астрономы обычно предварительно снимают на ту же пластинку спектр неоновой лампы. Мы отказались от этого метода и измеряем доплеровский сдвиг относи-



КРИВЫЕ ВРАЩЕНИЯ (зависимость скорости вращения от расстояния от центра) для девяти галактик типа Sc. Чем выше светимость галактики, тем больше ее размеры и тем выше скорость вращения.

тельно несмещенных линий гидроксильного радикала (ОН) земной атмосферы, оставляющего свой «автограф» на каждой пластинке. Многие астрономы применяют сложные сканирующие приборы для измерения положений линий, особенно в спектрах слабых объектов. Мы же измеряем положение эмиссионных линий с помощью обычного микроскопа, предметный столик которого может перемещаться

в двух направлениях. Точность измерения по каждой координате достигает 1 мкм.

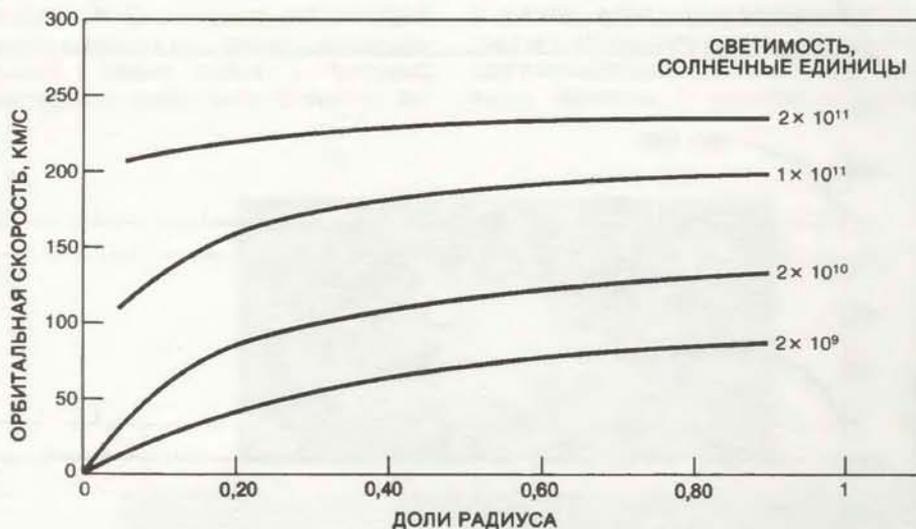
В качестве номинального радиуса галактики мы брали расстояние, на котором ее поверхностная яркость падает до предела обнаружимости на пластинке, отснятой на 1,2-метровой камере Шмидта обсерватории Маунт-Паломар. Этот предел равен 25-й звездной величине на квадратную секунду дуги.

Чтобы установить расстояние до изучаемых объектов, а следовательно, их истинные размеры, мы приняли для постоянной Хаббла (определяющей скорость расширения Вселенной) значение 50 км/(с·Мпс). (1 Мпс = = 3,26 млн. световых лет.)

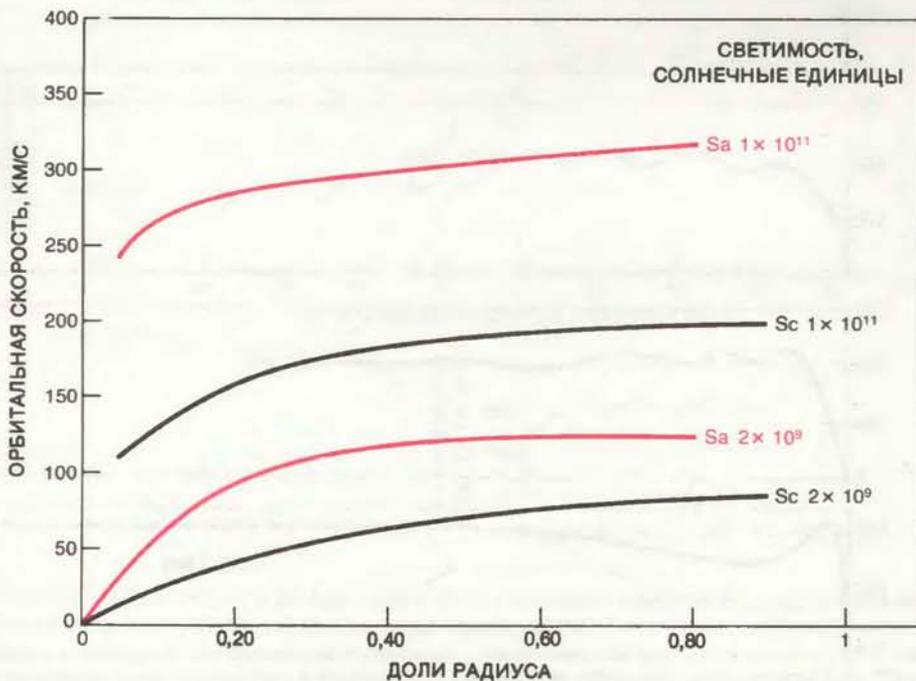
ПО ИЗМЕРЕНИЯМ скоростей сильных эмиссионных линий мы построили гладкую кривую вращения путем усреднения скоростей приближения и удаления в двух различных половинах галактического диска. Хотя для каждой галактики характерна собственная картина вращения, выявленные систематические тенденции весьма впечатляющи. Чем выше светимость, тем больше размеры галактики, тем выше ее скорость вращения и тем сильнее изменение скорости поперек центрального вздутия. Кроме того, каждому типу галактик свойственны некоторые особенности вращения. Так, скорость вращения галактик типа Sa наибольшей светимости на расстоянии половины радиуса от центра в 1,5 раза выше, чем галактики типа Sc такой же светимости. А скорость вращения галактик типа Sc наибольшей светимости на таком же радиальном расстоянии вдвое больше, чем галактик этого же типа, светимости которых в 100 раз ниже.

Из наших наблюдений можно сделать один общий вывод: по мере приближения к видимой границе галактик кривые вращения либо достигают некоторой предельной скорости, либо загибаются вверх. Не нашлось ни одной более или менее протяженной области, в которой скорость вращения уменьшалась бы с увеличением расстояния от центра, что должно было бы наблюдаться, если бы масса была сосредоточена в центре галактики. Отсюда следует, что масса в отличие от яркости вовсе не концентрируется к центру спиральных галактик. Значит, распределение яркости в галактике не может служить индикатором распределения массы.

Массы изученных нами галактик в пределах светящейся области, определенные по их скоростям вращения, лежат в диапазоне от $6 \cdot 10^9$ до $2 \cdot 10^{12}$ масс Солнца. Пока что мы не в состоянии оценить полную массу какой-нибудь галактики, так как не можем указать, где находится «край» галактики. Известно лишь, что масса внутри области данного радиуса линейно увеличивается с расстоянием и вопреки ожиданиям не сходится к какому-либо пределу на краю видимого диска. Поскольку масса линейно зависит от радиуса, в последовательных зонах диска одинаковой ширины должна содержаться одинаковая масса. Объем таких последовательных кольцевых зон растет пропорционально квадрату радиуса.



СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ галактик типа Sc различной светимости как функция расстояния от центра, представленного в долях видимого радиуса. Светимости, выраженные в солнечных светимостях, различаются на два порядка величины. На всех радиальных расстояниях в галактике более высокой светимости орбитальные скорости выше.



СРАВНЕНИЕ ГАЛАКТИК ТИПОВ Sa и Sc одинаковой светимости показывает, что в галактиках типа Sa орбитальные скорости значительно выше, чем в галактиках типа Sc на одних и тех же радиальных расстояниях от центра. Отсюда следует, что в галактиках типа Sa на единицу светимости приходится большая масса, чем в галактиках типа Sc.

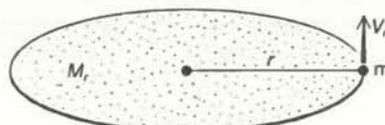
Значит, плотность вещества в них должна уменьшаться как квадрат радиуса, чтобы произведение плотности на объем оставалось постоянным.

В теоретической модели, почти полностью основанной на общепринятых представлениях о галактиках, наблюдаемые кривые вращения объясняются тем, что спиральные галактики окружены сферической короной вещества, простирающейся далеко за пределы видимого диска. Именно из-за гравитационного притяжения этого невидимого вещества скорости вращения в галактиках не уменьшаются с расстоянием от галактического центра. К сожалению, наблюдения не дают почти никакой информации о детальном распределении несветящегося вещества. Тем не менее можно утверждать, что оно довольно сильно скучивается вокруг галактик. Это очевидно, так как плотность несветящегося вещества убывает, хотя и медленно, с расстоянием от галактического центра, причем даже на больших радиальных расстояниях плотность в 100, а то и 1000 раз выше средней плотности вещества во Вселенной.

РАЗУМЕЕТСЯ, для объяснения высоких орбитальных скоростей предложены и другие модели, однако не столь удачные, как модель протяженной короны из несветящегося вещества. Если бы все невидимое вещество собралось в диск, то он стал бы неустойчивым и принял бы форму веретена. Идея о том, что корона необходима для стабилизации диска, была впервые выдвинута Дж. Острайкером и Ф. Пиблсом (Принстонский университет).

Наблюдаемые динамические эффекты воспроизводятся также в моделях спиральных галактик, в которых масса распределена между ядром, центральным вздутием, диском и короной. Особенно интересные модели были разработаны Дж. Баколлом и Р. Сонейрой (Институт высших исследований), М. Шмидтом (Калифорнийский технологический институт) и С. Касертано (Высшая нормальная школа в Пизе). Возможно, самая радикальная идея для объяснения наблюдаемой картины распределения скоростей вращения была независимо выдвинута Дж. Толайном (Университет шт. Луизиана) и М. Милгромом и Дж. Бекенстейном (Институт Вейцмана). Они предложили модифицировать теорию гравитации Ньютона, с тем чтобы скорости вращения могли оставаться высокими на больших расстояниях от центра, даже если невидимое вещество не существует.

Дополнительное свидетельство высоких скоростей вращения вещества в спиральных галактиках дают радионаблюдения излучения нейтрального водорода на длине волны 21 см. Уже



$$\frac{GmM_r}{r^2} = \frac{mV_r^2}{r} \rightarrow M_r = \frac{rV_r^2}{G}$$

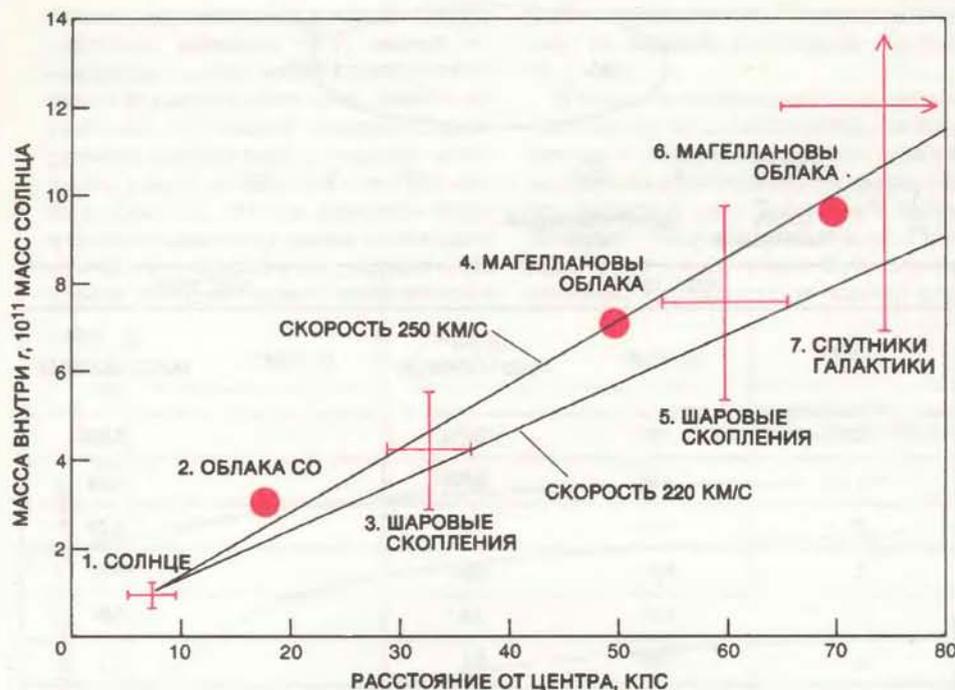
СИЛА ГРАВИТАЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СИЛА

NGC 1035			NGC 2998	
r , КПС	V_r , КМ/С	$M_r, 10^{10}$ МАСС СОЛНЦА	V_r , КМ/С	$M_r, 10^{10}$ МАСС СОЛНЦА
0,5	39	0,018		0,088
1	65	0,098		0,24
2	91	0,39		0,74
3	107	0,80		1,4
5	123	1,8		3,9
8	135	3,4		7,7
20				
30				

МАССУ, ЗАКЛЮЧЕННУЮ В ПРЕДЕЛАХ ДАННОГО РАССТОЯНИЯ ОТ ЦЕНТРА, можно вычислить исходя из равенства силы тяготения и центробежной силы на расстоянии r от центра галактики. В уравнении G — гравитационная постоянная, m — масса тела, движущегося на расстоянии r от центра, M_r — масса, заключенная в пределах орбиты тела m , V_r — орбитальная скорость тела m . Масса M_r увеличивается с расстоянием по линейному закону. В таблице приведены массы в пределах нескольких расстояний от центра двух галактик типа Sc: NGC 1035 низкой светимости и NGC 2998 высокой светимости. На всех расстояниях от центра скорость вращения галактики более высокой светимости выше, значит, соответствующие массы гораздо больше, чем в галактике меньшей светимости.



СРАВНЕНИЕ МАСС ГАЛАКТИК низкой и высокой светимости показывает, что с удалением от центра масса растет примерно по линейному закону, причем нет никаких признаков приближения к пределу вблизи края видимой галактики. На всех радиальных расстояниях масса и, следовательно, плотность галактик типа Sa больше, чем галактик типа Sc равной светимости.



ИССЛЕДОВАНИЯ НАШЕЙ ГАЛАКТИКИ дают оценки ее массы внутри объема радиуса r (в килопарсеках). Масса оценивается по орбитальным скоростям и средним расстояниям объектов различных типов. Принимается, что орбитальная скорость Солнца, расположенного на расстоянии 8 кпс от центра Галактики, равна 220 км/с. Вторая точка получена по средней скорости молекулярных облаков CO на среднем расстоянии 18 кпс (по измерениям Л. Блица, Университет шт. Мэриленд, Колледж-Парк). Третья и пятая точки выводятся по скоростям шаровых звездных скоплений в гало нашей Галактики, расположенных на двух разных средних расстояниях от ядра. Скорости более близких шаровых скоплений проанализированы К. Фрэнком (тогда он работал в Кембриджском университете) и С. Уайтом (Калифорнийский университет в Беркли), более далеких — Ф. Хартвиком (Университет Виктория) и У. Сарджентом (Калифорнийский технологический институт). Четвертая точка найдена по наблюдениям Большого и Малого Магеллановых Облаков — спутников нашей Галактики — Т. Мураи и М. Фудзимото (Нагойский университет). Шестая точка представляет собой независимые оценки расстояний и скоростей Магеллановых Облаков, выполненные Д. Лином (Ликская обсерватория) и Д. Линден-Беллом (Кембриджский университет). Наконец, последняя точка основана на скоростях более далеких спутников нашей Галактики по оценкам Я. Эйнасто и его сотрудников (Академия наук Эстонской ССР). Длина вертикальных линий указывает, в каких пределах лежат значения массы в зависимости от геометрии орбит. Из этих оценок следует, что орбитальные скорости в нашей Галактике находятся в интервале от 220 до 250 км/с и остаются постоянными вплоть до 80 кпс (т.е. примерно до десяти радиусов солнечной орбиты от центра Галактики). Масса в пределах области радиусом 80 кпс примерно в 10 раз больше, чем внутри солнечной орбиты (около 10^{12} масс Солнца).

первые исследования нескольких спиральных галактик, выполненные М. Робертсом (Национальная радиоастрономическая обсерватория), показали, что скорости вращения водорода велики. С помощью многоэлементных радиотелескопов, таких, как система апертурного синтеза в Вестерборке (Нидерланды) и Большая антенная решетка в Сокорро, можно достичь разрешающей способности, характерной для оптических телескопов и даже более высокой, и изучить распределение водорода в галактиках типа исследованных нами. А. Босма (Лейденский университет) показал, что в галактиках самых разнообразных типов орбитальные скорости остаются высокими на больших расстояниях от центра.

Как правило, при оптических и ра-

дионаблюдениях измеренные диаметры галактик совпадают. Лишь у небольшого числа галактик водород простирается на значительно большие (в несколько раз) расстояния от центра, чем звезды. Для таких объектов можно определить гравитационный потенциал за пределами видимой области. В некоторых случаях распределение водорода резко отклоняется от диска вблизи его края. Поэтому трудно судить о том, можно ли считать скорости газа, измеренные на больших расстояниях от центра, истинными скоростями вращения или они отражают более сложные движения. Р. Санчизи (Гронингенский университет), изучавший такие галактики с искривленными дисками, предположил, что в них орбитальные скорости за пределами види-

мого диска могут уменьшаться, хотя и весьма незначительно, возможно, на 20 км/с (или около 10%), а затем оставаться постоянными на больших расстояниях. Радионаблюдения продолжатся и, несомненно, дадут нам важную информацию о далеких внешних областях галактик.

Исследователям галактик повезло в том, что они могут изучить невообразимо далекие объекты, а затем обратиться к своей Галактике и сопоставить ее свойства с их свойствами. Не так давно астрономы считали, что Солнце, расположенное примерно в 8 килопарсеках (кпс) от центра Галактики, находится вблизи ее края и что размеры Галактики довольно умеренны. Теперь все свидетельствует о том, что наша Галактика простирается далеко за пределы орбиты Солнца и что ее масса намного больше, чем принималось до сих пор.

ПО ОЦЕНКАМ Дж. Ганна и Дж. Нэппа (Принстонский университет) и С. Тримейна (Массачусетский технологический институт), орбитальная скорость Солнца равна 220 км/с. Согласно другим оценкам, она составляет 260 км/с. Если верно более низкое значение, то масса Галактики, заключенная в пределах орбиты Солнца, равна 10^{11} солнечных масс. С учетом того, что значительная масса лежит вне орбиты Солнца, галактическая масса в пределах 100 кпс может достигать 10^{12} солнечных масс, а это значит, что наша Галактика — одна из крупнейших спиральных галактик.

Примерно 30 лет назад Я. Оорт (Лейденская обсерватория) установил, что наблюдаемая масса звезд и газа в области диска в окрестностях Солнца почти в два раза меньше, чем требуется для объяснения гравитационного притяжения диском звезд сферической составляющей (гало), находящихся на больших расстояниях от него. Это было первое указание на существование несветящегося вещества в нашей Галактике.

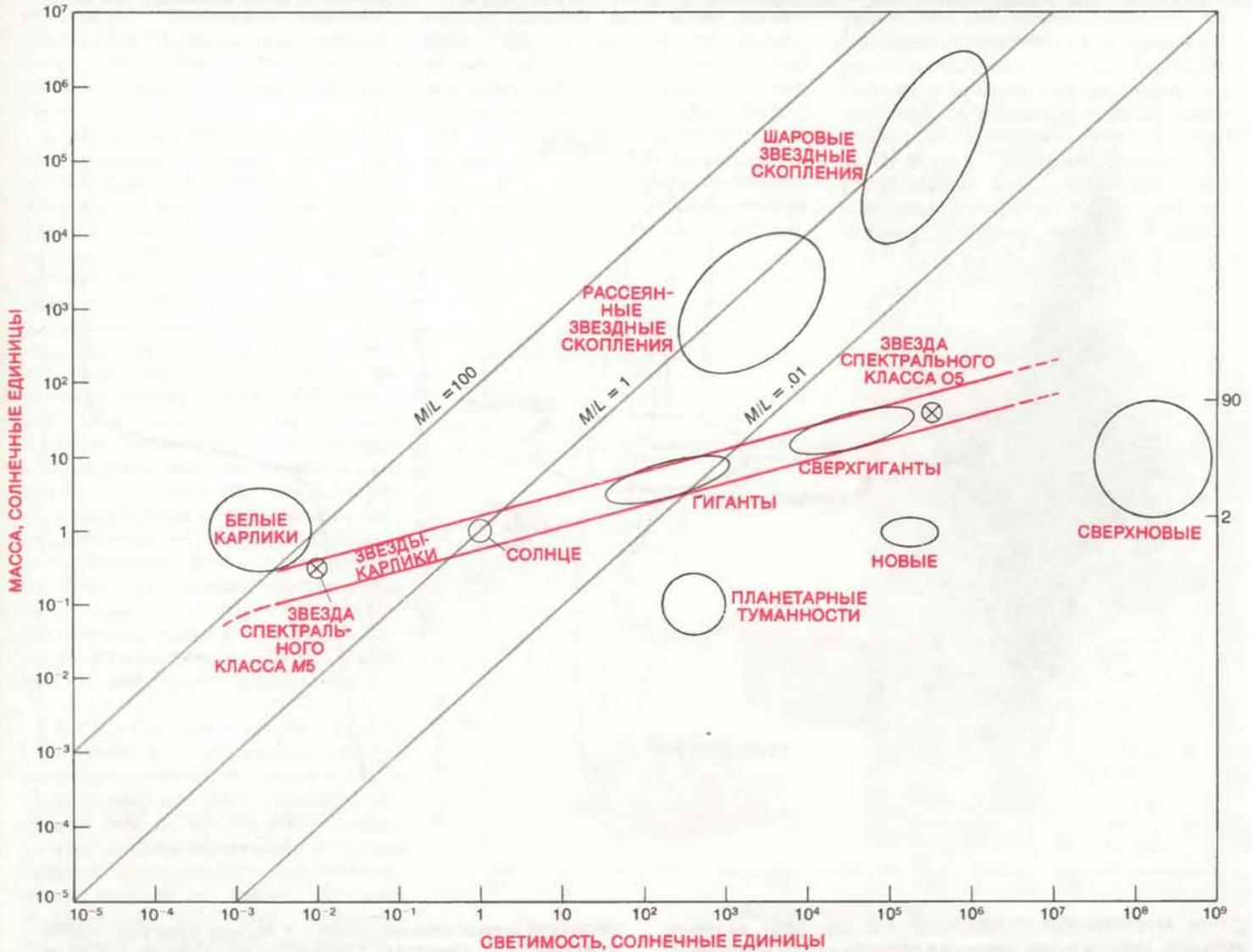
Следующее указание дают недавние измерения орбитальных скоростей объектов, лежащих в галактическом диске гораздо дальше от центра, чем Солнце. Так, Л. Блиц (Университет шт. Мэриленд, Колледж-Парк) измерил скорости молекулярных облаков оксида углерода (CO) на расстоянии ~ 16 кпс от галактического центра. По этим скоростям и скоростям водородных облаков, измеренным Л. Блицем, а также Ш. Кулкар и К. Хейлесом (Калифорнийский университет в Беркли), построена кривая вращения, которая продолжает идти вверх при удалении от галактического центра.

Чтобы оценить массу на еще больших расстояниях, были измерены скорости шаровых звездных скоплений в



ГИПОТЕТИЧЕСКАЯ И РЕАЛЬНАЯ ГАЛАКТИКИ одинаковой светимости сильно отличаются по всем остальным параметрам. Типичная реальная галактика (внизу) имеет массивную несветящуюся корону. У гипотетической галактики (вверху) такой короны нет. Ее поверхностная яркость быстро падает, орбитальные скорости за пределами ядра подчи-

няются закону Кеплера, локальная масса уменьшается так же, как и яркость. Интегральная масса достигает предельного значения, а отношение M/L остается постоянным. Таковы предсказываемые свойства галактик. В реальной галактике присутствие несветящейся короны изменяет все ее свойства, за исключением внешнего вида.



МАССЫ И СВЕТИМОСТИ типичных составляющих спиральной галактики, подобной нашей Галактике. Масса и светимость Солнца приняты за 1. В этих единицах отношение масса — светимость (M/L) для нормальных звезд уменьшается от примерно 30 для холодных старых звезд-карликов

спектрального класса M5 до 10^{-4} для горячих молодых звезд спектрального класса O5. Лишь у белых карликов, плотность которых чрезвычайно велика, M/L превышает 100. Невидимую корону должны населять объекты совсем других типов с M/L , достигающим нескольких сотен.

галó нашей Галактики, находящихся на расстояниях 30 и 60 кпс от центра. Авторы этой работы — Ф. Хартвик (Университет Виктории), У. Сарджент (Калифорнийский технологический институт), К. Френк (Кембриджский университет), С. Уайт (Калифорнийский университет в Беркли). Оказалось, что масса продолжает расти примерно по линейному закону вплоть до средних расстояний шаровых скоплений.

Немного упорства и воображения — и можно оценить гравитационный потенциал на еще больших расстояниях. Наша Галактика не одинока в своих вечных странствиях. Ее сопровождает хоровод более мелких галактик-спутников. Орбиты двух ближайших из них — Большого и Малого Магеллановых Облаков, расположенных на расстоянии немногим меньше 60 кпс от центра Галактики, известны очень плохо. Т. Мураи, М. Фудзимото (Нагойский университет), Д. Лин (Ликская обсерватория) и Д. Линден-Белл (Кем-

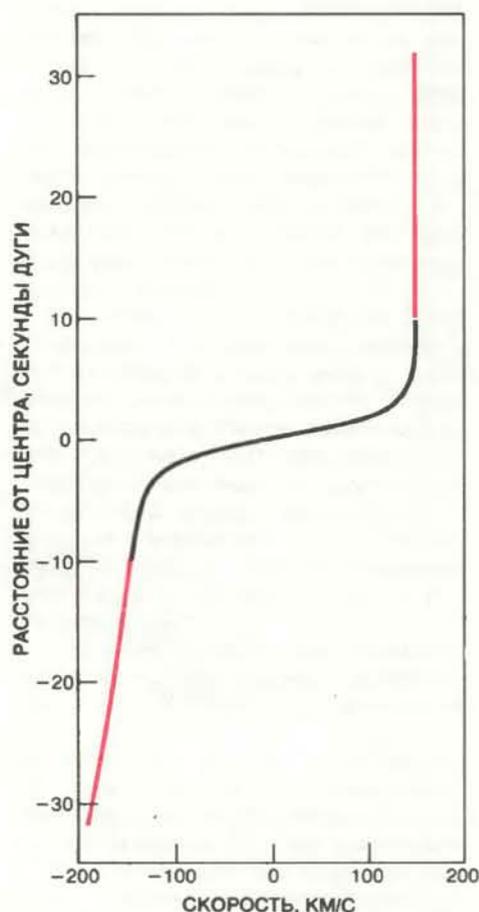
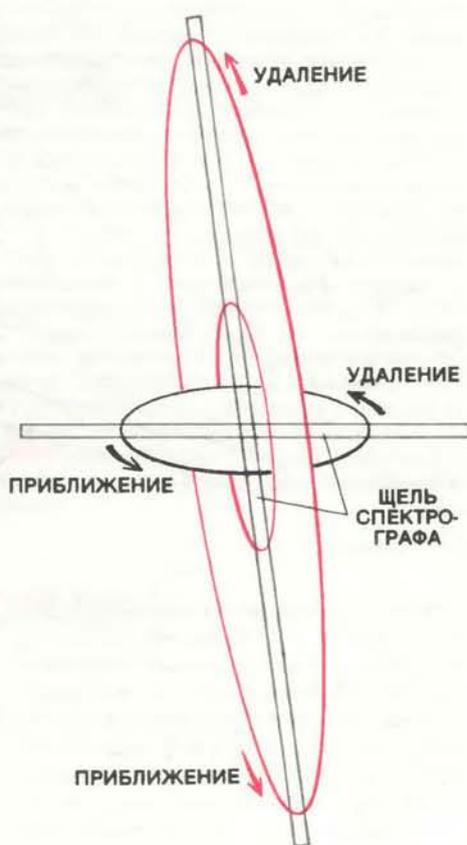
бриджский университет) предложили модель их орбит, на основании которой вывели значение массы Галактики, согласующееся с оценками, полученными по шаровым скоплениям.

Я. Эйнасто и его сотрудники (Академия наук Эстонской ССР) оценили массу до расстояний более 80 кпс по совокупности данных об очень далеких шаровых звездных скоплениях и галактиках-спутниках. Объединение всех этих результатов показывает, что в нашей Галактике вплоть до расстояний, в 10 раз превышающих расстояние Солнца от ее центра, скорости вращения лежат в диапазоне от 220 до 250 км/с. Такое распределение массы выглядит вполне достоверно, если наша Галактика похожа на другие спиральные галактики, изученные мною и моими коллегами. Значит, наше Солнце расположено вовсе не на далекой окраине.

ОБЩИЙ ВЫВОД, следующий из всех описанных результатов, таков: при сканировании диска от центра наружу

суммарная масса светящегося и темного вещества уменьшается очень медленно, тогда как светимость (измеренная в голубой области спектра) спадает очень быстро. Поэтому отношение локальной массы к локальной светимости (M/L) постепенно растет с удалением от центра. В области ядра относительно малая масса производит значительную светимость, тогда как на больших расстояниях от центра масса велика, но светимость мала. Если бы вокруг галактик не было несветящегося вещества, то распределение массы совпадало бы с распределением светимости и отношение M/L оставалось бы примерно постоянным поперек диска — от центра до самого края.

Если выразить массу и светимость в единицах солнечной массы и светимости, то для Солнца отношение M/L будет равно 1. В таком случае среднее отношение M/L вблизи ядра спиральной галактики такое же, как у Солнца, т.е. 1 или, возможно, 2 или 3. С приближением к краю видимого диска по



ДИСК АНОНИМНОЙ ГАЛАКТИКИ AO 136—0801 окружен кольцом. Центральная овальная область — это состоящий из звезд диск, видимый почти с ребра. Звезды и газ в тонком кольце также обращаются вокруг центра, но в плоскости, почти перпендикулярной диску. Направления вращения показаны на диаграмме в центре. Показана также ориентация щели спектрографа при измерениях орбитальных скоростей в диске и в кольце. В пределах 10 секунд дуги от центра

скорости диска (черная линия) и кольца (цветная линия) практически одинаковы. Орбитальные скорости в кольце можно измерить до расстояния, равного трем радиусам видимого диска, причем они почти не меняются. Значит, масса продолжает увеличиваться по линейному закону до расстояний, сильно превосходящих радиус диска, и объекты кольца движутся в гравитационном поле объекта сферической, а не дискообразной формы.

мере уменьшения светимости значение M/L увеличивается до 10 или 20. За пределами видимого диска, где светимость падает почти до нуля, а масса остается высокой, среднее отношение M/L стремительно возрастает до нескольких сотен.

Прежде чем пытаться определить, из чего же состоит невидимая корона, стоит выяснить, у каких небесных объектов значение M/L достаточно велико. Разумеется, звезды типа нашего Солнца сразу же следует исключить. Горячие молодые звезды, очерчивающие спиральные рукава галактик, — еще менее подходящие «кандидаты»: у них отношение $M/L = 10^{-4}$. Старые красные звезды-карлики, населяющие центральное вздутие и внешние области Галактик, обладают низкой массой и низкой светимостью в голубой области спектра, но их отношение $M/L \approx 20$ мало для короны. Кроме того, корона, состоящая из таких тусклых звезд, «выдала» бы себя, так как сильно излучала бы в инфракрасной области спектра. Все попытки обнаружить корону по ее излучению в видимой, инфракрасной, радио- и рентгеновской областях спектра оказались безуспешными.

Какие же еще «кандидаты» остаются? Источником энергии нормальных звезд служат термоядерные реакции превращения водорода и гелия в более тяжелые элементы. Эти реакции могут начаться только в таких телах, масса которых достаточно велика, чтобы в результате сжатия под действием сил гравитации температура в их центре поднялась до нескольких миллионов кельвинов. Для этого необходима минимальная масса, равная 0,085 солнечной массы. Масса Юпитера — самой большой планеты Солнечной системы, меньше этого значения примерно в 100 раз. Можно представить себе корону из планетообразных тел, возможно протозвезд (объектов, которым не удалось стать звездами), хотя это маловероятно. Итак, единственное, что требуется от короны, — это присутствие холодного несветящегося вещества с подходящим отношением M/L в любой форме — от нейтрино до черных дыр.

ДО СИХ ПОР я описывала свойства относительно изолированных нормальных спиральных галактик. Мы располагаем данными о высоких отношениях M/L на больших расстояниях от ядер других галактик. Иногда сама природа предоставляет нам возможность постичь ее тайны. Недавно Ф. Швейцера (Институт Карнеги), Б. Уитмора (Аризонский университет) и меня буквально очаровала галактика АО 136 — 0801. Она относится к классу линзовидных и окружена кольцом. Ее называют анонимной, так как она не входит ни в один стандартный каталог

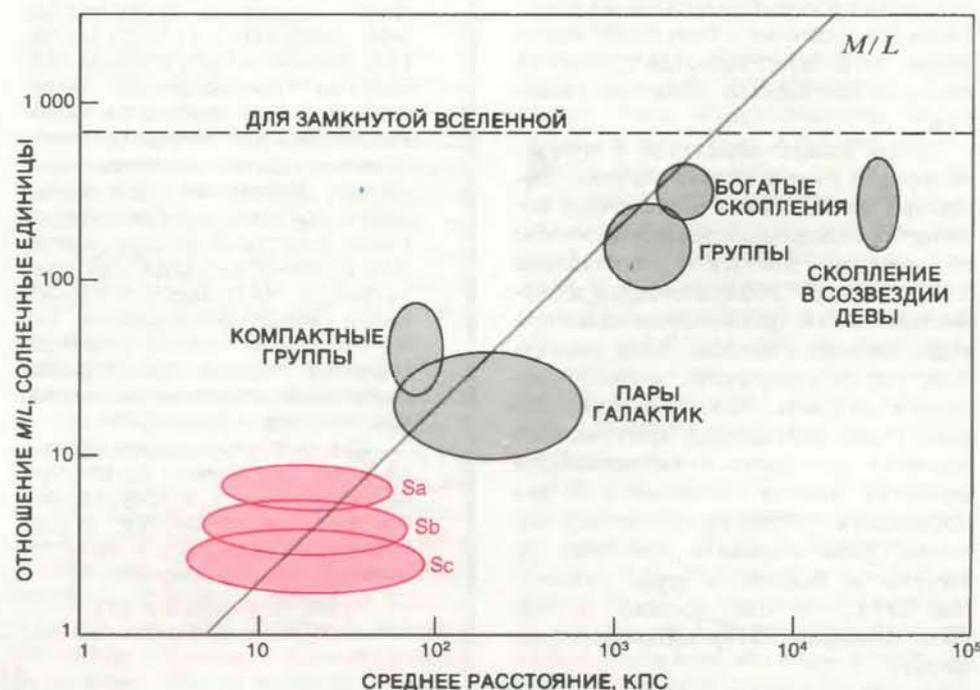
галактик (цифры соответствуют ее координатам на небесной сфере).

Распределение поверхностной яркости показывает, что это диск низкой светимости, видимый почти с ребра, состоящий из звезд, практически лишенный газа и не имеющий спиральной структуры. Такие галактики относят к типу S0, и они составляют значительную долю всех галактик с дисками. С помощью нашего метода мы определили кривую вращения диска по измерениям доплеровского смещения линии поглощения звездного компонента. На небольшом расстоянии от центра объекта вдоль большой оси линзы скорость вращения достигает 145 км/с — значения, характерного для галактик типа Sa низкой светимости. Вдоль малой оси не было обнаружено составляющей орбитальной скорости вдоль луча зрения, т.е. мы действительно наблюдали вращение диска, состоящего из звезд.

Экзотическая особенность галактики АО 136 — 0801 — наличие большого кольца, которое также видно почти с ребра (см. рисунок на с.14, внизу). Кольцо проходит почти над центром вращения диска перпендикулярно его большой оси и состоит из газа, пыли и ярких молодых звезд. Присутствие газа выявляется по эмиссионным линиям, пыли — по эффектам поглощения в том месте, где кольцо проецируется на диск, а звезд — по специфическому изо-

бражению на фотографиях, снятых в голубых лучах. Движение этих составляющих кольца предоставляет нам уникальную возможность изучить гравитационное поле в направлении, перпендикулярном галактическому диску, на расстояниях, превышающих его видимый радиус.

Наши спектральные наблюдения подтверждают, что кольцо вращается под прямым углом к плоскости вращения диска. Совершенно исключено, что такая динамическая конфигурация возникла в ходе нормальной эволюции изолированной спиральной галактики. Скорее всего ее породило какое-то катастрофическое событие, например столкновение с другой галактикой или газовым диском. По смещению эмиссионных линий мы определили, что скорость вращения кольца составляет около 170 км/с и остается постоянной или, быть может, слегка увеличивается до расстояния, равного трем радиусам диска. Если кривые вращения диска и кольца нанести на один график, то окажется, что они почти совпадают на одинаковых расстояниях от центра галактики. Высокая скорость вращения кольца — свидетельство в пользу существования массивной короны, простирающейся по меньшей мере на три радиуса диска. Более того, форма короны должна быть скорее сферической, чем дискообразной. Расчеты показывают, что при дискообразной форме



ОТНОШЕНИЕ МАССА — СВИТИМОСТЬ для скоплений вещества все больших масштабов (по рисунку Г. Руда, Институт высших исследований). Чтобы наблюдаемая Вселенная была замкнутой, отношение M/L должно быть около 700. Для галактик это значение меньше 10. При переходе к скоплениям все больших размеров отношение M/L увеличивается.

короны скорости вне галактического диска были бы на 20 — 40% меньше, чем в самом диске.

Я ОПИСАЛА определение масс галактик по орбитальным скоростям «пробных» объектов, объектов, обращающихся в центральном диске галактики, и объектов, обращающихся в кольце, перпендикулярном диску необычной галактики. Несколько других примеров помогут оценить количество невидимого вещества во Вселенной. Галактики часто образуют пары, поэтому одну из них можно рассматривать как пробный объект на орбите вокруг другого. Анализ таких систем сложен, поскольку ни ориентация орбиты в пространстве, ни положение галактик на орбите не известны. Однако можно изучить наблюдаемые параметры большой выборки двойных галактик (разности скоростей компонентов пары, угловые расстояния между ними и их светимость) и статистическими методами определить элементы орбит и отношения M/L галактик.

Такой статистический анализ, выполненный независимо Э. Тернером (Принстонский университет), С. Петерсоном (Корнеллский университет), Л. Швейцер (Институт Карнеги) и И. Д. Караченцевым (Специальная астрофизическая обсерватория, АН СССР), дал средние значения M/L от 25 до 100 в зависимости от расстояния между объектами пары, обычно равного нескольким диаметрам галактики, или — по порядку величины — 100 кпс. Этот результат подтверждает предположение о том, что короны из несветящегося вещества с большими значениями M/L простираются далеко за пределы светящихся областей галактик.

Теперь можно вернуться к поставленному в начале статьи вопросу: содержит ли Вселенная достаточное количество невидимого вещества, чтобы ее средняя плотность составляла $5 \cdot 10^{-30}$ г/см³? Это критическое значение плотности, при котором наблюдаемая Вселенная должна быть замкнутой, т.е. ее расширение должно смениться сжатием. Как было показано выше, для достижения критического значения плотность ненаблюдаемого вещества должна примерно в 70 раз превышать плотность светящейся материи. Если выразить критерий замкнутости Вселенной через отношение M/L , то оно должно составлять примерно 700 (в солнечных единицах).

Можно ли считать, что $M/L \approx 700$ действительно достигается? Усредненное по видимому диску спиральной галактики отношение полной массы светящегося и невидимого вещества к светимости равно примерно 5. Для линзовидных (тип S0) и эллиптических галактик M/L выше, порядка 10. Для пар и небольших групп галактик оно еще выше — от 50 до 100. Анализ движений галактик в богатых скоплениях приводит к M/L порядка нескольких сотен. На это увеличение M/L при переходе к системам все больших размеров впервые указали лет десять назад Я. Эйнасто, А. Каасик и Э. Саар (Академия наук Эстонской ССР), а также Дж. Острикер, Ф. Пиблс и А. Яхил (Нью-Йоркский университет в Стоун-Брук). До сих пор нет свидетельств существования отношений M/L выше критического значения 700, необходимого, чтобы наблюдаемая Вселенная была замкнутой. Самое высокое из найденных значений поразительно близко к критическому. Некоторые физики усматривают особый смысл в том, что полученные значения M/L стремятся к критическому.

ВЫВОД о том, что распределение поверхностной яркости не является надежным индикатором распределения массы, осложняет исследования, связанные с огромными расстояниями и колоссальными временными масштабами. Неизвестно, какая доля массы спиральных галактик, а также скоплений галактик недоступна наблюдениям. Трудно сказать, являются ли области, лишенные галактик, просто пустотами или в них есть несветящееся вещество. Чтобы решить эту проблему, астрономам придется разработать новые остроумные методы наблюдений, а физикам — определить свойства экзотических форм материи. Только тогда удастся установить природу вездесущего невидимого вещества, измерить полные размеры и массы галактик и предсказать будущее наблюдаемой Вселенной.

Издательство МИР предлагает:

Г. Хоуп ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ

Перевод с английского

Книга посвящена проектированию цифровых устройств на базе современных достижений технологии производства интегральных схем среднего и высокого уровней интеграции. Отличается строгой последовательностью изложения, оригинальностью описания функционирования и методов выбора основных элементов вычислительных устройств. На примере использования микропроцессорных семейств Intel и Motorola демонстрируется техника проектирования специализированных микропроцессоров и микро-ЭВМ.

Для инженеров, занимающихся проектированием цифровых вычислительных устройств, аспирантов и студентов вузов, специализирующихся в области вычислительной техники.

1984, 31 л. Цена 2 р. 50 к.

А. Баронэ, Ж. Патерно ЭФФЕКТ ДЖОЗЕФСОНА: ФИЗИКА И ПРИМЕНЕНИЯ

Перевод с английского

Монография подводит итог 20-летнему этапу исследований эффекта Джозефсона и описывает не только осуществленные приложения, но и анализирует дальнейшие перспективы использования джозефсоновских структур. Особое внимание обращено на теоретические вопросы, которые наиболее интересны и полезны при анализе экспериментальных результатов. Рассмотрены достижения в технологии создания джозефсоновских контактов, применение эффекта для измерения сверхслабых полей, создания эталонов напряжения и т.д., подробно анализируются возможности джозефсоновского контакта как элемента памяти или логического элемента в ЭВМ.

Для физиков и инженеров, работающих в области сверхпроводимости и криоэлектроники.

1984, 37 л. Цена 5 р. 90 к.



Перенос новых генов в клетки растений

При индукции опухоли у растения бактерия вводит в него фрагмент ДНК. Эту изобретенную самой природой форму генетической инженерии можно использовать для модификации сельскохозяйственных растений

МЭРИ-ДЭЛЛ ХИЛТОН

УЖЕ миллионы лет обычная почвенная бактерия *Agrobacterium tumefaciens* делает то, что молекулярные биологи пытаются сделать только сейчас. Эта бактерия вводит чужеродные гены в растение и заставляет его синтезировать соответствующие белки. В результате растительные клетки размножаются и образуют галл, т.е. опухоль, обычно в области корневой шейки, где соединяются корень и стебель, или недалеко от этого места.

Галл корневой шейки, или корончатый галл, поражает многие виды двудольных широколиственных растений и наносит заметный ущерб некоторым культурам, особенно виноградной лозе, косточковым плодовым, а также декоративным растениям. В связи с очевидным экономическим значением этого заболевания оно уже с начала века изучается фитопатологами. В последние годы, когда выяснилось, что инфекционный процесс — это природная форма генетической инженерии, бактерия *A. tumefaciens* и вызываемая ею опухоль стали объектом интенсивных исследований как в академических, так и в прикладных лабораториях молекулярной генетики. Инфекционный агент, считавшийся только возбудителем докучной болезни, становится теперь главным инструментом генетических манипуляций с растениями. С его помощью можно вводить новые гены и получать разновидности растений с новыми, полезными свойствами.

Тот факт, что возбудителем корончатого галла является *A. tumefaciens*, обнаружили в 1907 г. Э. Смит и К. Таунсенд из министерства сельского хозяйства США. Они выделили бактерии из опухоли и показали, что если внести их в поврежденный участок здорового растения, в этом месте образуется новая опухоль. Заразить ткань можно только через свежую ранку: место повреждения сохраняет восприимчивость примерно два дня. Причем если смыть сок, вытекающий из свежего надреза, заражения может не произойти. Не все штаммы *A. tumefaciens* вирулентны,

т.е. способны вызывать образование опухоли. Известно, что вирулентные бактерии связываются со специфическими пектиновыми компонентами оболочки растительной клетки, но проникают внутрь клетки, только если она убита, разрушена. После этого бактерии стимулируют пролиферацию соседних живых клеток растения и сами размножаются между клетками образующейся опухоли.

В 1947 г. А. Брауну из Рокфеллеровского института медицинских исследований впервые удалось получить культуру ткани галла, лишенную индуцирующих бактерий, на искусственной среде, содержащей только сахарозу и неорганические соли. При этом ткань сохраняла характерное для опухоли свойство бесконтрольного роста. Нормальные клетки и ткани растений растут в культуре медленно и только в присутствии определенных гормонов (цитокенинов и ауксинов), а ткань галла растет быстро даже без гормонов — достаточно только время от времени переносить ее в свежую среду. Браун сделал вывод, что растительные клетки каким-то образом трансформируются, превращаясь в опухолевые, после воздействия *A. tumefaciens*, и предположил, что бактерия вводит в растительную клетку некий агент, который и индуцирует опухоль.

Важные сведения для разгадки биохимической природы этого агента были получены в 60-е годы Ж. Морелем и его коллегами из Национального института агрономических исследований (г. Версаль, Франция). Они обнаружили в опухолевых клетках химические соединения нового класса — опины, которых не было в здоровых клетках того же растения. Опины — это производные обычных промежуточных продуктов обмена веществ — аминокислот, различных кетокислот и сахаров. Подробно изучены два из них: октопин, состоящий из аминокислоты аргинина и пировиноградной кислоты, и нопалин, соединение аргинина и α -кетоглутаровой кислоты. Опухолевые

клетки могут синтезировать либо октопин, либо нопалин, причем, что именно, зависит не от вида растения, а от штамма бактерии, индуцировавшей опухоль. Важно также, что данный бактериальный штамм способен расти только в присутствии какого-либо одного из опинов, но не двух сразу: бактерии усваивают только то соединение, которое синтезирует индуцированная ими опухоль. На основании полученных данных Морель сделал остроумное предположение: бактерия, по всей видимости, вводит в растительную клетку ген, ответственный за синтез октопина или нопалина, т.е. агентом, индуцирующим опухоль, является ДНК. Такая ДНК должна представлять собой мобильный элемент.

А. Керр из Аделаидского университета обнаружил, что свойство вирулентности способно переходить от вирулентного штамма бактерии к невирулентному, если одно и то же растение заразить одновременно обоими штаммами. Перенос происходит даже между очень неродственными штаммами *Agrobacterium*, а значит, маловероятно, что гены, ответственные за вирулентность, локализованы в хромосоме. Керр предположил, что эти гены несут бактериальный вирус или плаزمиду (т.е. небольшая кольцевая молекула ДНК, находящаяся вне хромосомы; в плаزمиде обычно находятся вспомогательные гены, влияющие на патогенность, обмен редких соединений, а также на устойчивость к антибиотикам).

В пользу вирусной или плазмидной природы вирулентности говорили также данные Р. Гамильтона-мл. и М. Фолла (Университет шт. Пенсильвания). В 1971 г. они выделили штамм *A. tumefaciens* C58, вирулентность которого была чувствительна к температуре. Когда этот штамм рос при сравнительно высокой температуре (37°C), бактерия теряла вирулентность, причем самопроизвольно она уже никогда не восстанавливалась. Напрашивалось, что гены, индуцирующие опухоль, находятся в каком-то элементе,

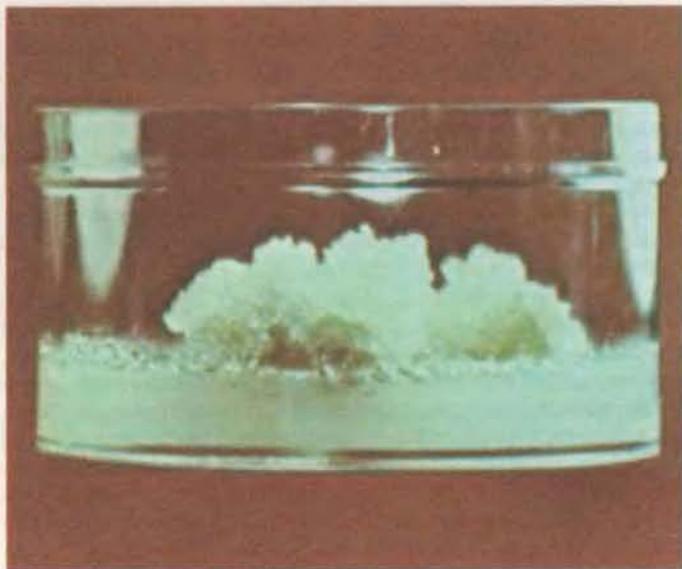


КОРОНЧАТЫЙ ГАЛЛ на растении табака. Верхушку растения срезали и в ранку внесли *Agrobacterium tumefaciens*, в результате в этом месте образовалась опухоль. Инфицирующие бактерии несут добавочную кольцевую молекулу ДНК — Ti-плазмиду. Фрагмент этой плазмиды (Т-ДНК) вво-

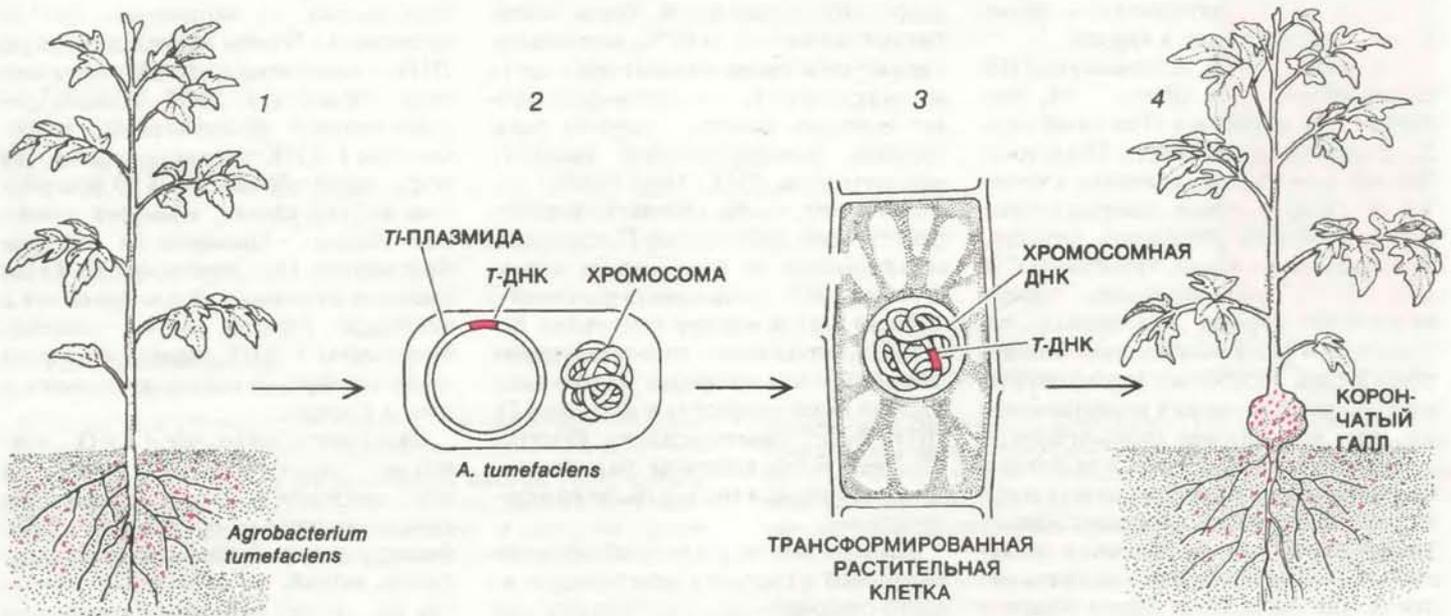
дится в растительную клетку и вызывает опухоль, в данном случае — тератому, т.е. опухолевый нарост, из которого беспорядочно растут побеги и листья. Фотография Р. Теджена и Б. Теджен (Корнеллский университет).



КУЛЬТУРА ТКАНИ, выращенная из клеток опухоли табака. Бактерий в ткани нет, но они оставили след: трансформированные растительные клетки несут генетические изменения. Клетки опухоли выросли без добавления ауксина и

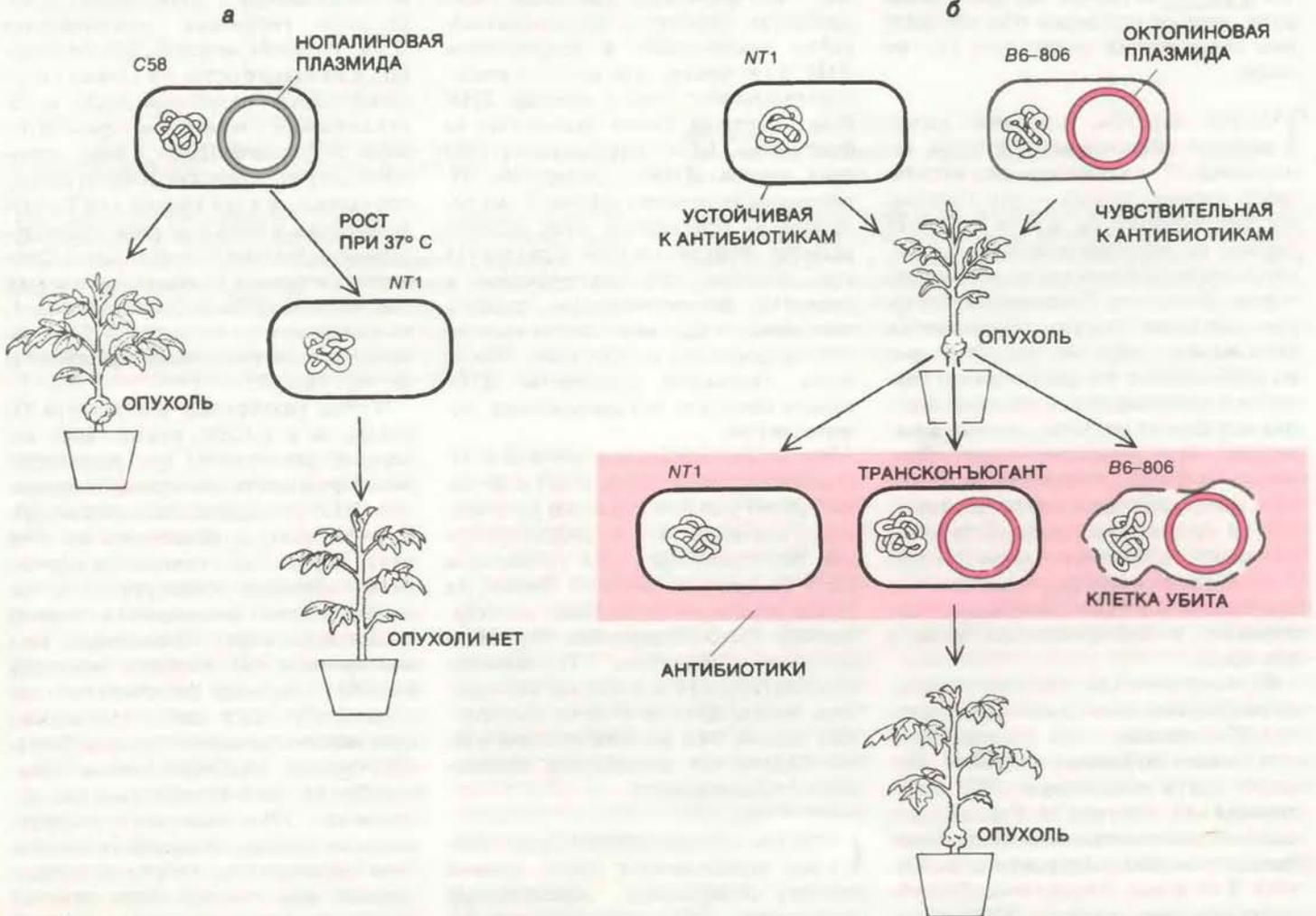


цитокинина — гормонов, необходимых для роста культуры нормальных клеток. Слева — тератома, справа — другой тип опухоли — каллюс, т.е. масса недифференцированных клеток.



ОПУХОЛЬ возникает, когда бактерии попадают в поврежденный участок, обычно вблизи корневой шейки растения (1). У вирулентных бактерий кроме ДНК хромосомы есть еще Тi-плазмида (2). Плазмидная ДНК проникает в клетку и внедряется в ДНК ее хромосомы (3). Трансформированные

клетки размножаются и образуют опухоль — корончатый галл (4). Опухолевые клетки синтезируют опины, которыми питаются бактерии *A. tumefaciens*, поселившиеся в галле. Тi-плазмида данного бактериального штамма индуцирует образование только одного определенного спина.



ПЛАЗМИДА вызывает опухоли. Штамм *A. tumefaciens* C58 вирулентен (а) и потребляет опалин. После выращивания при 37°С C58 утрачивает вирулентность и способность расти на опалине, одновременно теряется Тi-плазмида. Получается неvirulentный штамм NT1. Его вирулентность может восстановиться только после конъюгации с другим, вирулентным штаммом (б). Клетки мутанта NT1, устойчивого к двум

антибиотикам, вносят в растение томата вместе с клетками вирулентного штамма В6-806, растущего на октопине. Образуется опухоль. Ее переносят на среду, содержащую два антибиотика, так что колонии могут дать только клетки NT1. Те из них, которые при конъюгации с В6-806 получали октопиновую плазмиду, вирулентны, растут на октопине и индуцируют образование опухолей, продуцирующих октопин.

который можно «потерять» — скорее всего, в плазмиде или в вирусе.

Наконец, в 1974 г. неуловимую ДНК обнаружили Дж. Шелл, М. Ван-Монтегю и их коллеги (Гентский государственный университет). Оказалось, что все вирулентные штаммы в отличие от невирулентных содержат плазмиды необычно большого размера. Вскоре было показано, что штамм C58 при 37°C вирулентность теряет вследствие утраты плазмиды. Эта плазмиды была «мобильным элементом» Керра, способным переходить от вирулентного штамма к невирулентному при конъюгации (конъюгация — это спаривание бактерий). Как показали эксперименты Р. Шилперорта и его коллег (Лейденский государственный университет), именно плазмиды придает бактерии способность усваивать октопин или нопалин (и таким образом расти в присутствии одного из этих соединений) и определяет, какое из двух соединений будет синтезировать опухоль. Даже распространение вирулентной плазмиды в популяции клеток *A. tumefaciens* зависит от опина, синтез и распад которого она программирует: перенос плазмиды при конъюгации специфически индуцирует тот же опин.

ТАКИМ образом, плазмиды, вызывающая образование опухоли (ее называют Ti-плазмиды — от английского tumor-inducing), — это главный элемент необычного и в то же время широко распространенного экологического взаимодействия растений и бактерий. Благодаря Ti-плазмиде бактерия заставляет растительные клетки производить вещество, ненужное им, но необходимое для размножения бактерии и содержащейся в ней плазмиды: она индуцирует опухоль, которая и выделяет это вещество — например, опин — в больших количествах. Галл образуется в области корневой шейки, т.е. на уровне почвы; можно думать, что опин диффундирует в почвенную воду. Перенос плазмиды в невирулентные прежде бактерии способствует выживанию и бактериального вида, и плазмиды.

Если корнчатый галл действительно развивается вследствие переноса генов Ti-плазмиды, она должна присутствовать в клетках опухоли. Попытку найти плазмидную ДНК предприняли Ю. Нестер, М. Гордон и я вместе с дипломниками и аспирантами Вашингтонского университета (г. Сиэтл). В то время лучшим способом обнаружить определенную ДНК (в нашем случае Ti-плазмиду) на фоне избытка другой ДНК (собственной ДНК растения) было измерить скорость ренатурации ДНК. Сначала двойную спираль ДНК денатурируют, нагревая при 100°C, что приводит к разделению

комплементарных цепей. Когда температура снижается до 68°C, комплементарные цепи снова находят друг друга и ренатурируют, т.е. опять формируют двойную спираль. Скорость ренатурации пропорциональна квадрату концентрации ДНК. Наш подход состоял в том, чтобы сравнить скорость ренатурации ДНК чистой Ti-плазмиды со скоростью ее ренатурации в присутствии ДНК из здоровых растений и ДНК из клеток корнчатого галла. Если ДНК опухолевых клеток содержит плазмиду, концентрация комплементарных цепей возрастает и исходная Ti-ДНК будет ренатурировать быстрее (Ti-ДНК была помечена радиоактивным изотопом, и мы могли легко определить ее).

Сначала нам не удалось обнаружить изменений в скорости ренатурации; из этого следовало, что в клетках опухоли нет полной копии Ti-плазмиды, но присутствие ее фрагментов не исключалось. Чтобы проверить и эту возможность, мы разрезали плазмиду с помощью рестрикционной эндонуклеазы. (Рестрикционные эндонуклеазы — это ферменты, узнающие определенную короткую последовательность нуклеотидов и разрезающие ДНК в тех местах, где есть эта последовательность. Любая длинная ДНК будет нарезана таким ферментом на фрагменты, набор которых характерен для данной ДНК.) Обработав Ti-плазмиды эндонуклеазой *Sma I*, мы получили 20 фрагментов ДНК разного размера. Фрагменты можно разделить при помощи геле-электрофореза и окрасить флуоресцентным красителем: каждый фрагмент даст в геле узкую флуоресцирующую зону. После этого отдельные фрагменты ДНК можно очистить для дальнейших экспериментов.

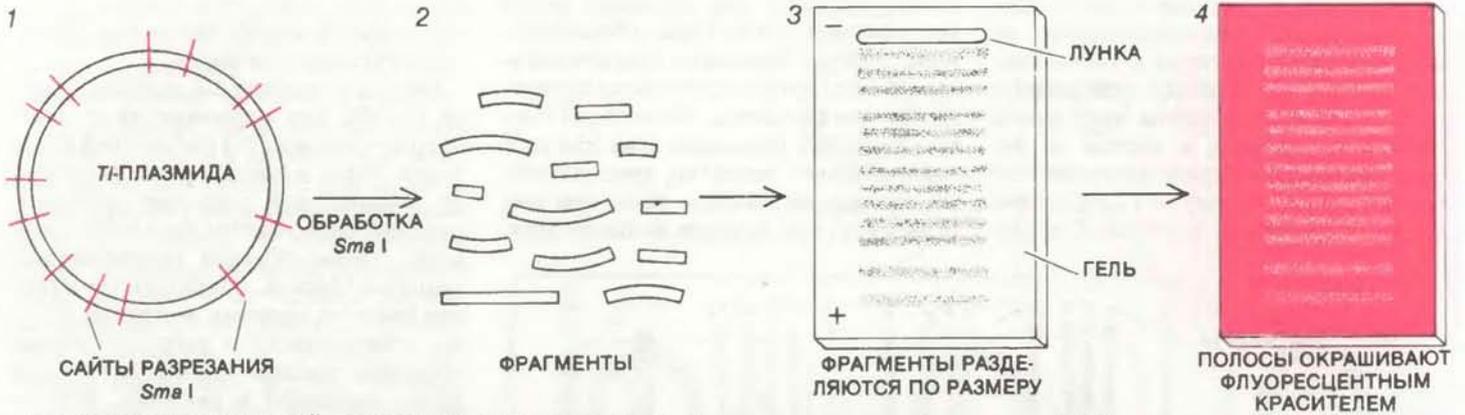
Когда мы проделали все это с Ti-плазмидой и повторили опыты по ренатурации уже с отдельными фрагментами, оказалось, что из 20 фрагментов два ренатурировали при добавлении ДНК из опухоли быстрее. Значит, их копии имелись в опухолевых клетках. Позднее было установлено, что специфические фрагменты Ti-плазмиды действительно есть в клетках корнчатого галла, притом во всех проверенных линиях. Мы назвали эти фрагменты T-ДНК (от английского transferred — перенесенный).

СЕЙЧАС анализу скорости ренатурации предпочитают более прямой метод обнаружения определенных фрагментов ДНК среди избытка неспецифической ДНК. В 1975 г. Е. Соэзерн (Эдинбургский университет) предложил комбинировать электрофорез и ренатурацию и создал метод, который стал важнейшим инструментом молекулярной генетики (его называют

блот-анализ, от английского blot — промокать). Чтобы найти плазмидную ДНК в опухолевых клетках, надо сначала обработать ДНК опухоли рестрикционной эндонуклеазой, например *Sma I*. ДНК плазмиды разрезается после такой обработки на 20 фрагментов, а ДНК клетки, имеющей огромный геном, — примерно на миллион фрагментов. При электрофорезе в геле миллион отдельных полос сливается в сплошное длинное пятно — шлейф. Фрагменты T-ДНК теряются на фоне этого шлейфа; отыскать их позволяет метод Соэзерна.

Фрагменты опухолевой ДНК подвергают денатурации и переносят на лист нитроцеллюлозной бумаги, как свежую надпись на промокашку. ДНК фиксируется на бумаге, которая несет теперь четкий, но невидимый отпечаток всех полос, имевшихся в исходном геле. Затем бумагу инкубируют в растворе денатурированных меченных радиоактивным изотопом фрагментов плазмидной ДНК, которые служат при этом своего рода зондом. Если в опухоли есть плазмидная ДНК, произойдет ее реассоциация с ДНК-зондом и образуется гибридная двуспиральная ДНК. Избыток меченой ДНК отмывают, и на бумаге остается только та радиоактивная плазмидная ДНК, которая связалась с комплементарными цепями опухолевой ДНК. Бумагу помещают на рентгеновскую пленку; пленку проявляют, и в тех местах, где T-ДНК включилась в ДНК-зонтон, на ней появляются темные полосы. Когда сравнивают эти полосы с зонами фрагментов плазмидной ДНК, разрезанной *Sma I*, то оказалось, что в состав T-ДНК целиком или частично входят фрагменты 3b, 10c, 16 и 17.

Чтобы разобраться в структуре Ti-плазмиды и T-ДНК, нужно было, во-первых, установить, как размещены *Sma I*-фрагменты по кольцу плазмидной ДНК (т.е. картировать плазмиду), и, во-вторых, локализовать на этой карте гены, ответственные за определенные функции. Наша группа из Вашингтонского университета первой предложила карту Ti-плазмиды (мы картировали октопиновую плазмиду В6-806). Плазмиду разрезали эндонуклеазой *Hpa I*, и набор полученных фрагментов сравнили с набором *Sma I*-фрагментов. Мы приготовили большой блот с *Hpa I*-фрагментами (см. рисунок на с. 22) и разрезали его на продольные «ленты». Каждый из меченых *Sma I*-фрагментов гибридизовали с каждой такой лентой. Если меченый фрагмент связывался только с одной полосой, это означало, что он целиком содержится в данном *Hpa I*-фрагменте. Если же меченый фрагмент связывался с двумя полосами, то следовало считать, что он перекрывает место соединения соответствующих *Hpa I*-фраг-



ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ Тi-ПЛАЗМИДЫ. Плазмиду обрабатывают рестрикционной эндонуклеазой *Sma* I, которая разрезает ДНК в определенных местах. Полученные фрагменты (на самом деле тысячи копий каждого фрагмента из тысяч копий плазмиды) помещают в лунку на одном конце агарозного геля. В электрическом поле отрицательно

заряженные фрагменты ДНК движутся к положительному полюсу. Чем меньше фрагмент, тем быстрее он перемещается. Получается набор полос; их можно увидеть, окрасив гель флуоресцентным красителем. Набор полос специфичен для данной плазмиды и данной эндонуклеазы.



МЕТОД СОЗЕРНА позволяет обнаружить присутствие плазмидной ДНК в галле. Опухолевую ДНК обрабатывают эндонуклеазой *Sma* I и полученные фрагменты разделяют с помощью гель-электрофореза. Тысячи полос сливаются на геле в сплошное длинное пятно (1). Добиваются денатурации ДНК, чтобы разделить ее на две цепи, переносят на фильтровальную бумагу и фиксируют на ней (2). Бумагу инкубируют с ДНК-зондом (цветная) — плазмидной ДНК или ее фраг-

ментами, меченными радиоактивным изотопом и денатурированными (3). Эти фрагменты реассоциируют с комплементарной ДНК, т.е. «находят» соответствующую полосу Т-ДНК и связываются с ней. Несвязавшиеся ДНК-зонд отмывают (4). Полосы Т-ДНК проявляются после автордиографии (5). Фрагменты можно идентифицировать, сравнивая полученную картину со *Sma* I-гелем Тi-плазмиды.

ментов, и т.д. Такие эксперименты с несколькими разными эндонуклеазами дали, наконец, возможность построить полную карту фрагментов плазмидной ДНК.

Чтобы продвинуться дальше и картировать плазмидные гены, надо было найти связь между мутациями в определенных участках ДНК с изменением соответствующих функций. Несколько исследовательских групп использовали с этой целью технику транспозонного мутагенеза. Некоторые гены устойчивости к антибиотикам находятся в транспозонах — коротких сегментах ДНК, способных «прыгать», т.е. перемещаться по геному и занимать практически любое положение в бактериальной хромосоме или плазмиде. Транспозонная вставка одновременно порождает мутацию, поскольку она прерывает тот ген хромосомы или плазмиды, в который внедрился транспозон. Эта мутация проявляется функционально (бактерия становится

устойчивой к данному антибиотику) и может быть точно локализована, поскольку из-за вставки меняется набор эндонуклеазных фрагментов. Нестер и Д. Гарфинкель (Вашингтонский университет) ввели бактериям транспозон при помощи «вектора-самоубийцы». Эта плазмиды, созданная Дж. Берингером (Институт Джона Иннеса, Великобритания), несет транспозон устойчивости к канамицину *Tn* 5. Если плазмиду-«самоубийцу» ввести в клетку *Agrobacterium*, она саморазрушается после того, как транспозон *Tn* 5 «перепрыгивает» в бактериальную хромосому или Тi-плазмиду.

КОЛОНИИ бактерий, устойчивых к канамицину, в которых *Tn* 5 находится в плазмиде, а не в хромосоме (см. верхний рисунок на с. 23), можно отобрать и проверить, изменились ли их генетические свойства. Многие мутации никак не проявляются, «молчат», однако в некоторых случаях из-

менения удается обнаружить. Если, например, бактерия утратила способность разлагать октопин, ясно, что ген, необходимый для этого, мутировал. Чтобы картировать ген, из мутантных бактерий выделили Тi-плазмидную ДНК, разрезали ее *Sma* I и подвергли электрофорезу. Полученный набор полос отличался от нормального: один из фрагментов (назовем его *x*) исчез, зато появились два новых, причем их суммарная длина как раз равнялась длине фрагмента *x* плюс *Tn* 5. Другими словами, *Tn* 5 встроился во фрагмент *x*. Зная, что *Sma* I разрезает *Tn* 5 примерно пополам, можно довольно точно определить локализацию гена.

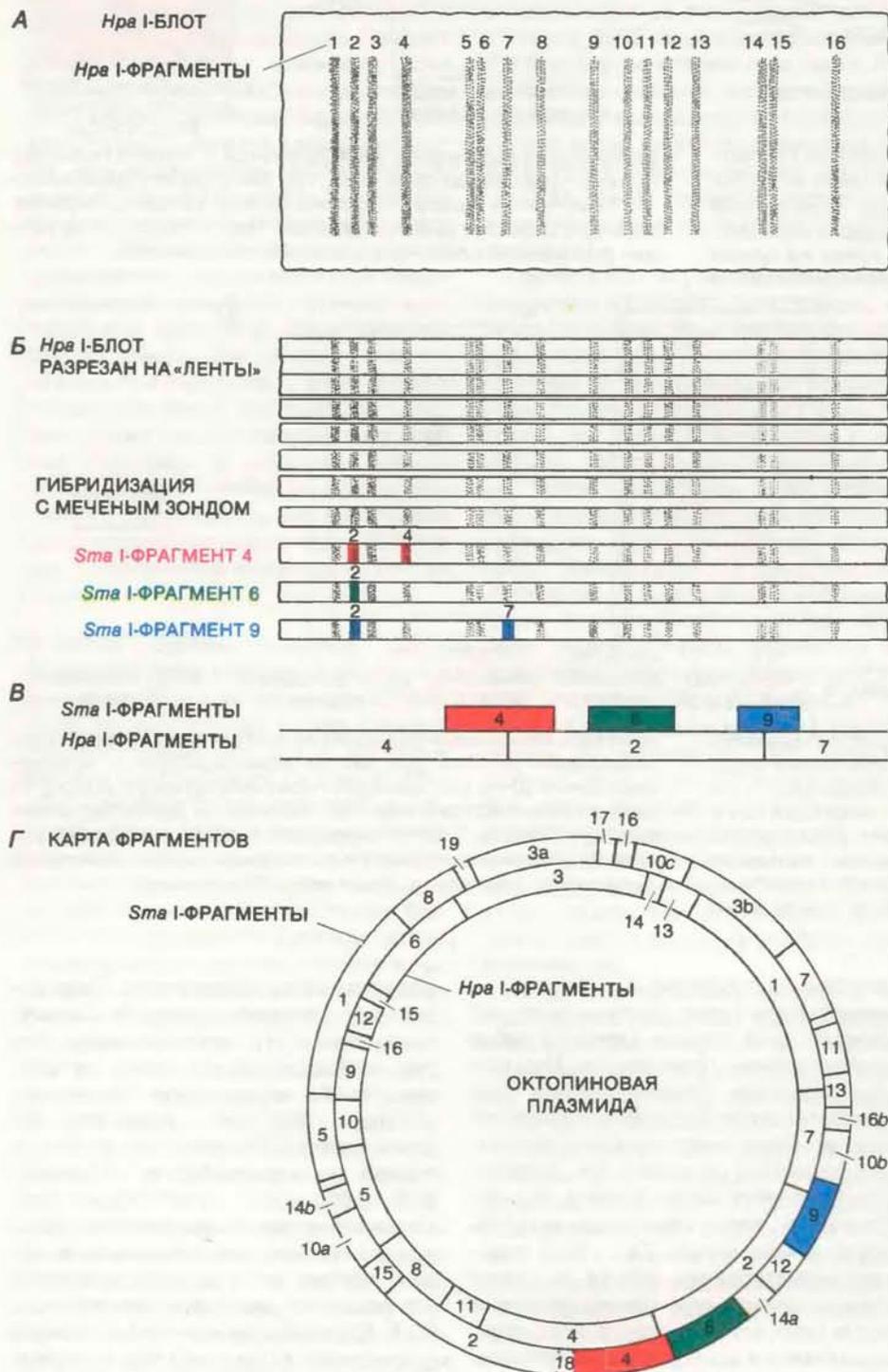
С помощью этого подхода группа Нестера, Шелла и Ван-Монтегю, а также группа Шилперорта составили в конце концов генетическую карту октопиновой и нопалиновой Тi-плазмид. Большой сектор плазмиды слева от Т-ДНК несет информацию о функциях

вирулентности. Мутации в этом участке сказываются преимущественно на присоединении бактерии к растительной клетке, на переносе плазмидной ДНК в клетку или же на интеграции ДНК в хромосому, а иногда на нескольких функциях сразу. Большой сектор по другую сторону от Т-ДНК определяет способность поглощать и раз-

лагать октопин или нопалин. Были картированы также гены, обеспечивающие перенос плазмиды при конъюгации, и гены, ответственные за превращение других опинов. Несколько больших секторов плазмиды пока кажутся «молчащими», вероятно, просто потому, что мы не слышим того, что они «говорят», т.е. за какие функции отве-

чают. Возможно, эти участки имеют отношение к метаболизму еще каких-то питательных веществ.

Особенно интересны мутации внутри Т-ДНК: они указывают на те гены, которые переносятся из бактерий в растение. Шелл и Ван-Монтегю получили на нопалиновой плазмиде мутацию, отключающую синтез нопалина в опухоли. Таким образом подтвердилась гипотеза Мореля, поскольку эта мутация является прямым, на генном уровне, доказательством того, что синтез нопалина управляется бактериальной ДНК, введенной в растение. Клетки опухоли, индуцированной такой мутантной плазмидой, как оказалось, содержат не только обычную Т-ДНК, но еще и транспозон, породивший мутацию. Причем транспозон *Tn 5*, о котором идет речь, имеет весьма солидные размеры. Его присутствие в опухолевых клетках означает, что вместе с Т-ДНК в растительную клетку может быть перенесен достаточно большой фрагмент чужеродной ДНК, несущий несколько генов. Следовательно, Т-ДНК можно использовать как переносчик для введения нужного гена в клетки растений. Если такой ген сможет в них функционировать и если удастся из опухолевых клеток регенерировать здоровое растение, этот метод открывает огромные перспективы для генетической инженерии на растениях.



ЧАСТЬ КАРТЫ ПЛАЗМИДЫ получена путем анализа перекрытия двух различных наборов эндонуклеазных фрагментов. Тi-плазмиду обработали эндонуклеазой *Hpa* I, разделив фрагменты в геле, применили метод Созерна (а). Блот разрежали на «ленты», каждую из них инкубировали с различными мечеными радиоактивным изотопом *Sma* I-фрагментами. Перекрывающиеся *Sma* I- и *Hpa* I-фрагменты реассоциируют (б). Например, *Sma* I-фрагмент 4 гибридизуется с *Hpa* I-фрагментами 2 и 4; *Sma* I-фрагмент 6 гибридизуется только с *Hpa* I-фрагментом 2. На основании этих данных судят о линейном перекрытии фрагментов (в) и в итоге составляют полную кольцевую карту Тi-плазмиды (г).

БЛАГОДАРЯ транспозоновым мутациям в Т-ДНК группе Шилперорта удалось найти участки, контролирующие изменения гормональной активности, по всей видимости ответственные за рост опухоли. Мутации обуславливают различные изменения морфологии опухоли. В результате мутаций одного типа из опухоли отрастают корешки, а мутации другого типа вызывают рост побегов. Совершенно такие же изменения наблюдаются в нормальной растительной ткани при гормональном дисбалансе: если отношение ауксинов к цитокининам слишком велико, формируются лишние корни, а если чересчур мало — образуется больше побегов. Шилперорт показал, что эффект мутаций, затрагивающих морфологию опухолей, может быть обращен, если в среду добавить соответствующие гормоны, т.е. цитокинины (в случае «корневых» мутантов) и ауксины (в случае «побеговых»).

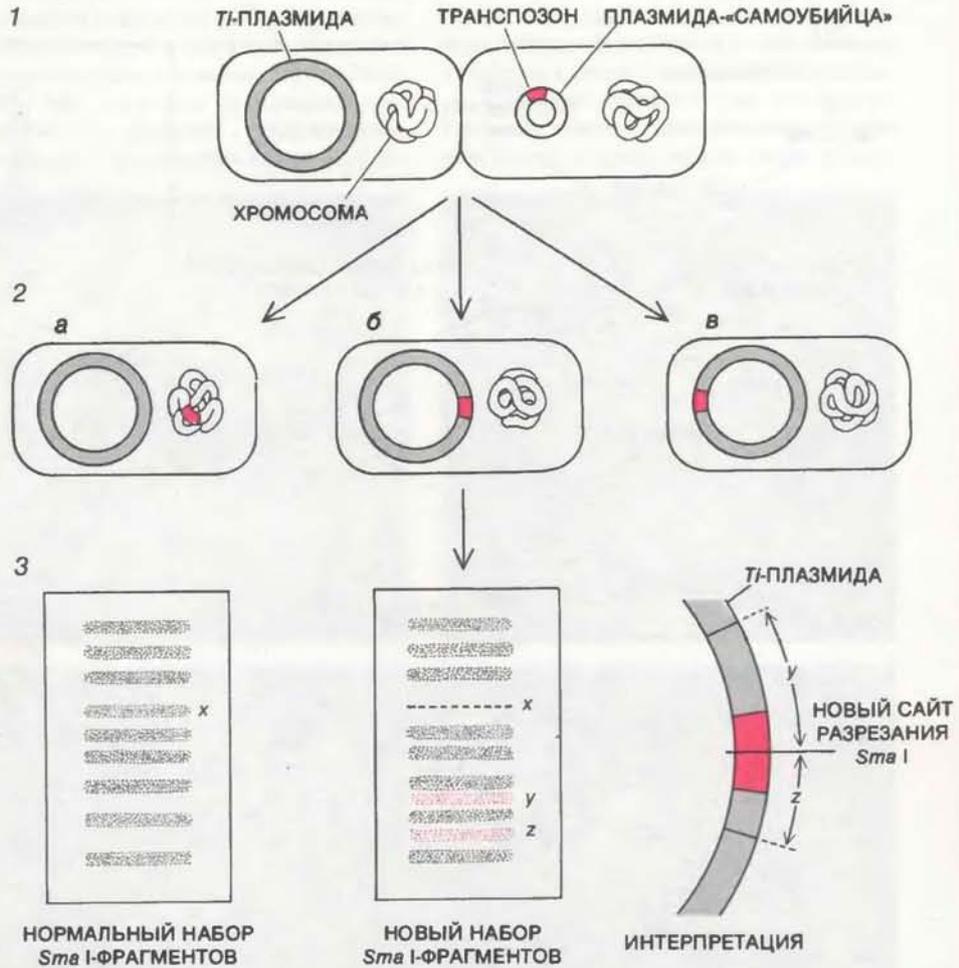
Сотрудники лаборатории Нестера составили подробную карту Т-ДНК, на которой отметили участки генов «корней» и «побегов». Исследователи воспользовались опять-таки методом транспозонового мутагенеза, однако, поскольку структура Тi-плазмиды была теперь известна, мутагенез сделали направленным. Выбрали определенный фрагмент ДНК, клонировали его в маленькой векторной плазмиде, доби-

лись мутации и ввели в *A. tumefaciens* и в Ti-плазмиду путем двойной рекомбинации. Получились Ti-плазмиды с мутацией в заранее выбранном участке.

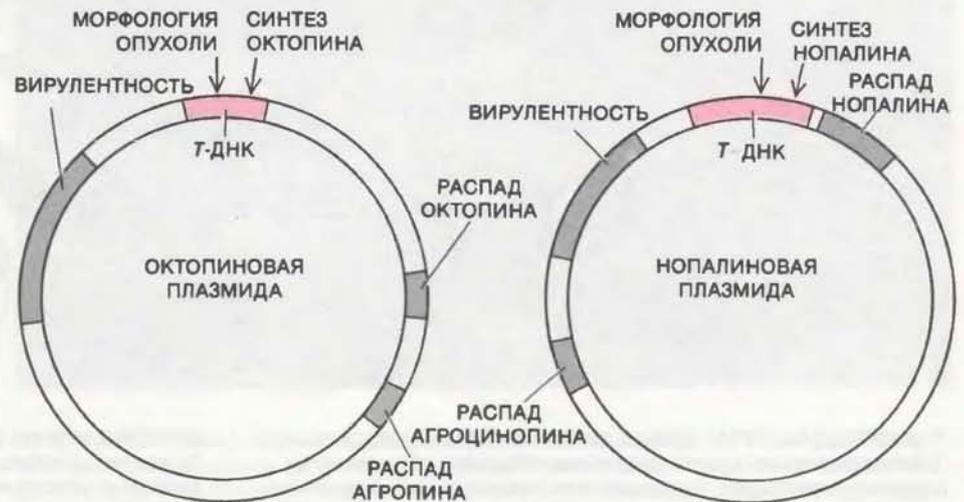
Такой способ позволил определить локусы «корней» и «побегов», а также участок мутаций другого класса, которые вызывают образование необычно больших опухолей. В Т-ДНК остались также обширные области, казавшиеся «молчашими», — во всяком случае, мутации внутри них никак не проявились. Любопытно, что ни одна из 75 изученных мутантных плазмид не утратила полностью своей вирулентности. Это означает, что все гены, ответственные за перенос Т-ДНК в растительную клетку и ее встраивание в хромосомную ДНК, находятся вне Т-ДНК, в «области вирулентности» слева от нее. Эта особенность отличает Т-ДНК от большинства вирусов и транспозонов, которые непременно несут гены жизненно важных функций, обеспечивающих их переход к новому хозяину.

Для того чтобы ген функционировал, его ДНК должна транскрибироваться с образованием информационной (матричной) РНК — мРНК, а мРНК — транслироваться с образованием белка. Клетки корончатого галла содержат РНК, транскрибированную с генов Т-ДНК. Эта РНК больше похожа на мРНК эукариотических клеток, чем на прокариотическую мРНК. (В клетках эукариот в отличие от протистов устроенных прокариотических, т.е. бактериальных, клеток сложно организованный геном заключен в ядре.) Были определены размеры индивидуальных молекул опухолевых РНК и их положение на карте. Оказалось, что «корневому» локусу и локусу «больших опухолей» соответствует по одному виду РНК, а локус «побегов» кодирует два вида РНК. Интересно отметить, что почти все «молчашие» участки Т-ДНК также кодируют свои мРНК; возможно, часть из них считывается с генов, ответственных за метаболизм еще не открытых опинов.

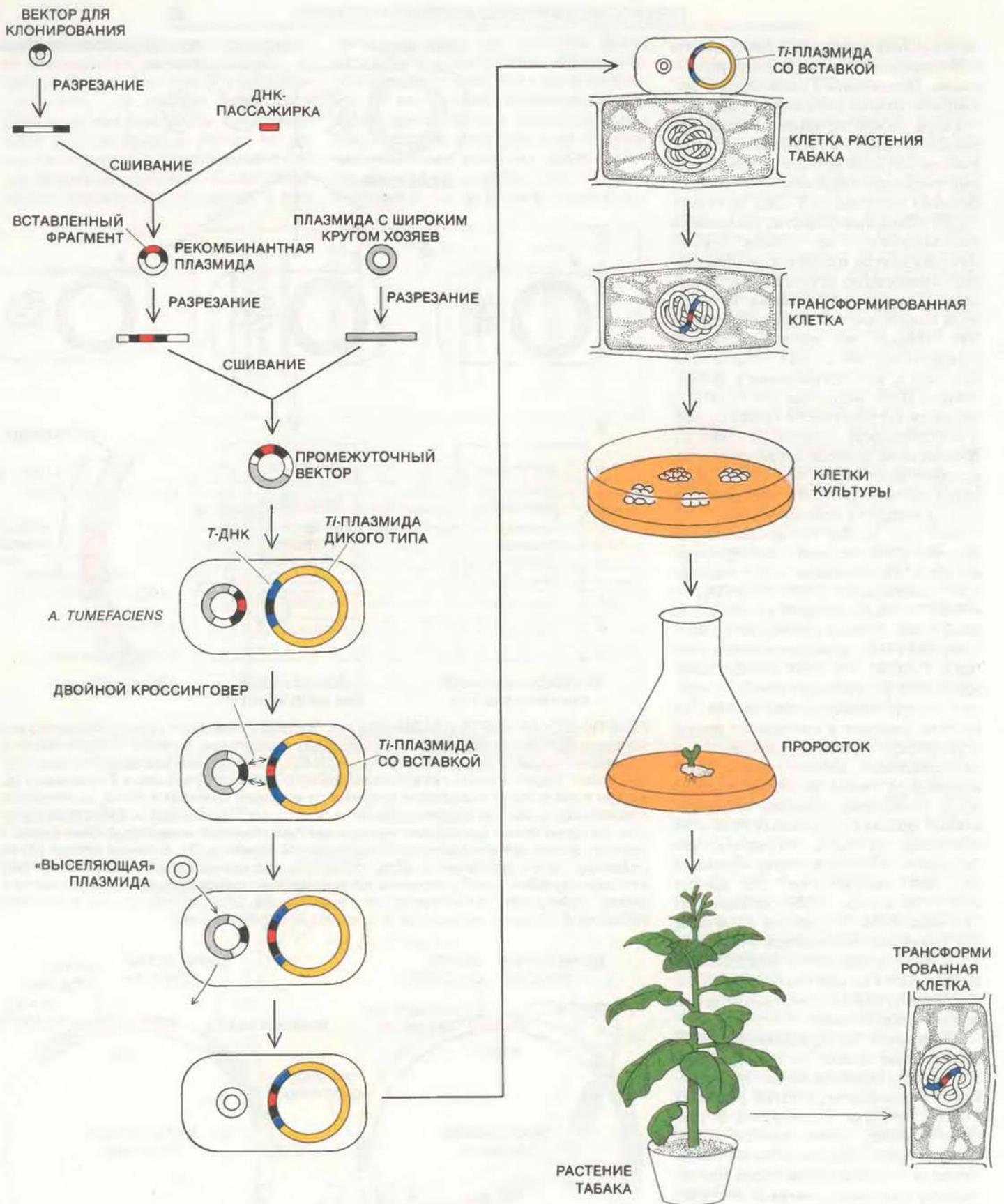
Уникальные биологические свойства Ti-плазмиды делают ее естественным агентом для переноса генов. Она встраивается в хромосомную ДНК растений Т-ДНК, которая сохраняется в растении-хозяине, реплицируется и (по крайней мере, большая ее часть) транслируется с образованием белка. Как же «решает» плаزمид, какая ее часть перейдет в Т-ДНК? Дело, вероятно, в том, что с обеих сторон к концам Т-ДНК прилегают специфические сигнальные последовательности. Такая сигнальная последовательность представляет собой «прямой повтор», состоящий из 25 нуклеотидов. (Последовательности нуклеотидов в кодирующих участках генов определяют структуру соответствующих белков. Точные повторы коротких последовательно-



ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КАРТА ПЛАЗМИДЫ составлена с помощью транспозонного мутагенеза. Плазмиду «самоубийцу», несущую транспозон с геном устойчивости к канамицину (цветной), ввели в клетку *Agrobacterium* при конъюгации (1). Транспозон может перепрыгнуть (2) в бактериальную хромосому (а) или в Ti-плазмиду (б, в), при этом в месте внедрения получается мутация. Отбирая клетки, устойчивые к канамицину, мы тем самым выявим те, в которых Ti-плазмиды подверглась мутации. Каждую из них проверяют на наличие генетических изменений. Сравнивают наборы фрагментов мутантной и нормальной плазмид (3). В линии клеток (б) из плазмиды исчез фрагмент x, зато появились два новых фрагмента y и z, потому что эндонуклеаза Sma I разрешила встроившийся транспозон. Длина фрагмента x равна сумме длин y и z минус длина транспозона. Следовательно, ген, в котором произошла мутация, находился в исчезнувшем фрагменте x.



ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КАРТЫ октопиновой (слева) и нопалиновой (справа) Ti-плазмид. Выделен участок, занимаемый Т-ДНК; в нем находятся гены синтеза октопина и нопалина и гены, влияющие на морфологию опухолей. Область слева от Т-ДНК связана с вирулентностью. Вне Т-ДНК расположены также гены катаболизма октопина или нопалина и других опинов.



ЧУЖЕРОДНЫЙ ГЕН ввели в растительную клетку, и из нее регенерировало целое растение. Маленькую плазмиду с фрагментом Т-ДНК (черный), включающим «корневой» locus, разрезали эндонуклеазой. В разрез вставили «ДНК-пассажирку» — дрожжевой ген алкогольдегидрогеназы вместе с геном устойчивости к канамицину. Рекомбинантную плазмиду клонировали в другой плазмиде; этот промежуточный вектор ввели в клетки *A. tumefaciens* с Ti-плазмидой дикого типа. Перестроенная Т-ДНК из промежуточного вектора может рекомбинировать с соответствующим

фрагментом (черный) Ti-плазмиды. В результате рекомбинации с двойным перекрестом перестроенный фрагмент вместе с «пассажиром» переходит в Ti-плазмиду. Вектор устраняют, вводя «несовместимую» плазмиду. Бактерии, несущие в своей Т-ДНК перестроенный фрагмент, выявляют по их устойчивости к канамицину. Ими трансформировали клетки табака. Т-ДНК с «пассажиром» встроилась в ДНК растения, и получились клетки с мутацией в корневом локусе. Из них выросли здоровые растения, клетки которых содержали Т-ДНК с геном алкогольдегидрогеназы.

стей нуклеотидов, «прямые» или «обратные», т.е. инвертированные, часто служат сигналами для рекомбинации.) Прямые повторы, по-видимому, отмечают границы Т-ДНК, так что любая чужеродная ДНК, вставленная между повторами, будет принята за Т-ДНК и перенесена в растительную клетку.

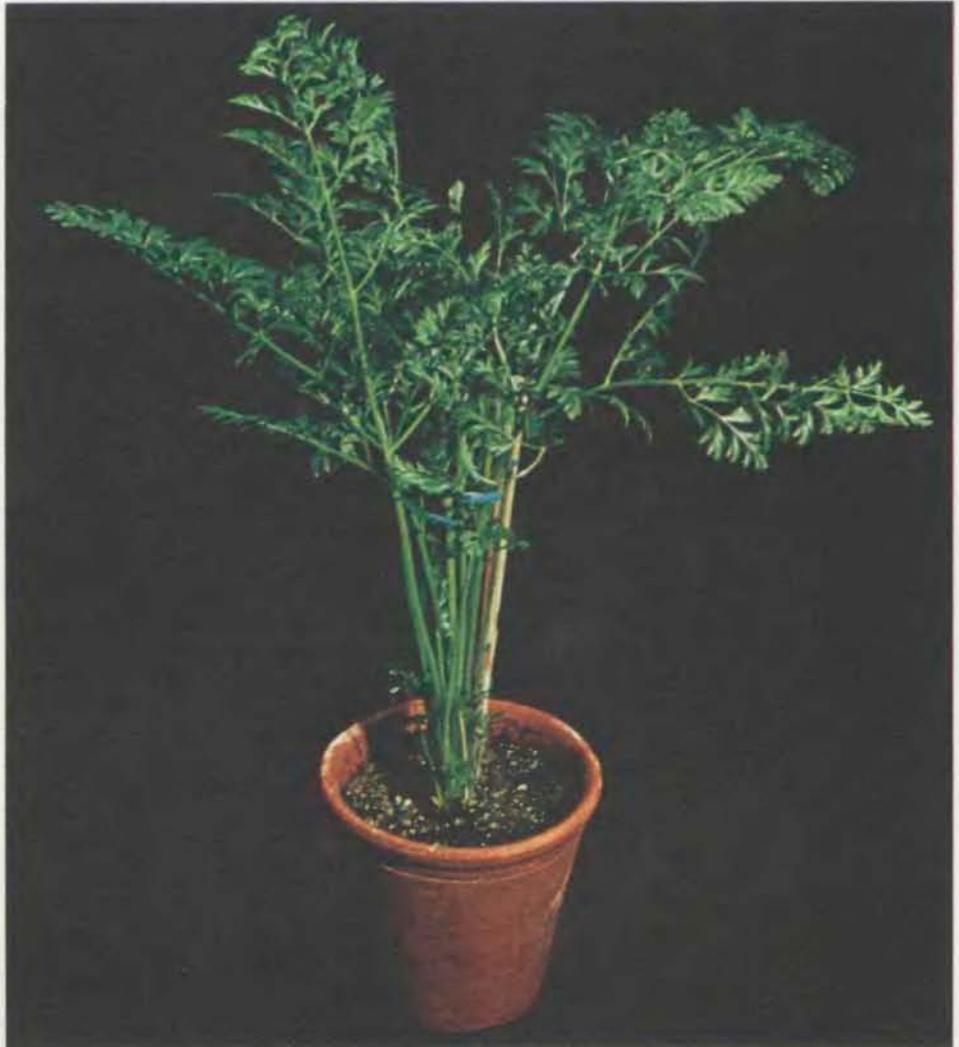
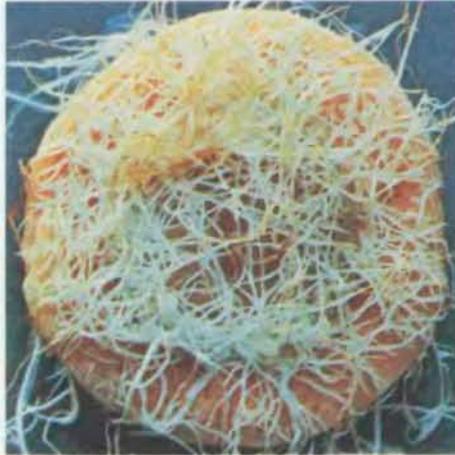
ОСТАНОВИМСЯ вкратце на стратегии введения чужого гена в растение с помощью Ti-плазмиды и *A. tumefaciens*. Все начинается с маленькой рекомбинантной плазмиды, удобной для клонирования в обычной кишечной бактерии *Escherichia coli*. В эту плазмиду вставляют определенный фрагмент Т-ДНК — так же, как при описанном выше направленном мутагенезе. Затем плазмиду разрезают эндонуклеазой в сайте, принадлежащем фрагменту Т-ДНК. В разрез встраивают кусочек ДНК, который, так сказать, поедет пассажиром. Он состоит из двух частей — чужеродного гена, который хотят ввести в растение, и какого-либо генетического маркера, скажем бактериального гена устойчивости к канамицину. Комбинированную плазмиду клонируют в большой плазмиде, которую и вводят затем в штамм *Agrobacterium*, несущий Ti-плазмиду дикого типа (т.е. немодифицированную). При размножении бактерий время от времени случается двойная рекомбинация, в результате чего возникает клон бактерий, в Т-ДНК которых содержится вставка «ДНК-пассажирки». Такие бактерии можно выявить и отобрать благодаря их способности жить на среде с канамицином уже после того, как рекомбинантная векторная плаزمиды утрачена. Отобранные бактерии вводят в растение, и их Т-ДНК вместе с «ДНК-пассажиркой» встраивается в клетки растения.

Множество экспериментов показало, что такая или ей подобная стратегия позволяет получить культуру генетически модифицированных клеток корончатого галла. Однако от трансформированной клеточной линии еще очень далеко до нашей цели — здоровых растений с нужными генетическими изменениями. Правда, уже удавалось иногда вырастить полноценные растения из клеток корончатого галла дикого типа, однако каждый раз они оказывались мутантами, утратившими практически всю Т-ДНК. Из этого следует, что присутствие генов Т-ДНК несовместимо с нормальным развитием растения, возможно, вследствие изменения уровня ауксина и цитокинина. Так реально ли регенерировать здоровое растение, в хромосомной ДНК которого была бы интегрирована Т-ДНК с геном-«пассажиром»?

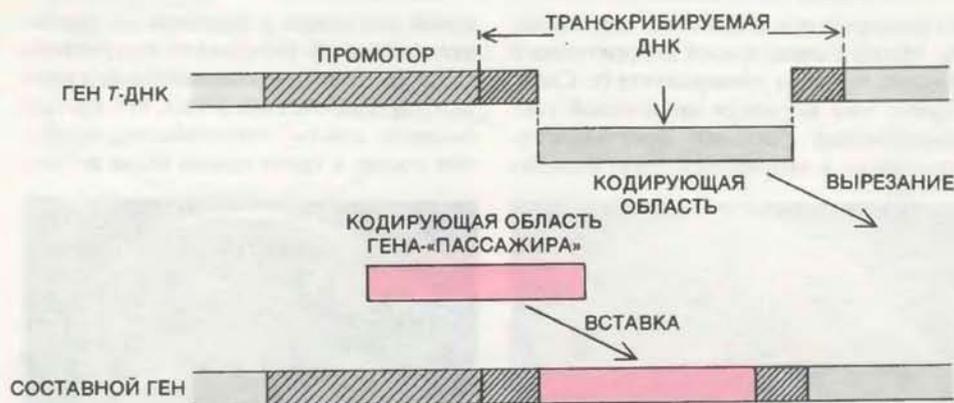
Один из возможных путей открыли неожиданные результаты, полученные недавно Э. Биннсом из Пенсильванско-

го университета, а также К. Бартоном, А. Мацке и мною в моей лаборатории в Вашингтонском университете (г. Сент-Луис). Мы встроили дрожжевой ген, кодирующий фермент алкогольдегидрогеназу, в «корневую» локуснопали-

новой плазмиды и заразили ею растение табака. В результате получилась культура клеток с «корневой» мутацией. Сюрприз состоял в том, что клетки были не совсем опухолевыми: чтобы они росли, в среду нужно было добав-



КЛЕТКИ МОРКОВИ, трансформированные Ri-плазмидой из *Agrobacterium rhizogenes*, регенерировали в здоровое растение. После трансформации плазмидной Т-ДНК из ломтика моркови выросло множество корневых волосков (вверху слева). Одиночный корешок перенесли в культуральную среду, где он разросся (вверху справа). На твердой культуральной среде корешок образует каллюс. Если каллюс перенести в жидкую среду, из него получится зародыш, который затем разовьется в целое растение (внизу). Другие виды растений тоже могут регенерировать из корневых волосков. Ri-плазмиды — естественный безвредный переносчик генов, с ее помощью можно получить генетически модифицированные здоровые растения. Фотографии Ж. Тампе (Парижский университет в Орсе).



СОСТАВНОЙ ГЕН приходится создавать для того, чтобы заставить чужеродный ген функционировать в клетках растения. Кодированная область гена Т-ДНК аккуратно удалена так, чтобы не затронуть промоторную область, регуляторную его транскрипцию, и сигнальные последовательности (*густо заштрихованы*), примыкающие к кодирующей области (они могут играть роль в регуляции процессинга мРНК, т.е. ее созревания). Кодированную область гена-«пассажира» вставляют между регуляторными участками, благодаря чему она сможет экспрессироваться.

лять цитокинин. Из этих клеток, сохранивших способность синтезировать нопалин и не нуждавшихся в добавлении ауксина, нам удалось вырастить целые растения табака. ДНК из этих растений содержала примерно 20 копий Т-ДНК в расчете на одну клетку и в каждой из этих копий было по встроенному эукариотическому гену алкогольдегидрогеназы! Наши растения не только не были делеционными мутантами, но клетки их несли рекордное количество копий Т-ДНК. После самоопыления эти растения дали семена, из них выросли здоровые растения, клетки которых содержали полноценную Т-ДНК со многими копиями дрожжевого гена. Мы сделали вывод, что «корневая» мутация каким-то образом обезвреживает нопалинную Т-ДНК, давая возможность трансформированным табачным клеткам регенерировать. Пока неясно, удастся ли опыт с другими типами Ti-плазмиды и другими видами растений. Так или иначе, нужны дальнейшие исследования.

БОЛЕЕ общий способ сделать безвредный вектор из Т-ДНК — удалить из нее все собственные гены Т-ДНК так, чтобы осталась только «ДНК-пассажирка» и некодирующие сигнальные прямые повторы. Такие векторы уже получены в нескольких лабораториях, в том числе и в моей; они должны подойти для многих растений, восприимчивых к инфекции *A. tumefaciens*.

Есть еще одно семейство плазмид *Agrobacterium*, которые можно использовать для получения здоровых генетически модифицированных растений. Эти плазмиды вызывают усиленное образование корешков у растений, зараженных *A. rhizogenes*, и называются Ri-плазмидами (от английского root-inducing — индуцирующий корни). Корешки, подобно ткани корончатого

галла, быстро растут в культуре в отсутствие бактерии. Ж. Тампе и его коллеги (Национальный институт агрономических исследований, Франция) показали, что в клетках корешков содержатся опины, а также несколько копий Т-ДНК. Очень важно, что Ri-плазмиды являются естественными безвредными векторами: они трансформируют растительные клетки таким образом, что те способны регенерировать в здоровые плодовые растения.

Итак, внедрив в геном клетки чужеродные гены, можно получить здоровые генетически модифицированные растения. Встает, однако, другой вопрос: будут ли эти гены функционировать, т.е. давать мРНК и белок в новом окружении? Пока что все эксперименты по переносу генов растений, животных, дрожжей и бактерий были безуспешны в этом отношении. Например, в регенерировавших растениях табака ген алкогольдегидрогеназы не экспрессировался (т.е. фермент не синтезировался). Экспрессия гена регулируется различными сигнальными последовательностями, которые примыкают к концам последовательности, кодирующей белок. Наиболее важна предшествующая гену промоторная область. Чтобы введенный чужой ген функционировал, сигналы, его окружающие, должны узнаваться растительной клеткой. Несколько лет назад удалось заставить бактерию синтезировать животный белок: в нее ввели «химеру» — составной ген, в котором регуляторная информация принадлежала бактериальному гену, а кодирующая область — гену животной клетки.

СОВСЕМ недавно в моей лаборатории, в Гентском университете, а также в Monsanto Company (г. Сент-Луис) получили аналогичный химерный ген, который мог функциониро-

вать в растительной клетке. Во всех трех лабораториях применили следующую методику. Вырезали кодирующую часть гена Т-ДНК, внедряли бактериальный ген устойчивости к канамичину между регуляторными последовательностями генов Т-ДНК и, наконец, ввели составной ген в Ti-плазмиду примерно так же, как это было описано выше. В трансформированных плазмидой растительных клетках бактериальный ген экспрессировался: они были устойчивы к таким концентрациям канамичина, которые убивали обычные клетки. Этот успех означает, что проблема экспрессии генов в модифицированных растениях в принципе разрешима. Когда мы больше узнаем о механизмах, определяющих активность генов растений, станет реальным не только добиваться экспрессии, но и регулировать ее, модифицируя промоторные области генов. Можно будет заставить ген работать только в листьях, или только в семенах, или только в ответ на какой-нибудь химический сигнал.

Пока еще не удалось совместить регенерацию и экспрессию в одном опыте, однако это, несомненно, произойдет в самое ближайшее время. И тогда возникнет необходимость отбирать и выделять гены, нужные для улучшения сельскохозяйственных культур. Задачи здесь очевидны — увеличить урожайность, повысить устойчивость к вредителям, холоду и засухе. Очевидны и трудности: пути поиска генов, контролирующих эти свойства, пока не известны. К тому же такие сложные признаки наверняка определяются несколькими генами, регуляция которых, вероятно, далеко не проста. Даже если мы и идентифицируем гены, непонятно, как выделить их с помощью методов ДНК-рекомбинации, ведь эти методы применимы только тогда, когда известен белок — продукт гена.

Есть, однако, и более доступная цель на ближайшее будущее — введение в сельскохозяйственные растения новых генов, определяющих устойчивость к гербицидам и пестицидам. Если растения смогут без вреда для себя переносить сильнодействующие химикалии, они будут давать лучший урожай, так как уменьшатся потери из-за сорняков и вредителей.

Применение Ti- и Ri-плазмид ограничено двудольными растениями, которые заражает *Agrobacterium*. Бактерии не способны инфицировать однодольные растения, в том числе злаки, к которым относятся важнейшие зерновые культуры. Причины устойчивости однодольных к заражению пока не выяснены. Мало что известно и о том, как Т-ДНК переходит из плазмиды в ядро растительной клетки и как она выбирает (и выбирает ли) участки для встраивания в хозяйскую ДНК. Необходимо

подробно изучить последовательность событий при инфекции, тогда мы сможем определить, на какой стадии блокируется инфекция у однодольных растений. В случае многих видов двудольных из клеток культуры ткани легко регенерирует целое растение. У однодольных регенерация удается редко и с большим трудом. Только в последнее время достигнуты определенные успехи с некоторыми важными зерновыми растениями, и полученные данные дают надежду добиться заражения однодольных Ti-плазмидой и получить векторы, способные функционировать в этих растениях.

НА ПРИМЕРЕ *Agrobacterium* мы убедились, что перенос чужеродной ДНК в хромосомы растений при помощи естественной Ti-плазмиды возможен. Но сумеют ли биологи подражать природному процессу, взяв плазмиду, выbranную и «сшитую» ими самими? Или симбиоз *A. tumefaciens* и Ti-плазмиды останется неповторимым созданием эволюции и естественного отбора? До сих пор все «поддельные» плазмиды, которые вводили в растительную клетку самыми разными способами, не могли встраивать свою ДНК в ДНК клетки-хозяина. Даже Ti-плазида терпит в этом смысле неудачу, когда ее искусственно вводят в протопласты табака (протопласты — это клетки, лишённые жесткой внешней стенки). Эффективность включения T-ДНК в этом случае очень низка, а концы вставки устроены аномально; по видимому, обычный механизм интеграции в протопластах не работает*.

Agrobacterium прекрасно умеет переправлять T-ДНК в ядро растительной клетки. Как же ему это удается? Возможно, бактерия имеет специальный фермент, который вырезает T-ДНК из плазмиды. Важно, вероятно, и состояние, в котором T-ДНК попадает в ядро. Ее молекула может быть линейной или кольцевой, одно- или двуничатой, свободной или связанной с бактериальными белками; она может реплицироваться в растительной клетке независимо или же сразу интегрировать в ее геном. Не исключено, что инфекционные бактерии каким-то способом переводят растительную клетку в особое, благоприятное для внедрения ДНК состояние или же, наоборот, об-

ладают специфическим сродством именно к восприимчивым клеткам. Важную роль при вырезании T-ДНК из плазмиды или же при внедрении ее в хозяйскую ДНК должны играть сигнальные последовательности на концах T-ДНК; какая структура узнает эти сигналы и которому из двух организмов она принадлежит, пока не известно.

Несмотря на изобилие загадок, Ti-плазида — пока единственный эффективный вектор для введения генов в высшие растения. Она стала важным инструментом фундаментальных исследований, не говоря уже о тех огром-

ных перспективах, которые открывает ее использование для улучшения культурных растений. Плазида дает возможность манипулировать генами растений, изучать их структуру и механизмы регуляции. Содержащимися в ней генами контроля уровня растительных гормонов можно воспользоваться для изучения развития растений. Наконец, именно для T-ДНК впервые была доказана возможность естественной рекомбинации между ДНК бактериальной плазмиды и хромосомами растения, что открыло не известный ранее путь эволюции — горизонтальный перенос генов.

Издательство МИР предлагает:

Р. Хейвуд
ТЕРМОДИНАМИКА
РАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ

Перевод с английского

Р. Хейвуд
ТЕРМОДИНАМИКА
РАВНОВЕСНЫХ
ПРОЦЕССОВ

Среди достаточно многочисленных монографий и учебных руководств, посвященных рассматриваемому предмету, книга профессора Кембриджского университета Хейвуда выделяется тем, что она заставляет по-иному взглянуть на совершенное «здание» термодинамики. Этот труд — плод многолетнего преподавания инженерной термодинамики. В нем логика аксиоматических построений и доказа-

тельства теорем сочетаются с анализом действия конкретных тепловых машин. Такое органическое сочетание абстракции с инженерным расчетом — явление редкое в современной научной литературе.

Книга адресована в большей мере инженерам, чем научным работникам, хотя многие ее разделы представляют интерес как для физиков, так и для химиков.

1983, 35 л. Цена 5р. 20к.



* В конце 1982 г. была опубликована работа группы Шилперорта из Лейденского университета, посвященная трансформации протопластов табака после введения чистой ДНК Ti-плазмиды. Авторы предложили воспроизводимую методику получения стабильно трансформированных табачных протопластов и доказали, что ДНК Ti-плазмиды в отсутствие *A. tumefaciens* или каких-либо ее компонентов способна вызывать образование опухолей. — Прим.перев.

Гигантские вулканические кальдеры

Гигантские кальдеры — это кратеры диаметром в десятки километров, оставшиеся после вулканических извержений. За всю историю человечества не произошло ни одного такого мощного извержения. В течение последнего миллиона лет образовалось, вероятно, не более десяти таких кальдер

ПИТЕР ФРЭНСИС

ПРИ ИЗВЕРЖЕНИИ вулкана Сент-Хеленс (на юге шт. Вашингтон) 18 мая 1980 г. из земных недр было исторгнуто 6 км³ магмы и образовался кратер диаметром 2 км; это извержение заслуженно относят к событиям грандиозным. Какими же словами можно было бы описать извержение, которое произошло в 950 км к востоку от горы Сент-Хеленс примерно 600 тыс. лет назад? Тогда изверглось около тысячи кубических километров пемзы и вулканического пепла и появилась вытянутая кальдера длиной 70 км (испанским словом *caldéra* — «котел» — называют большие вулканические кратеры). Маскирующее действие растительности и оледенения сделало ныне следы этого извержения очень трудно различимыми; наиболее очевидное свидетельство былой вулканической активности этого района — гейзер Олд-Фейтфул («Старый служака») в Йеллоустонском национальном парке. Тем не менее весь Йеллоустон — результат вулканических процессов крупного масштаба: это возрождающаяся кальдера, т.е. кальдера, днище которой в течение тысячелетий после извержения медленно выпячивается в виде купола. Возрождающиеся кальдеры далеко превосходят по размерам все другие кальдеры, известные на Земле. Таким образом, вулканические извержения, подобные тому, которое образовало кальдеру Йеллоустона, относятся к категории величайших природных катастроф, сравнимых по значению разве что с падением астероида.

К счастью, такие явления редки. За несколько тысяч лет документированной истории не произошло ни одного такого события, а на территории США, насколько известно, за последний миллион лет было только три подобных извержения. Кроме Йеллоустонской кальдеры имеются еще кальдеры Лонг-Валли в шт. Калифорния

(возраст около 700 тыс. лет) и кальдера Вальес в шт. Нью-Мексико, образовавшаяся 1 млн. лет назад. (Кальдера Лонг-Валли привлекает особое внимание, так как в ее районе отмечен ряд небольших землетрясений.) Следы извержений такого же возраста иногда обнаруживаются в других частях света, однако едва ли во всем мире за последний миллион лет их было больше десяти. В то же время в результате детального картирования гор Сан-Хуан в шт. Колорадо, проведенного Т. Стивенсом и П. Липманом из Геологической службы США, обнаружено по меньшей мере 18 кальдер, возраст которых от 20 до 30 млн. лет. Много других кальдер примерно того же возраста найдено в южной части Нью-Мексико, в Аризоне и Неваде. За последнее десятилетие вулканологи быстро продвигались в понимании происхождения гигантских возрождающихся кальдер и катастрофических извержений, послуживших причиной их образования.

ГЛАВНЫЙ механизм формирования кальдер достаточно ясен. Быстрое удаление больших объемов магмы из магматической камеры, находящейся на глубине нескольких километров от земной поверхности, сразу же лишает кровлю этой камеры необходимой под-

держки. В результате кровля обрушивается, оставляя на поверхности кальдеру. В классической работе по вулканической геологии Шотландии, опубликованной в 1909 г., Ч. Клаф, Г. Моф и Э. Бейли* дали первое описание процесса, названного ими «проседанием кальдеры». Этот процесс может иметь различный масштаб, и диаметр возникающих кальдер колеблется от нескольких километров до 50 км и более.

Помимо больших размеров характерной особенностью возрождающейся кальдеры является медленное воздымание ее днища, которое связано, вероятно, с внедрением новой порции магмы в магматическую камеру, послужившую причиной образования начальной кальдеры. Величина вертикального поднятия иногда бывает больше километра. Следовательно, в отличие от обычного вулкана возрождающаяся кальдера представляет собой широкую депрессию с воздымающимся центральным массивом. Явление «возрождения» древних кальдер было обнаружено в 1939 г. известным

* Clough C.T., Maufe H.B., and Bailey E.B. The cauldron subsidence of Glen Coe, and the associated igneous phenomena. — Geol. Soc. London, Quat. J., 1909, v. 65, p. 611-678. — *Прим. перев.*

КАЛЬДЕРА СЕРРО-ГАЛАН на северо-западе Аргентины осталась неопознанной при обычной геологической съемке, но была обнаружена на этом ложно-цветном снимке, сделанном с одного из спутников «Ландсат» на высоте 900 км. Огромный размер кальдеры не позволил опознать ее иным способом. Кольцевой вал кальдеры, местами покрытый снегом, образует эллипс размером 34 км по длинной (меридиональной) оси. Центральная часть, также покрытая снегом, представляет собой поднятие, вершина которого имеет высоту 6 км над уровнем моря. Это поднятие (центр воздымания) существует благодаря тому, что подземное накопление свежей магмы, идущее в течение многих тысяч лет после происшедшего здесь катастрофического извержения, постепенно приподнимает днище кальдеры. Сероватая, густо изоборожденная оврагами местность, окружающая северную половину кальдеры, — сильно размывтые остатки огромного шлейфа, образованного толщей игнимбритов (породы, состоящей из пемзы и пепла, выброшенных из жерла вулкана при извержении).



голландским геологом Р. ван Беммеленом при изучении кальдеры Тоба на севере Суматры. По оценке Беммелена, дно этой кальдеры опустилось не меньше чем на 2 км, в результате чего образовалось глубокое озеро, но позднее земная поверхность поднялась на несколько сот метров, и в середине озера появился остров, который называется Самосир. В настоящее время Тоба — крупнейшая из известных возрождающихся кальдер: ее наибольший размер составляет около 100 км. Однако изучена Тоба сравнительно мало, и детали ее новой активизации («возрождения») выявлены главным образом специалистами Геологической службы США, которые исследовали кальдеры на юго-западе США. Термин «возрождающаяся, или восстающая (resurgent), кальдера» введен (в 1962 г.) также сотрудниками этой организации Р. Смитом и Р. Бейли.

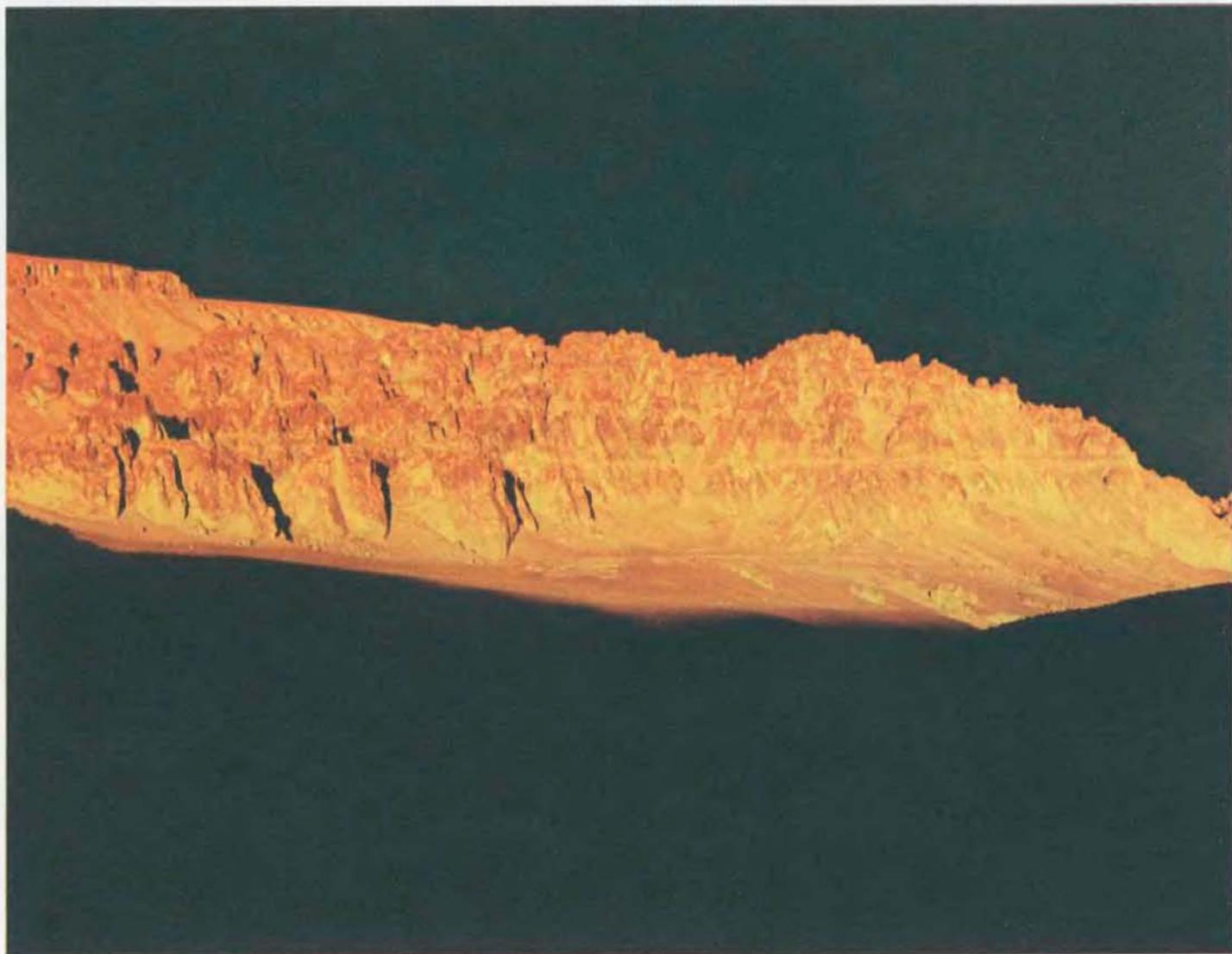
Еще одна особенность возрождающихся кальдер обусловлена самим ха-

рактером вулканических процессов. При любом вулканическом извержении магма, достигая поверхности, может извергаться тремя путями: в виде лавы, в виде выбрасываемого в воздух пеплового материала и в виде пирокластического потока. Лава — это просто магма, достигшая земной поверхности; она растекается, как жидкость, и, затвердев, становится эффузивной породой (мелкокристаллической или даже стекловатой). В зависимости от состава магмы образуются разные породы: от базальта — темно-черного материала, сравнительно бедного кремнеземом (SiO_2), — через андезит и дацит до риолита — светло-серого материала, богатого кремнеземом. Пепловый материал состоит из кусков пемзы (пористого, стекловатого вещества), выбрасываемых вместе с более мелкими частицами вулканического песка и пыли. (Термин «пыль» обычно относится к частицам с размером меньше 4 мкм. Частицы размером

от 4 до 63 мкм называют тонким песком или тонким пеплом.) Этот материал образуется, когда куски затвердевшей магмы выносятся в атмосферу очень горячими восходящими струями конвектирующих газов.

Пирокластические потоки («палящие тучи») также состоят из пемзы, пепла и пыли. Однако в этом случае вулканический материал образует раскаленное, прижатое к земле облако, которое мчится, обтекая неровности рельефа, со скоростью до 100 м/с. Подвижность этого облака создается горячим газом. Часто такое облако отлагает обломки (кlastы) пемзы на удалении нескольких десятков километров от места извержения.

При большинстве вулканических извержений происходят излияние лавы и выброс пепла; пирокластические потоки образуются реже. Однако при тех извержениях, в результате которых появляются возрождающиеся кальдеры, возникновение пирокластических пото-



ИГНИМБРИТОВЫЙ УТЕС, высотой почти в полкилометра, обнажился в результате эрозии игнимбритового шлейфа примерно в 20 км к западу от края кальдеры Серро-Галан. Каждый горизонтальный пласт представляет собой мате-

риал, отложенный при отдельном извержении; самый верхний пласт сложен материалом, отложившимся примерно 2,6 млн. лет назад при извержении, создавшем кальдеру Серро-Галан.

ков объясняется несравненно большей долей выбрасываемых пирокластов. Действительно, в только что сформировавшейся кальдере накапливающиеся отложения пирокластических потоков часто имеют мощность более 1 км. В подошве этого нагромождения обломки пемзы, как правило, размягчаются и спекаются, создавая своеобразную, ни на что не похожую породу. В 1935 г. П. Маршалл, изучая такие породы, образованные пирокластическими потоками в Новой Зеландии, назвал их игнимбритами («отложениями огненных ливней»). Этот термин используется теперь для всех отложений пемзосодержащих пирокластических потоков, независимо от того, состоит ли порода из спекшихся или из неспекшихся обломков. Мощные толщи спекшихся игнимбритов — верный признак, указывающий положение древней кальдеры.

ВОЗРОЖДАЮЩИЕСЯ кальдеры имеют огромные размеры; чрезвычайно велик и объем материала, выброшенного при извержениях, которые привели к их образованию. Тем не менее распознать возрождающуюся кальдеру совсем не легко. Во многих случаях такие кальдеры «маскируются» самим своим размером. Несколько лет назад М. Бейкер и я, работая сначала в Открытом университете в Англии, а затем в Институте Луны и планет в Хьюстоне, занялись поисками кальдер в Андских кордильерах Южной Америки по снимкам, сделанным со спутников «Ландсат» (на высоте 900 км). Космические снимки имеют большое преимущество по сравнению с обычными аэрофотоснимками: с высоты полета космического аппарата удается наблюдать обширные районы Земли, что невозможно сделать никаким иным способом. Нам удалось распознать две крупные кальдеры, которые остались незамеченными при геологической съемке.

Наиболее впечатляющая из этих двух структур — кальдера Серро-Галан в северо-западной Аргентине — имеет диаметр 34 км и окружена громадным игнимбритовым шлейфом, протягивающимся на 70 км от края кальдеры. Позднее мы узнали, что эту кальдеру отметили также Дж. Фридман из Геологической службы США и Г. Хайкен из Джонсоновского космического центра, которые анализировали фотоснимки, полученные с космической станции «Скайлэб-4» в 1974 г. Кальдера настолько молода (2,6 млн. лет) и ее строение устанавливается настолько однозначно, что у нас почти не возникло сомнений о ее природе.

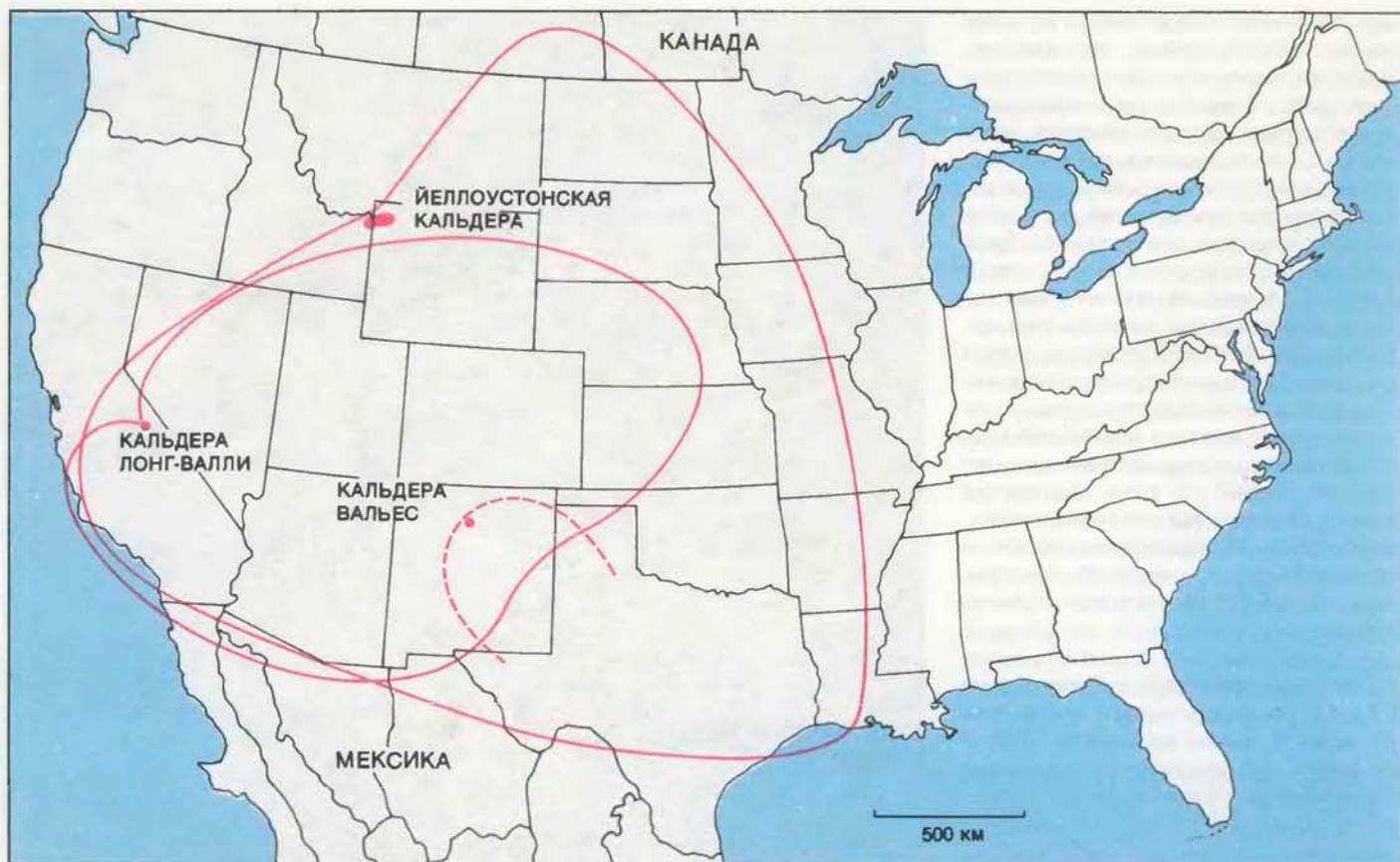
Вторая кальдера видна на снимках со спутников «Ландсат» хуже. Материалы, которые мы изучали, позволили предположить, что горный массив



СПЕКШИЙСЯ ИГНИМБРИТ (в натуральную величину). Снимок сделан на склонах кальдеры Вальес в шт. Нью-Мексико. Темные полосы — расплюснутые обломки, или класты, стекловатой пемзы. Они размягчились и спеклись под действием тепла пирокластического материала, отложенного при извержении. Теперь эти обломки заключены в массу твердой плотной породы.



НЕСПЕКШИЙСЯ ИГНИМБРИТ на склонах кальдеры Серро-Галан. Обломки пемзы находятся в массе вулканического пепла и пыли. Их можно вынуть рукой.



ПЕПЛОВЫЕ ДОЖДИ, выпавшие при трех извержениях, сформировавших возрождающиеся кальдеры на территории США за последний миллион лет: кальдера Вальес (шт. Нью-Мексико) возникла около миллиона лет назад, кальдера Лонг-Валли (шт. Калифорния) — 700 тыс. лет назад, а

кальдера Йеллоустон (шт. Вайоминг) — 600 тыс. лет назад. Картирование выполнили в основном Г. Айзетт и его коллеги из Геологической службы США; предполагаемая граница распространения пепловых отложений кальдеры Вальес показана пунктирной линией.



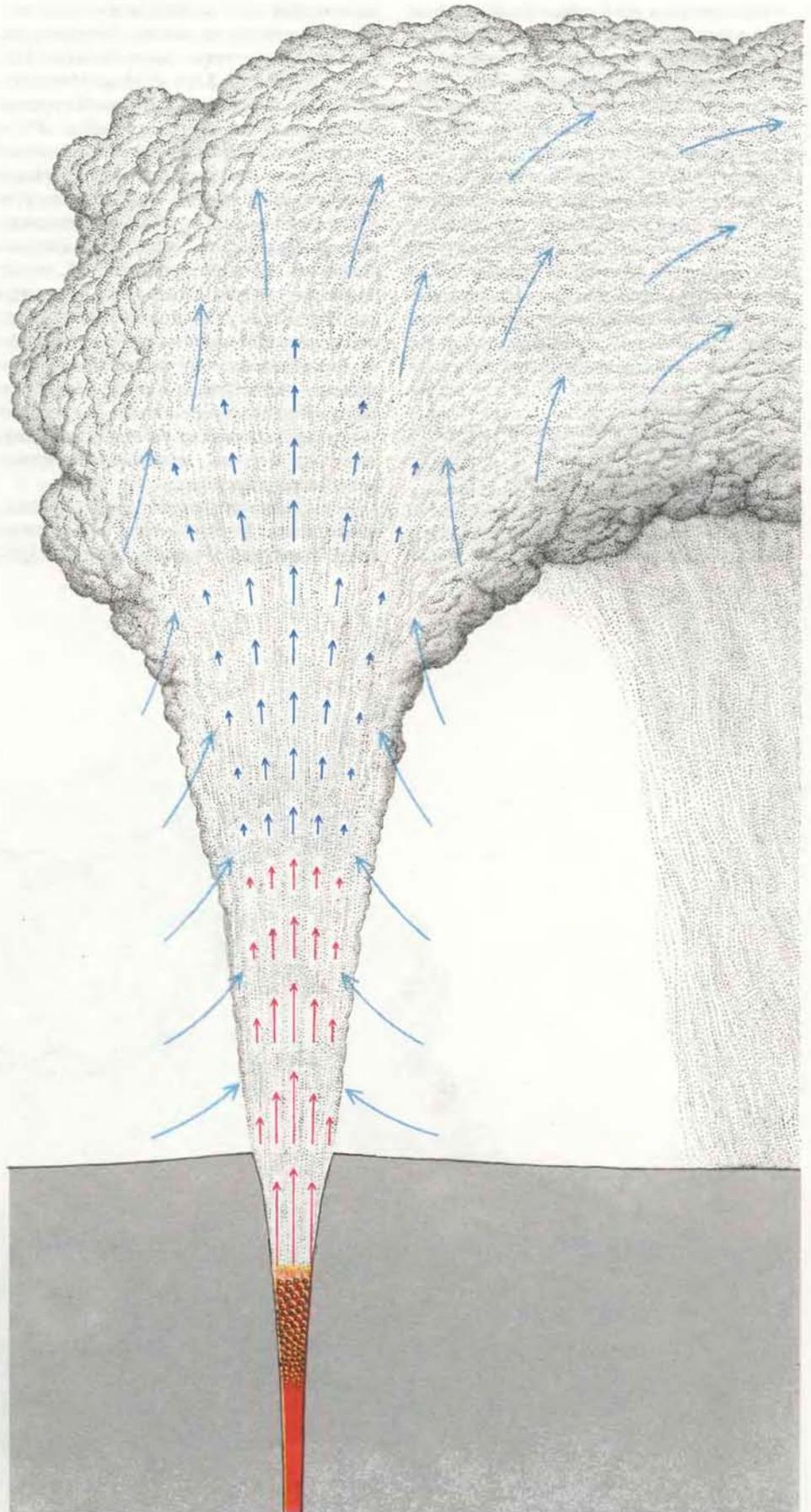
ПЕПЕЛ ИЗ КАЛЬДЕРЫ ТОБА на Суматре выпал 75 тыс. лет назад в районе, включающем большую часть Бенгальского залива, часть территории Суматры, острова Шри Ланки и Индии. Область распространения пепловых отложений

определена группой специалистов под руководством Д. Нинковича из геологической обсерватории Ламонт-Догерти Колумбийского университета. Кальдера Тоба — самая молодая и самая крупная из известных кальдер.

Кари-Кари в Боливии высотой 5 км представляет собой, вероятно, центр возрождения большой, древней кальдеры. По данным же проведенной раньше геологической съемки, массив Кари-Кари интерпретировался как батолит — крупное тело крупнокристаллических изверженных пород, затвердевших в недрах земной коры и затем обнаженных в результате эрозии. Проведенные нами в этом районе полевые работы подтвердили наш предварительный вывод о том, что массив Кари-Кари — центр возрождающейся кальдеры. Текстура спекания, характерная для пород этого массива, позволила уверенно определить их как игнимбриты. Найденный центр возрождения — сохранившееся свидетельство существования кальдеры, имевшей первоначально размер около 36 км в наибольшем измерении; ее возраст — 20 млн. лет. В центральных Андах мы нашли еще несколько кальдер, однако их полевое исследование будет длительным и трудным.

НА ПЕРВЫЙ взгляд может показаться, что самым подходящим местом для извержений, служащих причиной появления возрождающихся кальдер, должна быть зона субдукции — пограничная зона на земной поверхности, где плита океанической коры проскальзывает под континентальную плиту и погружается в подстилающую мантию. Известно, что зоны субдукции — это районы высокой сейсмической и вулканической активности. Кальдера Тоба на Суматре расположена именно в таком районе. Однако в большинстве случаев геологическая обстановка устанавливается гораздо менее четко. Например, молодые кальдеры на территории США обычно находятся в сотнях километров от современных зон субдукции.

Тем не менее возрождающиеся кальдеры распределены по земному шару не случайно. Характерные для них игнимбриты образуются в результате извержений дацитовой или риолитовой магмы — вязкой, богатой кремнеземом и выплавляющейся, как правило, в районах с мощной континентальной корой. Возрождающиеся кальдеры могут формироваться, следовательно, в районах развития континентальной коры, где через мантию проходит «термальный плюм» (канал интенсивного теплопереноса), создающий на поверхности «горячую точку» (hot spot). Поступление тепла должно быть достаточно интенсивным и продолжительным, чтобы большой объем пород мог расплавиться. Непосредственно под действием мантийного «плюма» континентальная кора не плавится. Расплавленной оказывается часть мантийного материала, образующая базальтовую магму. Базальтовая магма поднимается, расплавляя породы на меньшей глубине.



ПЛИНИАНСКИЙ СТОЛБ возникает при крупных вулканических извержениях в тех случаях, когда скорость удаления материала из магматической камеры велика, извергающаяся магма содержит много растворенного газа, а жерло, через которое магма вырывается на поверхность, узкое — диаметром, возможно, 50—100 м. На глубине около 1 км газ выходит из раствора, при этом в магме возникают взрывы, и она превращается в раскаленную пензу и пепел. Твердые куски выбрасываются вверх баллистически (сплошные красные стрелки) и образуют нижнюю часть плининского столба. Верхняя часть этого столба вздымается на много километров выше (сплошные синие стрелки).

Рассмотрим некоторые характерные кальдеры. В США Йеллоустонская кальдера лежит на северо-восточном конце пояса вулканической активности, который начинается в шт. Айдахо базальтами долины реки Снейк. За последние 15 млн. лет центр вулканической деятельности сместился вдоль этого пояса к его нынешнему положению в шт. Вайоминг. Возможно, это произошло вследствие движения плиты*, включающей континентальную кору Северной Америки, над «термальным плюмом», устойчиво сохраняющимся в мантии. Ряд других кальдер, возраст которых не более нескольких десятков

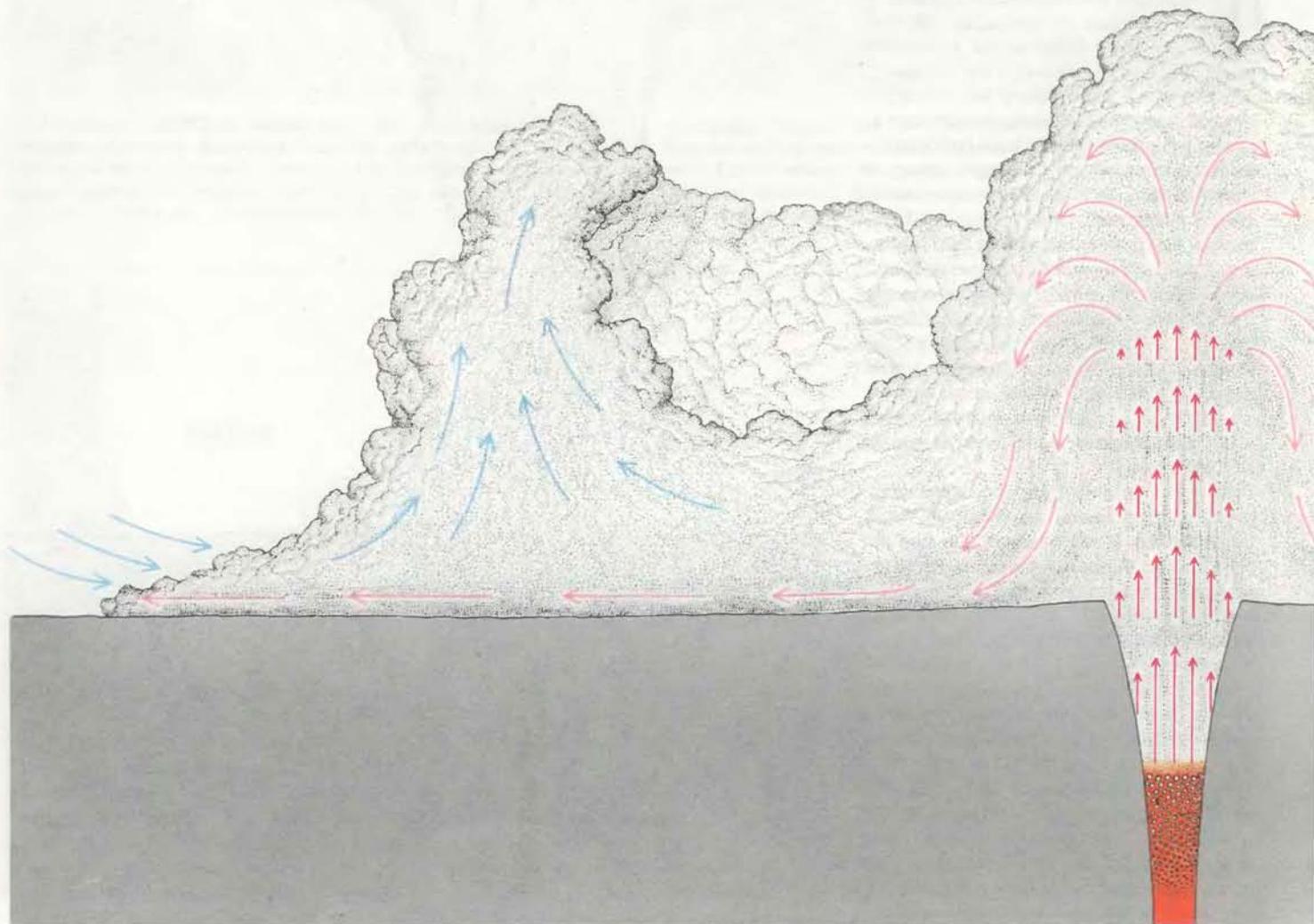
* Речь идет о горизонтальных движениях «литосферных плит» — крупных блоков, включающих земную кору и часть верхней мантии. Представление о существовании и относительных движениях таких блоков — основной постулат теории «тектоники плит». — *Прим. перев.*

миллионов лет, найден в пределах полосы шириной в сотни километров, включающей территорию штатов Невада, Аризона, Юта и Нью-Мексико. Самая молодая из кальдер этой группы находится на бортах рифта Рио-Гранде, который протянулся на сотни километров к северу через Нью-Мексико и Колорадо. По-видимому, в районе рифта Рио-Гранде толщина континентальной коры оказалась каким-то образом сокращенной, что и привело к возникновению самого рифта. Считается, что подобный процесс послужил причиной образования рифтов в океанической коре многих островных дуг в Тихом океане. В районе рифта Рио-Гранде уменьшение толщины коры позволило теплу, поступающему из мантии, сильно воздействовать на горные породы.

Возможны и другие геологические обстановки. В Аргентине и Боливии возрождающиеся кальдеры сформиро-

вались не только вдоль главной вулканической кордильеры Анд, но и еще в одной горной цепи, расположенной на удалении более чем 200 км от океанического побережья. Здесь признаки уменьшения толщины коры не обнаружены. Наоборот, под кальдерами Серро-Галан и Кари-Кари ее мощность достигает 40—50 км. Полагают, что каналы проникновения магмы к поверхности континентальной кордильеры развивались благодаря местным растягивающим напряжениям: растрескивание коры вызывалось давлением магмы, двигавшейся вверх благодаря своей плавучести.

В ЭВОЛЮЦИИ типичной кальдеры можно выделить ряд этапов: образование предкальдерного купола, обрушение кальдеры, извержение пеплового материала и возникновение пирокластических потоков, послекальдерное возрождение и, наконец, на



ПИРОКЛАСТИЧЕСКИЙ ПОТОК («палящая туча») образуется при вулканических извержениях в тех случаях, когда скорость удаления материала из магматической камеры уменьшается, извергающаяся магма содержит мало газа или ког-

да жерло расширяется. Часто пирокластический поток возникает в результате обрушения плингианского столба, после чего частицы вулканического вещества поднимаются в воздух только под действием силы взрыва (т.е. баллистичес-

поздней стадии излияние лавы. Предкальдерное куполообразование — это воздымание земной поверхности, предшествующее крупному вулканическому извержению. Такое поднятие происходит тогда, когда большая масса магмы внедряется в верхние горизонты континентальной коры, создавая плутон (магматическую камеру), кровля которого может оказаться всего лишь в 4 — 5 км от поверхности. Образование купола порождает в поверхностных породах поле местных растягивающих напряжений; эти напряжения играют важную роль на следующем этапе — при обрушении кальдеры.

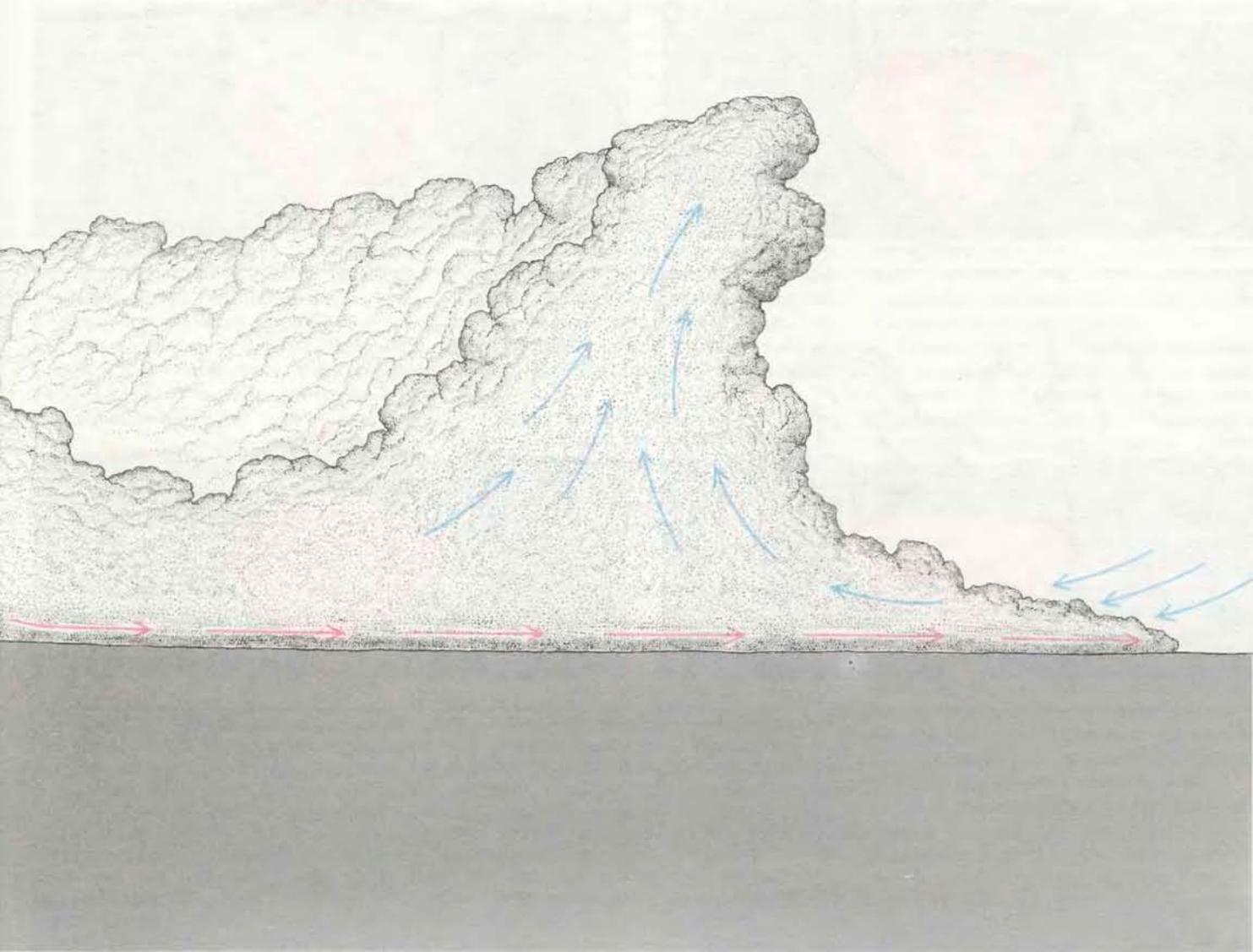
Существует, однако, одна неясность. Магма выходит на поверхность по огромным кольцевым трещинам, возникающим над периметром плутона. Связано ли растрескивание пород кровли плутона с направленным вверх давлением этого плутона? Извержение

магмы должно привести к появлению подземной полости, в которую и оседает кровля. Или же кровля плутона погружается в магму и в ходе этого процесса открывается кольцевая трещина, по которой начинается извержение магмы? Т. Дрюит и Р. Спаркс из Кембриджского университета утверждают, что независимо от того, является ли проседание кальдеры причиной или следствием извержения, кольцевая трещина, которая становится стенкой кальдеры, должна быть вертикальной или должна с возрастанием глубины отклоняться в стороны от центра (в виде колокола) в соответствии со скоростью извержения и характером обрушения кровли. Такое проседание можно сравнить с движением поршня вниз в цилиндре двигателя.

В верхней части плутона магма имеет температуру 700—1000 °С и обогащена растворенными в ней газами, преимущественно водяным паром. Магма

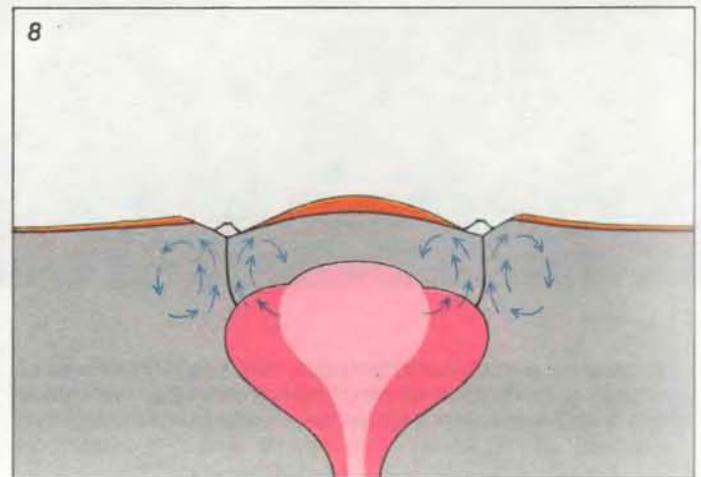
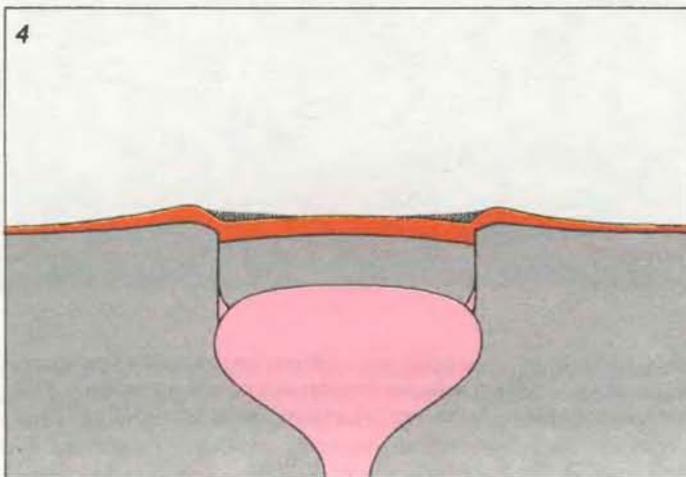
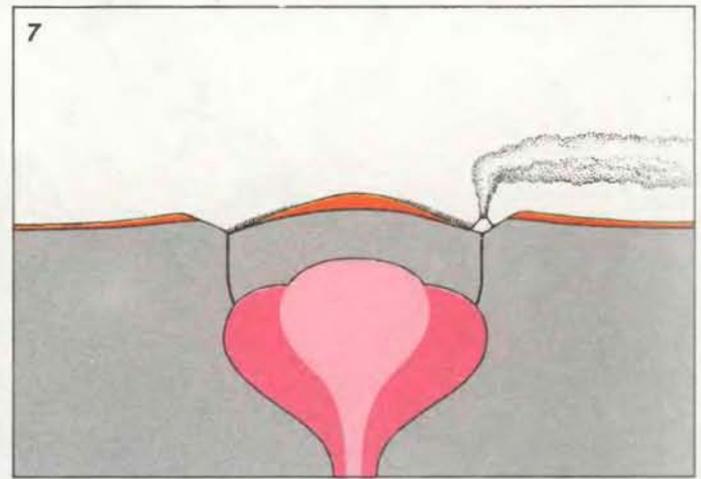
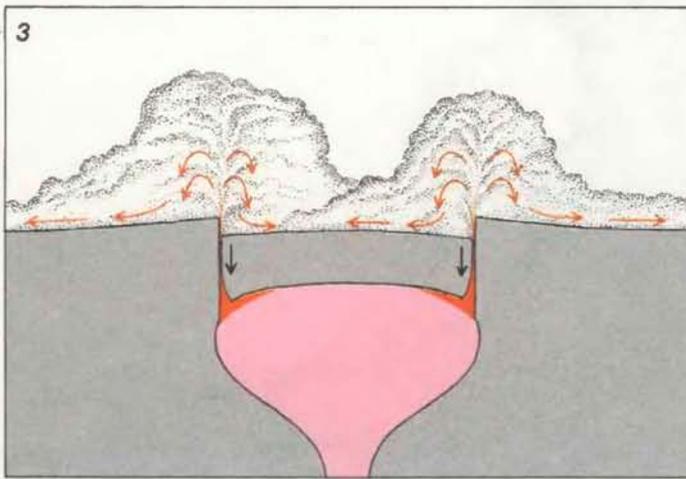
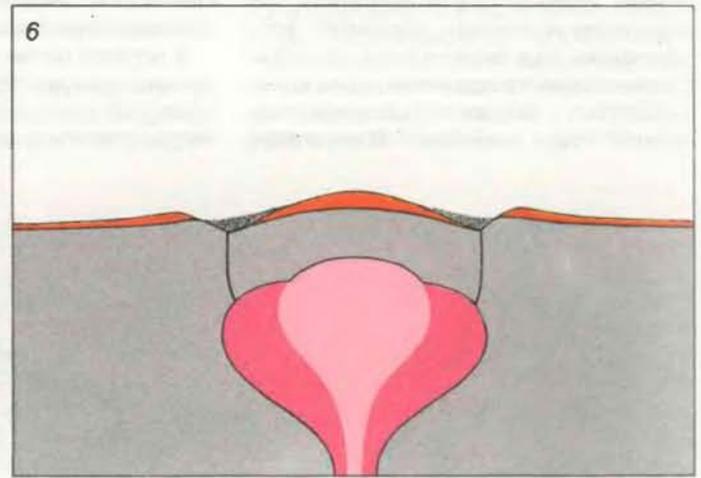
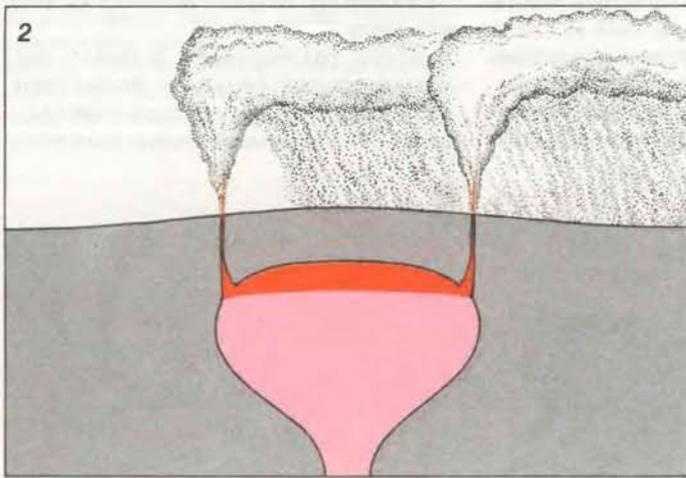
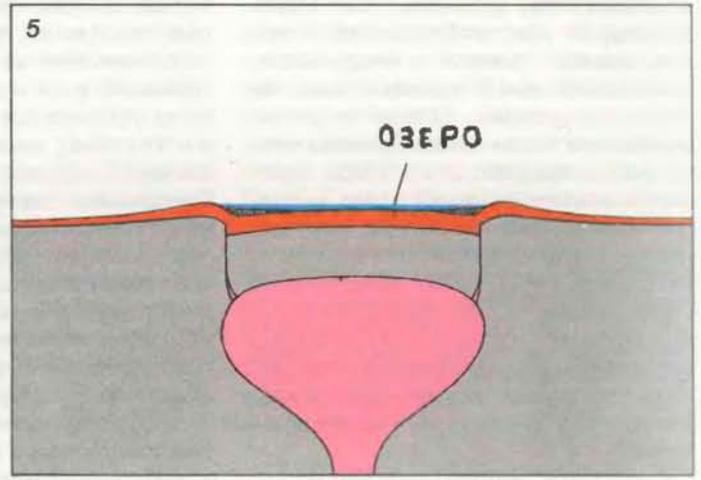
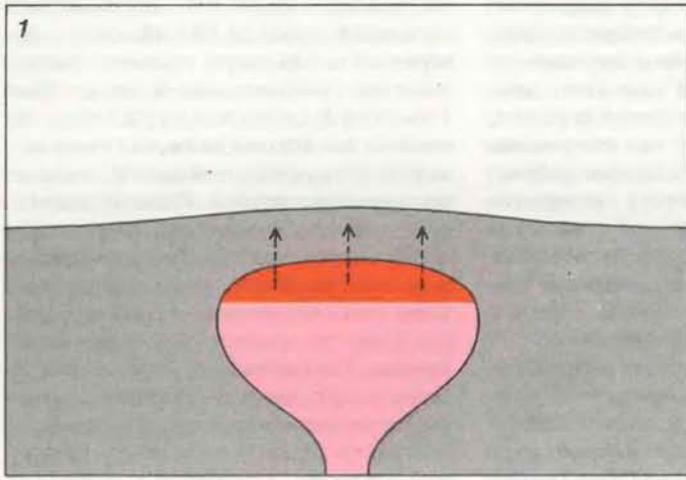
по новой, только что открывшейся кольцевой трещине поднимается к поверхности. По мере подъема магмы давление уменьшается и на глубине 1 км газы выделяются из раствора. Во многом это похоже на то, как газ выходит из бутылки шампанского, когда из нее вылетает пробка. Однако дацитовая или риолитовая магма имеет гораздо большую вязкость, чем шампанское (или даже чем базальтовая магма), поэтому газы не просто вспенивают магму, а рвут ее в клочья и выбрасывают наружу. Развивающийся при этом процесс сложен, но результат достаточно прост: покидающая плутон магма у поверхности резко расширяется, превращаясь в пемзу, и дробится взрывами на раскаленные твердые обломки разных размеров.

Чтобы разобраться в явлениях, возникающих при большом извержении, которое приводит к образованию кальдеры, необходимо изучить поведение



ки — сплошные красные стрелки), а затем падают на землю и создают здесь поток пирокластов: горячие газы сообщают прижато к земной поверхности облаку раскаленных ча-

стиц подвижность и текучесть. Этот поток может преодолеть горные гряды километровой высоты и проходить 150-километровые расстояния со скоростью около 100 м/с.



раскаленной смеси из пыли, пемзы, пемзы и высвободившихся газов, когда эта смесь вырывается на поверхность. Кинетика этого процесса была проанализирована специалистами под руководством Г. Уолкера из Имперского колледжа науки и техники. Из этой группы следует особо отметить Р. Спаркса (Кембриджский университет), Л. Уилсона (Ланкастерский университет) и К. Уилсона (Оклендский университет). Они показали, что, когда скорость извержения высока, а жерло сравнительно узкое (возможно, диаметром 50—100 м), возникает эруптивный столб (вертикальное или наклонное плотное облако, состоящее из обломочно-газовой смеси), поднимающийся в атмосферу на десятки километров. (Эруптивный столб, поднявшийся при извержении вулкана Сент-Хеленс 18 мая 1980 г., достиг высоты около 20 км.)

Следует подчеркнуть, что в этом столбе обломки пемзы не просто «выстреливаются» вверх из жерла, как картечь из ружья. Непосредственно над жерлом энергия столба действительно в основном кинетическая. Скорость движения вверх составляет сотни метров в секунду. Однако при подъеме обломков пемзы их скорость резко уменьшается, что связано не только с действием силы тяжести, но и с аэродинамическим сопротивлением. Затем второй процесс из тормозящего фактора становится источником энергии. Замедляющийся поток раскаленной пемзы, пемпы и газа увлекает за собой окружающий воздух и нагревает его. Вся смесь приобретает плавучесть (подъемную силу) и начинает подниматься уже в результате конвекции. При этом скорость подъема может даже снова возрасти. Эруптивные столбы, или колонны, поднимающиеся как восходящие струи конвективного потока, хорошо известны. Они составляют характерную особенность вулканических извержений, которые относят к плинианскому типу. Это название связано с име-

нем Плиния Старшего, чье описание извержения Везувия в 79 г. н.э. было первым документированным наблюдением этого феномена*. В результате конвекции эруптивный столб может достигать высоты 50 км.

ПОЯВЛЕНИЕ колоссальных эруптивных (плинианских) столбов может предвещать начало катастрофического обрушения, создающего кальдеру. Однако в ходе самого извержения эти столбы, как правило, приводят к образованию пирокластических потоков, на которые приходится львиная доля всего объема извергающегося вещества. Причин здесь может быть несколько. В результате взрыва в начальной фазе извержения или в результате обрушения днища кальдеры размер жерла может увеличиться. Когда извержение затронет более низкие горизонты плутона, содержание газа в магме уменьшится. В этих условиях плинианскому столбу трудно удержаться. Его вещество становится плотнее окружающего воздуха и вскоре обрушивается на землю. Иначе говоря, у массы раскаленной пемзы и газа остается только первичная, баллистическая составляющая движения вверх. Такая масса все еще может подняться до высоты 10 км, но без поддерживающего конвективного потока она должна выпасть каменным дождем вокруг жерла.

Тогда-то и образуются пирокластические потоки. Они создаются из падающего материала и гигантскими волнами расходятся от того места, где это вещество должно было достигнуть земли. Их подвижность чрезвычайно

* Здесь, видимо, неточность в тексте. Плиний Старший, автор «Естественной истории», погиб при этом извержении. Описание извержения Везувия и обстоятельства смерти Плиния Старшего содержится в письмах его племянника, Плиния Младшего, к историку Тациту. См.: сб. «Письма Плиния Младшего» в 10-ти книгах, кн. 6. — М. — Л.: изд-во АН СССР, 1950. — *Прим. перев.*

высока. По размещению отложенных такими потоками игнимбритов установлено, что эти потоки могут преодолевать горные гряды высотой 1 км и разносить материал на расстояние до 150 км. Ни одного из крупных пирокластических потоков в действительности наблюдать не удалось, но их способность взбираться на горные гряды позволяет считать, что такие потоки имеют скорость примерно 100 м/с. Потоки меньшего размера, образовавшиеся на поздних стадиях извержения вулкана Сент-Хеленс, имели скорость около 30 м/с.

Довольно хорошее объяснение высокой подвижности потоков получено в результате ряда теоретических и экспериментальных исследований, таких, как работы Р. Спаркса и К. Уилсона. Поток движется в частично флюидизированном состоянии. Иначе говоря, газы, которые продолжают выделяться из горячих частиц пемзы, объединяясь с атмосферными газами, захватываемыми у фронта потока, устремляются вверх, поддерживая относительно мелкие зерна. Эти мелкие зерна в свою очередь образуют своеобразную «смазочную» среду, окружающую более крупные обломки. Таким образом, поток приобретает меньшую плотность и гораздо меньшую вязкость, чем имела бы нефлюидизированная смесь пемзы и вулканической пыли. Это обеспечивает эффективное использование кинетической энергии, образующейся при вертикальном падении материала с высоты нескольких километров.

Главная часть отложений массивного пирокластического потока представляет собой покров многокилометровой толщины, состоящий из пемзы и более мелких частиц и распространяющийся более чем на 50 км от жерла. Кроме того, мелкие частицы, захваченные потоком, как правило, образуют вторичное пепловое облако, которое под действием конвекции поднимается вверх на многие километры. Последующее выпадение частиц из этого облака приводит к отложению тонкого слоя пемпы в районе гораздо более обширном, чем район, покрытый игнимбритами самого пирокластического потока. Объем сопутствующего игнимбритам пеплового слоя может достигать трети всего объема игнимбритов.

Почему извержения, в результате которых возникают возрождающиеся кальдеры, всегда представляют собой извержения дацитовые или риолитовые магмы? Это обусловлено двумя взаимосвязанными факторами. Во-первых, благодаря низкой вязкости из нее легко выходят растворенные газы. Извержение происходит без катастрофических эксплозий, и образование пемзы и тонкого пемпы исключено. Во-вторых, поскольку при базальтовых извержениях почти не образуется тонкого материала

РАЗЛИЧНЫЕ ЭТАПЫ эволюции возрождающейся кальдеры. На первом этапе магма, скапливаясь на глубине всего лишь 4 — 5 км от поверхности, образует плутон, или магматическую камеру, которая слегка приподнимает поверхность (1). В плутоне существуют зоны, различающиеся по составу, причем в кровле располагается вязкая магма, богатая кремнеземом (SiO_2) и растворенными газами (показано *оранжевым цветом*). В какой-то момент начинается извержение. Над большой кольцеобразной трещиной вырастает плинианский столб (2). Затем в течение нескольких минут или часов кровля плутона обрушивается по этой трещине, образуя кальдеру, а плинианские столбы сменяются пирокластическими потоками (3). Извержение длится только несколько дней. Кальдера заполняется игнимбритами; шлейф этих пород покрывает и окружающую площадь (4). С течением времени начинается размыв вала кальдеры (показано *черными точками*). Может образоваться озеро (5). Еще позже, спустя уже сотни тысяч лет, внедрение свежей магмы в тело плутона заставляет некоторые области днища кальдеры снова воздыматься (6). По кольцевой трещине продолжается слабая вулканическая деятельность (7). Тепло, исходящее от плутона, питает энергией конвекционные потоки минерализованной воды (8) и тем самым создает на земной поверхности горячие источники и гейзеры, действующие в течение миллионов лет.

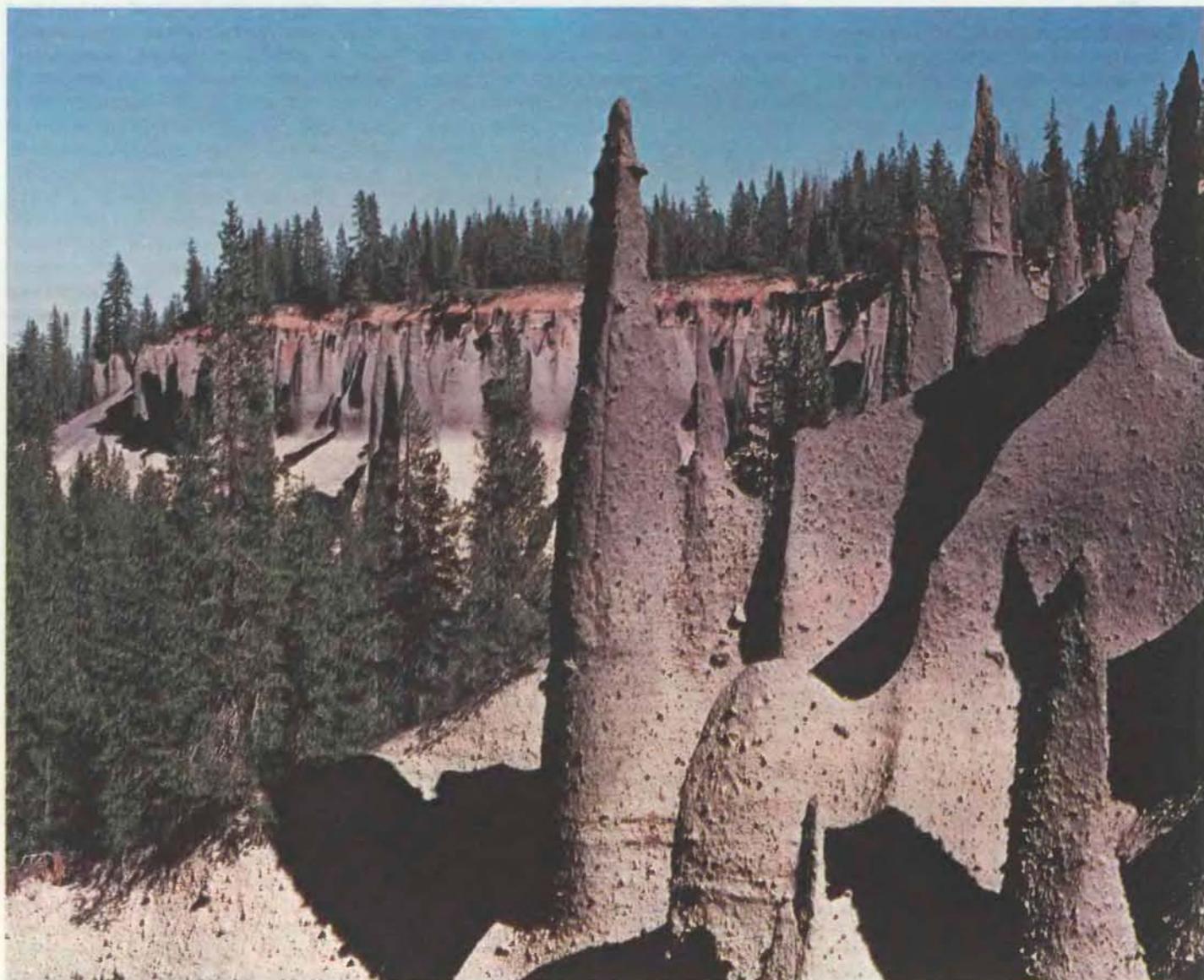
ла, перенос тепла из эруптивного столба в атмосферу понижен. (Такой процесс идет гораздо эффективнее, если диаметр частиц 1 мм.) Поэтому при извержении базальтовой магмы трудно ожидать появления конвективных потоков в атмосфере и образования плиннианского столба.

Прекрасным примером сказанного служат «огненные фонтаны», наблюдаемые в кратерах действующих вулканов на Гавайских островах. В каждом таком фонтане большие объемы лавы выплескиваются высоко в воздух, но лава — а это базальтовая лава — отрывается большими жидкими «лоскутами» с поперечником иногда в метр или больше. Едва ли образуется хотя бы малое количество тонкого пепла. Эти лоскуты лавы отдадут в атмос-

феру мало тепла, поэтому развитие конвективной колонны практически невозможно. При таких извержениях лава разбрызгивается по земле вокруг жерла, и поскольку она сохраняет почти все первоначальное тепло, обычно образует вторичные лавовые потоки.

ОДНА ИЗ наиболее удивительных особенностей катастрофических извержений, создающих возрождающиеся кальдеры, — это их кратковременность. М. Ледбеттер из Университета шт. Джорджия и Р. Спаркс изучили скорость осаждения пепловых частиц в морской воде. Эта скорость зависит от плотности и размера каждой частицы, поэтому тонкий пепел, оказавшийся среди вулканических выбросов в начале извержения, и грубообломочный пе-

пел, выпавший в конце извержения, могут достигнуть морского дна одновременно. Исходя из собранных данных, Ледбеттер и Спаркс сделали вывод, что выпадение 300 км^3 пепла, извергнувшегося из кальдеры Атитлан (в Гватемале) 84 тыс. лет назад, заняло только 20—27 дней. Исследователи считают, что извержение не было непрерывным. Более вероятно, что плиннианский столб поднимался и обрушивался несколько раз, приводя к последовательному отложению отдельных игнибритовых пластов. (Кальдера Атитлан имеет в поперечнике 28 км, но ее центр не воздымается.) Используя тот же подход, можно заключить, что при извержении, создавшем кальдеру Тоба, более 1000 км^3 пепла отложилось всего лишь за 9 дней.



ДВА СЛОЯ ПЕПЛА близ озера Крейтер в шт. Орегон образовались при вулканическом извержении, происходившем здесь около 7 тыс. лет назад. Вначале извергалась вязкая магма, располагавшаяся у кровли плутона, а затем — находившаяся под ней менее вязкая магма. Слои пепла залегают в обратном порядке. Нижний слой, светлой окраски, отло-

жился первым; он обогащен кремнеземом и беден железом и магнием. Верхний, более темный, слой был отложен сразу же после нижнего; он беднее кремнеземом, содержит больше железа и магния. Диаметр озера Крейтер слишком мал, (всего лишь около 9 км), чтобы эту депрессию можно было считать крупной кальдерой.

После извержения происходит ряд других событий. Чаще всего новую кальдеру заполняет вода — образуется озеро. Вал кальдеры подвергается размыву, и на дне озера накапливается осадок. Постепенно начинается возрождение кальдеры. В общем случае это — не просто поднятие днища (или прикрывающей его ныне толщи игнимбритов) по кольцевой трещине, что было бы похоже на возвратное движение поршня в цилиндре двигателя. Картирование игнимбритовых толщ в районе Серро-Галан и в других кальдерах показывает, что эти толщи наклонены в разные стороны от хорошо определяемой центральной точки, причем угол наклона часто превышает 45° . Это позволяет считать возрождение кальдеры локальным явлением. Вероятно, оно происходит над небольшим плутоном, снова внедряющимся в ту магматическую камеру, с которой было связано прошлое извержение. В некоторых случаях, в том числе в Йеллоустоне, внутри одной кальдеры имеются два отдельных центра воздымания.

Только установив тот факт, что молодые озерные отложения подняты теперь на сотни метров, Бемелен смог доказать, что возобновление поднятия днища кальдеры Тоба привело к образованию острова Самосир площадью 640 км^2 . Поднятие дна кальдеры Серро-Галан более чем на 1 км привело к тому, что ее центр оказался на высоте более 6 км над уровнем моря и стал одной из высочайших гор Аргентины. О скорости такого поднятия известно мало, но при изучении кальдеры Лонг-Валли, для которой возраст геологических событий определяется без особого труда, было установлено, что этот процесс продолжается, вероятно, уже 200 тыс. лет. Поскольку возраст кальдеры Тоба всего лишь около 75 тыс. лет, воздымание острова Самосир, возможно, еще не завершилось.

Вслед за процессом возрождения наступают финальные эпизоды эволюции кальдеры: сравнительно спокойное излияние дацитовый или риолитовой лавы из цепочки жерл, расположенных в виде ожерелья вдоль кольцевой трещины. Как правило, объем извергаемого материала невелик, но еще долгое время после катастрофического извержения, создавшего кальдеру, излияния периодически повторяются. В кальдере Лонг-Валли отчетливые эпизоды активного излияния имели место 500 тыс., 300 тыс. и 100 тыс. лет назад. Вполне вероятно, что вулканические явления, связанные с эволюцией кальдеры, могут продолжаться с небольшой интенсивностью в течение миллиона лет. Горячие источники и гейзеры, пробивающиеся к поверхности, существуют, возможно, еще более длительное время.

ОПАСНОСТЬ для жизни людей, возникающую в случае катастрофического — с образованием кальдеры — извержения, никто в деталях не анализировал. Последствия такой катастрофы определенно будут далеко идущими. Многое здесь зависит от общего размера извержения и доли пепловых выбросов — игнимбритов и сопутствующего игнимбритам пепла. Рассмотрим случай, когда объем извергаемого материала составит 1000 км^3 . Проседание захватит участок площадью примерно 500 км^2 , а возникающая при этом кальдера будет целиком заполнена игнимбритом. Им же будет покрыт и окружающий район площадью до 30 тыс. км^2 . Толщина этого покрова будет меняться от более 100 м на валу кальдеры до нескольких метров на самых удаленных участках развития игнимбритов. На всей этой площади растительный и животный мир будет уничтожен. Постройки будут разрушены или погребены.

На короткое время сразу же после извержения самым серьезным его следствием будет, вероятно, выпадение сопутствующего игнимбритам пепла. Площадь и расположение области выпадения пепла будут определяться преобладающими ветрами и соотношением частиц разного размера. Частицы размером более 80 мкм останутся в атмосфере не дольше нескольких часов. Более мелкие частицы будут носиться в воздухе гораздо более длительное время. Частицы диаметром меньше 10 мкм осаждаются в атмосфере со скоростью, которая не выше скорости атмосферной турбулентности. Они остаются в воздухе долго, до 100 дней, и могут разноситься на огромные расстояния. Сопутствующий игнимбритам пепел, как правило, чрезвычайно тонкий, и при рассматриваемом нами извержении он рассеется, вероятно, на площади в несколько миллионов квадратных километров.

Представим себе извержение вулкана Сент-Хеленс, только сильнее более чем в 100 раз и происходящее в Йеллоустоне в наше время. Помимо немедленного воздействия на жизнь страны, которое будет включать остановку наземного и воздушного транспорта в связи с выпадением пепла, наибольший ущерб будет нанесен, вероятно, сельскому хозяйству, так как миллионы квадратных километров пахотных земель будут покрыты слоем пепла толщиной несколько сантиметров. Результат предсказать нетрудно: будет потеря по меньшей мере один урожай, а может быть, и несколько. Долговременным следствием будет изменение климата Земли из-за попадания в атмосферу вулканической пыли, а также исключительно стойкого аэрозоля, образуемого твердыми частицами и кислыми вулканическими газами. Упадок

мирового сельскохозяйственного производства может продолжаться несколько лет.

Можно ли предсказать такое извержение? Наиболее очевидным признаком подготовки будущего кальдерообразующего извержения было бы «просачивание» дацитовый или риолитовой магмы на поверхность по мере развития кольцевой трещины. Кроме того, на движение магмы в камеру, находящуюся на глубине нескольких километров, должны были бы указать сейсмические сигналы. (Из двух типов сейсмических волн — продольных и поперечных — наибольшее значение для обнаружения магмы имеют поперечные волны, так как они не проходят через жидкость.) Положение магматической камеры можно определить по локальной аномалии поля силы тяжести: плотность магмы ниже, чем плотность твердых пород коры. Следующим важным признаком было бы вздутие, воздымание поверхности над магматической камерой, и особенно увеличение скорости этого воздымания. Подобные изменения легко определяются обычными геодезическими методами.

ТРУДНОСТЬ состоит в том, чтобы распознать во всех этих разнородных признаках предвестники какого-то определенного события, и в том, чтобы составить по ним график развития процесса, не имея известных прецедентов. Сейсмическая активность и вздутие поверхности недавно были отмечены в районе кальдеры Лонг-Валли; это сочли указанием на то, что там на глубине нескольких километров появилась новая порция магмы. Но последует ли за этим крупное извержение? Или же замеченные явления предвещают только спокойное появление на поверхности (экструзию) нового лавового купола? Надежные предвестники кальдерообразующих извержений в общем неизвестны. Кроме того, действие этих предвестников может охватывать время жизни многих человеческих поколений. Следовательно, точно предсказать извержение, по-видимому, пока невозможно. И все же, если в районе какой-нибудь известной кальдеры обнаруживаются признаки возобновления активности, оставлять их без внимания не следует.

Извержения, образующие гигантские кальдеры, чрезвычайно редки. Процессы, связанные с возрождением этих кальдер, могут быть использованы на благо человечества. Многие кальдеры сопровождаются тепловой аномалией, которая может вызывать появление горячих источников на протяжении двух или даже трех миллионов лет после извержения. Помимо живописных ландшафтов, создаваемых гейзерами, источники горячей воды и

пара представляют собой ресурсы энергии, пригодные для освоения, так же как и нагретые горные породы («горячие земли»), залегающие над самим плутоном. Важный эксперимент по использованию тепла сухих нагретых горных пород проводится в Лос-Аламосской научной лаборатории. По краям кальдеры Вальес через глубокую буровую скважину в зону горячих трещиноватых пород закачивается вода. Там она нагревается и возвращается на поверхность через вторую скважину. Горячую воду можно использовать для производства электроэнергии.

Другие, менее очевидные блага, приносимые кальдерами, связаны с образованием в возрождающихся кальдерах (спустя какой-то период времени после извержения) месторождений полезных ископаемых. Кальдера Кари-Кари служит хорошим тому примером, характерным в геологическом отношении и интересным благодаря богатым историческим ассоциациям. На краях этой кальдеры расположены город Потоси, а также гора Серро-Рико, вершина которой имеет высоту 4900 м над уровнем моря. Пик Серро-Рико сложен риолитами, внедрившимися в кольцевую трещину кальдеры около 13 млн. лет назад. Оставая, риолитовая магма химически перерабатывалась гидротермальными растворами — горячими кислотными жидкостями, поднимающимися с больших глубин после реакции воды с залегающими там горячими породами. В XVII в. Потоси был крупнейшим городом Западного полушария, причем его процветание было связано с добычей серебра, жилы которого отложились из гидротермальных растворов. Значение этих серебряных копей для Испании трудно переоценить; слово *potosí* стало в испанском языке нарицательным и означает «несметное богатство». В конце концов наплыв серебра из Потоси и других рудников Нового Света оказал разрушительное воздействие на всю испанскую денежную систему. На Серро-Рико горные работы идут непрерывно с 1544 г., но залежи серебра, которое когда-то было легко добывать из верхних горизонтов, истощились.

Глубинные источники тепла, создающие кальдеры, могут поддерживать гидротермальную циркуляцию в течение долгого времени. Гидротермальная деятельность сопровождается сложными химическими реакциями, в результате которых образуются залежи полезных ископаемых. Разобраться в деталях этого процесса не так просто. Однако возможность использования геотермальной энергии и ценных минеральных месторождений заслуживает особого внимания. Если не учитывать этого, то гигантские кальдеры могут показаться только напоминанием о катастрофических извержениях.

Гигантский рисунок

В 40-х годах авиаторы обратили внимание на огромные рисунки в Перу на покрытой гравием области прибрежной красной пустыни неподалеку от Наска (около 300 км к югу от Лимы). Кто, когда и как нарисовал эти загадочные рисунки? Вопрос этот волновал воображение журналистов и ученых. Выдвигалось немало предположений, среди них были и маловероятные. Одни считали, что эти рисунки сделаны инопланетянами и служили в качестве опознавательных знаков на месте их приземления, другие связывали их с астрономическими наблюдениями в древности. Эти гипотезы удалось опровергнуть главным образом благодаря кропотливым исследованиям Марии Райхе, немецкой ученой, переселившейся в Перу.

Археологические исследования позволили однозначно установить, кто и когда «нарисовал» гигантские рисунки в районе Наска. Изучение глиняных черепков на местах древних поселений и анализ на содержание радиоактивного углерода в остатках кострищ показали, что рисунки выполнены перуанскими индейцами, населявшими территорию Наска в VI в.

Частично удалось ответить и на вопрос, как создавался рисунок. Контур наносили путем тщательного удаления гравия: при этом обнажался более светлый слой почвы. Труднее сказать, каким образом делали предварительную разметку всего рисунка. Многие рисунки слишком велики, чтобы их можно было обозреть целиком с земной поверхности. Сама М. Райхе предполагала, что в свое время для обзора рисунков в Наска существовали «инструменты и приспособления... погрешные и спрятавшиеся от [завоевателей] ... как сокровища, не подлежащие выдаче».

Джо Никелл, сотрудник Кентуккского университета, в своей статье в журнале *"Skeptical Inquirer"* выражает сомнения по поводу того, что для построения контуров рисунков в Наска нужны были какие-либо особые знания или специальные приборы. Он описал, как ему удалось нанести на поверхность земли 136-метровое изображение кондора, используя самые простые средства. Никелл и его коллеги изготовили уменьшенную копию одного из рисунков в районе Наска. (М. Райхе намного раньше установила, что творцы рисунков в Наска пользовались при их нанесении такими маленькими копиями.) Затем они установили положение осевой линии и координаты различных точек рисунка. Отрезки линий на уменьшенной копии измеряли и переводили в

пропорционально увеличенный отрезок (примерно равный 32 см) на большом рисунке. Группа Никелла выполнила свой рисунок на Уэст Либерти (шт. Кентукки) на свежей насыпи с помощью веревки, размеченной на 100 частей, для нахождения различных точек фигуры кондора. Единственный «инструмент», которым пользовались ученые, был деревянный крест, предназначенный для того, чтобы все измерения проводились под прямым углом к осевой линии.

Исследователи нанесли на поверхность земли 165 точек и соединили их с помощью бечевки, чтобы в точности воспроизвести контур оригинального рисунка. В тех случаях, когда был нужен циркуль (например, для изображения головы кондора), его заменяли колышком и веревкой; все остальные линии наносили от руки. Готовый контур рисунка посыпали известью и сфотографировали его с высоты 300 м. Сходство рисунка с оригиналом в Наска оказалось удивительным. Это была, по видимому, самая большая в мире художественная репродукция (которая существовала до первого дождя). Резюмируя результаты опыта, Никелл подчеркивает, что для выполнения своей задачи группа не использовала ни одного материала, которого не было бы в распоряжении прежних обитателей Наска.

Научные исследования под землей

ИЗВЕСТНО, что в недавнем прошлом космические лучи были одним из основных источников частиц для исследований в области физики высоких энергий, однако в последнее время физики готовы преодолеть любые препятствия (даже большие глубины), чтобы исключить их влияние. Экспериментальные установки часто размещают в шахтах рудников и подземных туннелях, где толща земли защищает их от нежелательного воздействия космических лучей. За последние годы число таких установок резко возросло, что в значительной степени обусловлено исследованиями по обнаружению распада протона. Однако мест, пригодных для проведения подобных экспериментов, немного. В настоящее время в США предложено организовать национальную лабораторию подземных исследований с необходимым оборудованием и специальным штатом сотрудников.

Проблема обеспечения надежной защиты от космического излучения наиболее остро стоит в тех случаях, когда необходимо зарегистрировать чрезвычайно редкие события, сигнал о кото-

рых может быть пропущен из-за высокой интенсивности фона посторонних событий. Предсказанный теоретиками распад протона — пример именно такого явления. В течение долгого времени протон считался стабильной частицей, однако теоретические работы последних лет позволяют предположить, что протон может распадаться, хотя период его полураспада очень велик: среднее время жизни протонов составляет по меньшей мере 10^{30} лет, что в 10^{20} раз превышает возраст Вселенной. Следовательно, детектор, содержащий тысячи тонн вещества, может зарегистрировать лишь несколько актов распада протона в год. Причем соответствующий сигнал необходимо выделить из значительно большего числа посторонних событий, вызванных прохождением частиц космических лучей через детектор. Помещая аппаратуру глубоко под землю, физики надеются свести к минимуму этот фон, зачастую вводящий их в заблуждение.

Наибольший среди действующих детекторов для регистрации распада протона представляет собой заполненный 10 000 т воды резервуар, помещенный под землей на глубине 600 м в соляной шахте в окрестностях Кливленда. На нем работают ученые из Калифорнийского университета в Эрвине, Мичиганского университета и Брукхейвской национальной лаборатории. В январе этого года группа опубликовала свои первые результаты: не было идентифицировано ни одного акта распада протона, исходя из чего можно установить новый нижний предел среднего времени жизни протона — $5 \cdot 10^{31}$ лет. Для теоретиков такой результат приводит к тому, что, возможно, придется пересмотреть некоторые из существующих теорий строения вещества. А экспериментаторам, по-видимому, необходимо соорудить еще больших по объему и более чувствительных детекторов. Даже в том случае, если распад протона будет зарегистрирован на существующих детекторах, для его детального изучения потребуются соорудить установки с более высоким пространственным разрешением. Именно такого рода эксперименты будут проводиться в национальной лаборатории подземных исследований.

В экспериментах по регистрации распада протона наибольшие трудности связаны с воздействием на вещество детектора космических нейтрино — частиц, беспрепятственно проникающих через любую толщу породы. Даже весь земной шар не может служить для них препятствием! На подземных установках предполагается изучать и сами нейтрино. Например, энергетический спектр космических нейтрино в настоящее время плохо изучен; подземный детектор, работающий как нейтринный «телескоп», способен произвести более

точные измерения энергии нейтрино. Теоретически предсказанное явление нейтринных осцилляций, суть которого состоит в спонтанном превращении нейтрино одного типа в нейтрино другого типа, может быть обнаружено с помощью подземных детекторов.

Другой эксперимент с нейтрино, предложенный Р. Дэвисом-младшим из Брукхейвской лаборатории, обеспечивает более точное измерение падающего на Землю потока нейтрино, излучаемых Солнцем. Дэвис — пионер среды физиков, осуществляющих исследования на подземных установках: в течение 15 лет он занимается регистрацией солнечных нейтрино с помощью детектора, размещенного в шахте рудника Хоумстейк в шт. Южная Дакота. Активным элементом детектора Дэвиса является хлор, который при взаимодействии с нейтрино превращается в аргон. Полученные результаты неизменно озадачивали физиков (измеренный поток нейтрино был меньше ожидавшегося), и только новые эксперименты, в которых в качестве активного элемента будет использоваться галлий, могут внести ясность в интерпретацию данных Дэвиса.

Рассматриваются также некоторые другие возможности применения подземных научных установок. Снижение фона космических лучей может оказаться благоприятным, например, в экспериментах по поиску тяжелых магнитных монополей. В опытах по регистрации гравитационного излучения, или гравитационных волн, можно использовать другое полезное преимущество подземных лабораторий — отсутствие вибрации. В условиях практически полного отсутствия вибрации под землей возможна работа с приборами, улавливающими гравитационные волны низких частот (в диапазоне от 1 до 100 Гц).

Инициаторами создания национальной лаборатории подземных исследований являются А. Манн из Пенсильванского университета, Р. Шарп-младший и Л. Симмонс-младший из Лос-Аламосской научной лаборатории. На встрече, организованной в сентябре прошлого года в Лос-Аламосе, Манн выступил с обзором работ, которые могли бы быть выполнены на новой установке, и технических проблем, возникающих при ее создании. Глубина размещения лаборатории, указал он, должна быть достаточной для обеспечения защиты от космических лучей, эквивалентной защите, обеспечиваемой толщей воды в 2 500 м; поскольку плотность породы значительно больше плотности воды, реальная глубина может быть меньше 2 500 м. Потребуется соорудить обширные помещения под землей: наибольшее из них должно иметь размеры как минимум $15 \times 60 \times 15$ м. Диаметр главно-

го подводного транспортного туннеля должен быть не меньше 3,5 м.

Манн и Шарп подготовили обзор мест в западной части США, пригодных для размещения подземной лаборатории. Из существующих шахт и туннелей они отобрали 13 наиболее подходящих для лаборатории. Однако ни один из предложенных вариантов не является идеальным; кроме того, во многих случаях действующее производство может помешать научным исследованиям. Поэтому внимание было сосредоточено на проекте, предусматривающем строительство подземного комплекса на окраине испытательного полигона в шт. Невада, в пустынном районе близ городка Юкка-Флэт, где министерство энергетики США проводит подземные испытания ядерного оружия. Этот район был выделен несколько лет назад для проведения несекретных работ. Лабораторию предполагается разместить на глубине около 1 км, что обеспечит защиту от космических лучей, эквивалентную толще воды в 2 800 м.

Некоторые физики выступили против организации лаборатории на испытательном полигоне в шт. Невада. Однако Манн, Шарп и Симмонс обратили их внимание на то, что этот район имеет ряд важных преимуществ. Те же соображения, на основе которых он был выбран для испытания ядерного оружия, свидетельствуют о его пригодности для размещения подземной лаборатории. Геологические и гидрологические условия этой местности были тщательно исследованы и оказались исключительно стабильными. Персонал испытательного полигона имеет опыт строительства подземных сооружений на больших глубинах; по сведениям Манна, в этом районе пробурены самые глубокие шахты большого диаметра в США. Средства на строительство (которое оценивается в 42,3 млн. долл.) должны быть выделены министерством энергетики. Однако может оказаться, что средства, выделяемые министерством из бюджета, предназначенного для развития фундаментальных исследований, не покроют расходы на сооружение подземной лаборатории.

При директоре Лос-Аламосской научной лаборатории был создан комитет по вопросам, связанным с предложенной системой подземных исследований, во главе с Н. Рамсеем-младшим из Гарвардского университета. В предварительном докладе комитет отметил, что планируемая система подземных исследований крайне необходима для технического обеспечения важных экспериментов в области физики элементарных частиц и астрофизики, и одобрил сделанное в Лос-Аламосе предложение о сооружении подземной лаборатории на полигоне в Неваде.

Пекинский человек

За 230 тыс. лет своего существования
Homo erectus pekinensis оставил в пещере
множество костей и орудий, которые позволяют
судить о его биологической, технологической
и в какой-то мере о социальной эволюции

У РУКАН, ЛИН ШЕНЛОН

ПЕЩЕРА возле железнодорожной станции Чжоукоудянь, расположенной в 50 км к юго-западу от Пекина, прославилась как стоянка древнего человека с самой долгой историей. Возраст современных городов исчисляется в лучшем случае несколькими тысячелетиями, а в пещере Чжоукоудянь люди жили почти непрерывно на протяжении более 200 тыс. лет. Многочисленные слои, заполненные ископаемыми остатками, свидетельствуют, что древний человек впервые поселился в этой пещере около 460 тыс. лет назад, жил там в течение 230 тыс. лет, но в конце концов вынужден был уйти, так как пещера к тому времени заполнилась камнями и осадочными породами. Обитавший здесь человек относится к разновидности *Homo erectus pekinensis* (пекинский человек прямоходящий).

Благодаря находке пекинского человека ученые получили редкую возможность проследить развитие одного из сообществ наших предков на протяжении сотен тысячелетий, что составляет значительную часть эволюционной истории рода *Homo*. Этот период времени столь велик, что позволяет заметить изменения в физическом типе человека, в частности увеличение емкости черепа, а также представить себе некоторые моменты культурной эволюции вида. Судя по отложениям в пещере Чжоукоудянь, пекинский человек владел огнем и готовил на нем пищу. Многочисленные остатки костей животных свидетельствуют, что он успешно охотился на мелкую и крупную дичь, а окаменевшие семена показывают, что его рацион был довольно разнообразен. Обилие изготовленных на отщепях орудий позволяет судить о технике обработки камня. Наконец, на основании всего комплекса данных можно сделать некоторые выводы относительно социальной организации сообщества древних людей, например о разделении труда между мужчинами и женщинами или о дележе добычи.

За последние пять лет стоянку Чжоукоудянь изучали более 120 китайских ученых, в том числе и авторы этой

статьи. Работу возглавляет Институт палеонтологии позвоночных и палеоантропологии Китайской академии наук, а участвует в ней 17 университетов и научно-исследовательских институтов. Изучаются самые различные аспекты: собственно древний человек и его орудия, возраст антропологического и археологического материала, а также климат и географический ландшафт того времени, состав почв и пыльца растений. В этой статье мы предлагаем вниманию читателей наиболее интересные находки и пытаемся дать представление о пекинском человеке с учетом естественных условий его обитания.

На эволюционной лестнице высших приматов пекинский человек и другие представители *Homo erectus* занимают сравнительно высокие ступеньки. Первый гоминоид — общий предок человека и человекообразных обезьян — отделился от остальных приматов около 35 млн. лет назад. Он передвигался на четырех конечностях и питался семенами и плодами. В период между 10 млн. и 8 млн. лет назад появился первый гоминоид — родоначальник генетической линии, единственным ныне живущим представителем которой является *Homo sapiens*. Он отделился от других гоминоидов, таких, как шимпанзе и горилла. Первые гоминоиды имели небольшой объем мозга, не более 350 см³. Они передвигались на задних конечностях и могли при ходьбе переносить в руках разные предметы. Прошло около 4 млн. лет, прежде чем появился более совершенный гоминоид, которого относят к роду *Australopithecus*. Самые древние остатки австралопитеков обнаружены в долине реки Аваш в Эфиопии. Строение скелета свидетельствует о том, что эти существа ходили на двух ногах; емкость их черепа была около 500 см³.

За последние 100 лет в Европе, Азии и Африке было обнаружено много ископаемых остатков — черепов и фрагментов скелета, принадлежащих более развитым по сравнению с австралопитеками гоминоидам. Поначалу каждую новую находку расценивали как новый

таксон, но со временем всех их объединили в один вид *Homo erectus* (человек прямоходящий). Датировка геологических слоев в местах залегания ископаемых остатков позволяет утверждать, что этот вид возник по меньшей мере 1,5 млн. лет назад. Как явствует из названия, *Homo erectus* отличался прямохождением. Строение черепа у него было еще очень примитивным, а объем мозга варьировал от 850 до 1100 см³. По сравнению с галечными орудиями ранних гоминоид каменные орудия *Homo erectus* были более совершенными. По отношению к некоторым поздним представителям *Homo erectus*, в том числе и к пекинскому человеку, можно говорить об определенном уровне развития культуры: они жили в пещерах, занимались охотой и умели пользоваться огнем для приготовления пищи, хотя, по-видимому, еще не умели добывать его.

Последующий ход эволюционного развития от *Homo erectus* до современного человека здесь нет возможности описать во всех деталях. Достаточно сказать, что около 200 тыс. лет назад появилась качественно новая форма — человек с менее массивным лицевым скелетом и более крупной черепной коробкой. Представители этого вида, ранние *Homo sapiens*, достигли расцвета в Европе, Азии и Африке около 100 тыс. лет назад. Они стали строить жилища на открытом воздухе, научились добывать огонь и делать весьма совершенные каменные орудия. По причине сходства их морфологического типа с физическим обликом современного человека и из соображений преемственности в развитии культуры их считают прямыми предшественниками ныне живущих людей.

Пещера Чжоукоудянь

Пещера Чжоукоудянь, где были обнаружены костные остатки пекинского человека, находится в известняковой формации под названием Холм Кости Дракона. Еще до того, как это место

приобрело известность благодаря найденной здесь стоянке древнего человека, оно пользовалось популярностью среди местных жителей, собиравших кости «дракона». В традиционной китайской культуре образ дракона занимает важное место, а драконьи кости (это обычно кости различных ископаемых млекопитающих), согласно поверью, обладают целительной силой. Доказательства существования пекинского человека первыми нашли именно охотники за драконьими костями, но они не поняли значения сделанного ими открытия.

В начале XX в. Чжоукоудянь посещали многие палеонтологи и антропологи, которых влекли сюда поиски следов первобытного человека. Среди них были такие знаменитые ученые, как шведский геолог Й. Андерсон и палеонтолог из Американского музея

естественной истории У. Грэнджер. Когда Андерсон, Грэнджер и помощник Андерсона австрийский палеонтолог О. Здански осматривали Холм Кости Дракона, кто-то из местных жителей направил их в пещеру, сказав, что «там полно драконьих костей». Однако ничего интересного в тот раз обнаружено не было, за исключением нескольких кварцевых фрагментов. Поскольку они отличались от окружающих геологических пород, Андерсон решил, что перед ним орудия древнего человека.

Хотя время от времени ученые закладывали в пещере разведочные шурфы и проводили раскопки, успех пришел к ним не сразу. В 1923 г. Здански нашел два антропоморфных зуба. В 1927 г. начались систематические раскопки, и шведскому палеонтологу Б. Болину удалось обнаружить хорошо сохранив-

шийся нижний моляр. Дэвидсон Блэк (в то время профессор анатомии Пекинского объединенного медицинского колледжа), атрибутируя ископаемые находки, выделил новый вид *Sinanthropus pekinensis* (синантроп пекинский). С 1927 по 1937 г., несмотря на вторжение в Китай японцев, работы в пещере продолжались, хотя в меньшем объеме. Зимой 1929 г. Пэй Вэнчжун, возглавлявший раскопки с 1928 по 1935 г., нашел первый полностью сохранившийся череп, что положило начало научному изучению пекинского человека.

После того как в 1949 г. образовалась Китайская Народная Республика, раскопки в Чжоукоудянь возобновились под эгидой Института палеонтологии позвоночных и палеоантропологии. К 1966 г. в пещере были обнаружены остатки 40 с лишним скелетов муж-



ИЗВЕСТНЯКОВАЯ ПЕЩЕРА около 460 тыс. лет назад была заселена пекинским человеком, разновидностью *Homo erectus*, который жил в ней на протяжении 230 тыс. лет. Пещеру обнаружили в начале 20-х годов, и в течение последующих 50 с лишним лет здесь шли раскопки. Были обнаружены следы использования огня, 100 тыс. каменных орудий, окаме-

невшие кости и зубы сорока с лишним особей, а также ископаемые остатки животных и растений, служивших пищей. На фотографии виден восточный вход в пещеру; через него и проникли туда люди. Около 300 тыс. лет назад этот вход завалило.

ских и женских особей различного возраста, десятки тысяч каменных орудий и следы использования огня. Кроме того, там нашли два вида окаменевших растений (а также большое количество пыльцы разных видов) и костные остатки представителей 96 разновидностей млекопитающих. Обилие ископаемых находок и тщательный их анализ позволили воссоздать некоторые детали 200-тысячелетней истории пекинского человека.

Пещера, носящая в науке официальное название Чжоукоудянь, участок I, представляет собой обширное карстовое образование в известняках, сформировавшихся в ордовикское время около 500 млн. лет назад. Карстовые структуры (названные по плато Карст, расположенному вдоль Далматского побережья) образуются в результате воздействия подземных вод на массивные известняки. Пещера, в которой жил пекинский человек, протянулась с востока на запад на 140 м. В восточном конце она имеет в ширину около 40 м, а в западном сужается до 2 м.

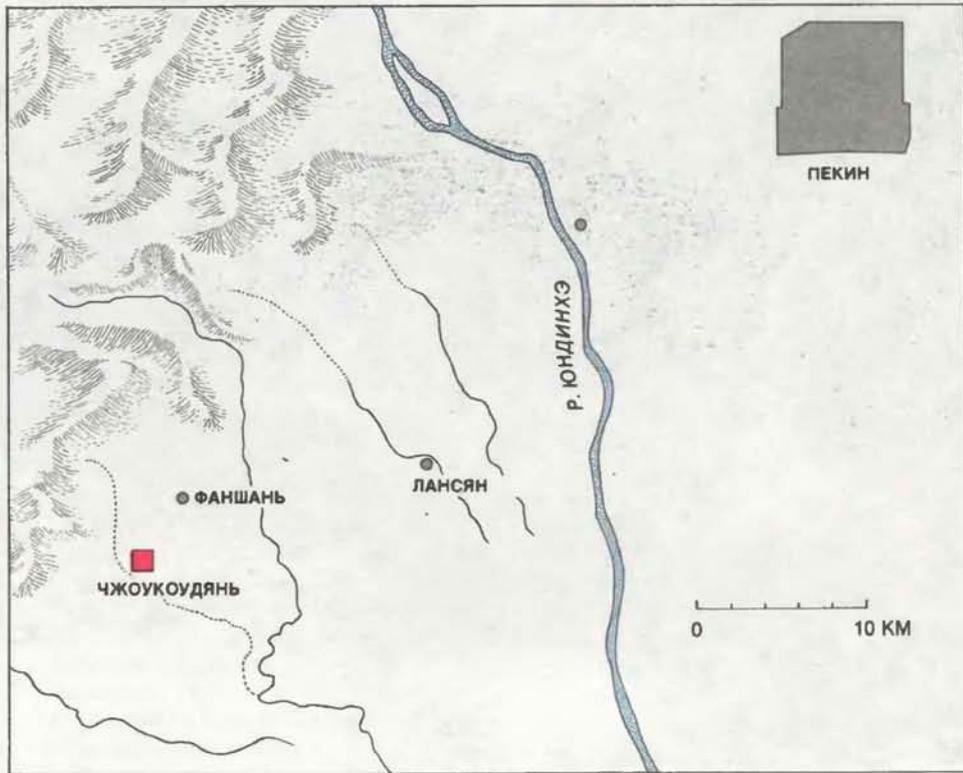
Однако на заре своего существования пещера выглядела совершенно иначе. Задолго до появления в ней пекинского человека, в плиоцене, около 5 млн. лет назад внутри холма началось образование полости: вода, проникав-

шая сквозь горизонтальные и вертикальные трещины, размывала известняк и уносила его прочь в растворенном виде. В результате горизонтальной эрозии сформировалась длинная пещера, более широкая в центре и сужавшаяся к концам. Вследствие вертикальной эрозии расширились и углубились отвесные щели, превратившись в глубокие воронкообразные промоины с изрезанным неровным дном. В конце концов внутри горы образовалась полость, вначале никак не связанная с поверхностью. Позже, в раннем плейстоцене, древняя река Чжоукоу, все время размывавшая породу, своим стремительным бегом срезала выступ на восточном склоне холма, так что восточная стена пещеры подверглась водной эрозии и в ней образовалась диагональная щель примерно в том месте, где в настоящее время находится небольшой восточный вход в пещеру. Постепенно щель становилась все шире и шире, и наконец преграда, отделявшая полость от русла реки, исчезла. Ил и песок вместе с водами Чжоукоу проникли внутрь, заполнили неровности дна, образовав гладкий, удобный пол. Тогда-то в пещере и поселился пекинский человек.

Люди проникли в пещеру с востока и вначале жили главным образом в вос-

точной ее части. Однако 350 тыс. лет назад в том месте пещеры, которое называют Купольным залом, произошло обрушение породы — огромный кусок выветренной скалы свалился с потолка пещеры, полностью перекрыв доступ в нее с востока. Но первобытный человек, вынужденный покинуть наиболее удобную часть пещеры, вновь проник в нее — на этот раз сквозь центральный разлом. Он поселился в западной, более узкой части и жил здесь до конца: примерно 230 тыс. лет назад пещера настолько заполнилась отходами многовековой человеческой деятельности и осыпавшейся породой, что стала непригодной для жилья и люди ушли отсюда.

Такой она и оставалась вплоть до начала раскопок. Отложения с остатками пекинского человека достигают 40 м в толщину. В 1929 г. Пьер Тейяр де Шарден и китайский палеонтолог Ян Чжонцзян разделили их на 10 слоев. В 1951 г. китайский археолог Цзя Ланьпо изучал отложения, залегавшие ниже 10-го горизонта, и идентифицировал еще три слоя (с 11-го по 13-й). Большинство исследователей пришли к выводу, что следует говорить о чжоукоудяньском периоде, относящемся к среднему плейстоцену. Его древность определяли в 500 тыс. лет, однако вре-



ПЕЩЕРА находится вблизи города Чжоукоудянь, в 50 км к юго-западу от Пекина (справа). Административно Чжоукоудянь относится к Фаншаню, пригородному округу Пекина, расположенному в 150 км от морского побережья (слева). В северо-западной части города находится Холм Кости Дракона, обязанный своим названием страсти местных жите-

лей к сбору драконовых костей, которые будто бы обладают чудодейственной целительной силой. В поисках костей дракона коллекционеры собирали ископаемые кости различных млекопитающих. Пекинский человек жил в пещере Чжоукоудянь, участок I — одной из четырех находящихся на холме палеоантропологических стоянок.

менные рамки были столь обширны и расплывчаты, что не давали никакого представления об эволюции пекинского человека.

Благодаря работам десятков ученых из пяти научно-исследовательских институтов мы теперь знаем возраст каждого слоя довольно точно. Десятый слой датировали путем подсчета треков, которые остаются в кристаллах минералов при расщеплении ядер урана-238, наиболее широко распространенного изотопа этого элемента. Так как скорость распада — постоянная величина, по числу треков можно рассчитать, сколько времени прошло с момента образования минерала. Так, возраст десятого слоя оценивают в 460 тыс. лет.

Сотрудники Института геологии Китайской академии наук с помощью одного из изотопных методов установили, что отложения восьмого и девятого горизонтов насчитывают 420 тыс. лет. При этом измеряли относительное содержание урана-234 и продукта его радиоактивного распада — тория-230. Зная скорость распада, по соотношению двух элементов можно вычислить, как давно образовался урансодержащий минерал.

Для датировки седьмого слоя, возраст которого оказался 370 тыс. — 400 тыс. лет, был применен другой способ — определяли естественный остаточный магнетизм в минералах горизонта. Когда происходит кристаллизация магнитного минерала, его магнитная ось ориентируется в направлении магнитного поля Земли, периодические изменения которого запечатлеваются в структуре породы и служат показателем ее возраста. Три верхних слоя датировали с помощью уранового метода и получили величину 230 тыс. лет.

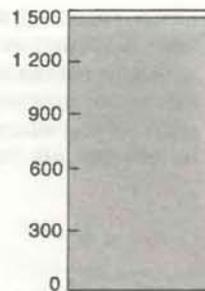
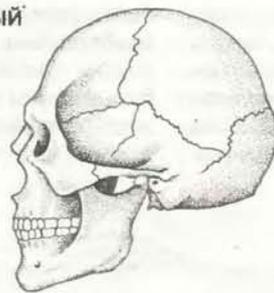
Ископаемые остатки пекинского человека

За прошедшие 50 лет было обнаружено множество ископаемых остатков пекинского человека. Вот их перечень: шесть полных или почти полных черепов, фрагменты 12 других черепов, 15 неполных нижних челюстей, 157 зубов, три фрагмента плечевых костей, ключица, семь фрагментов бедренных костей, фрагмент большеберцовой кости и полулунная кость (одна из костей запястья). Все эти остатки, найденные в пещере в 15 разных местах, принадлежали сорока с лишним мужским и женским особям различного возраста. Благодаря обилию ископаемого материала ученые смогли реконструировать физический облик пекинского человека.

Как и у других представителей *Homo erectus* среднего плейстоцена, посткраниальный скелет пекинского человека в

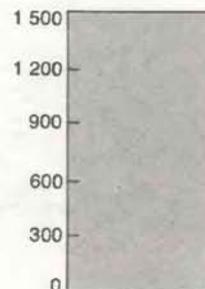
ЛЕТ
ДО НАШИХ
ДНЕЙ

СОВРЕМЕННЫЙ
ЧЕЛОВЕК



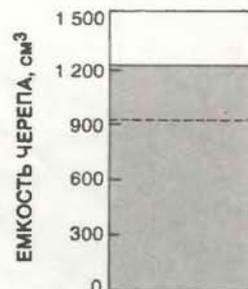
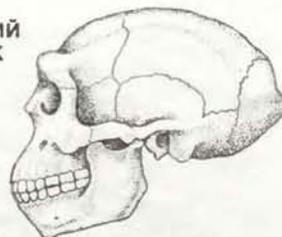
40 000

НЕАНДЕРТАЛЬСКИЙ
ЧЕЛОВЕК



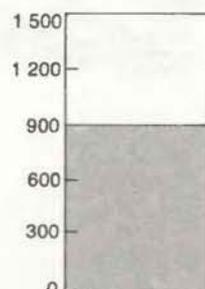
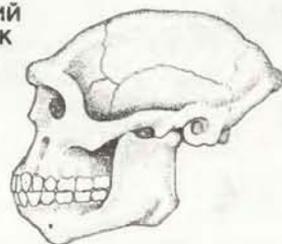
100 000

ПЕКИНСКИЙ
ЧЕЛОВЕК



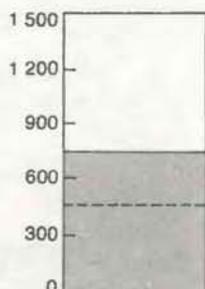
500 000

ЯВАНСКИЙ
ЧЕЛОВЕК



700 000

АВСТРАЛОПИТЕК



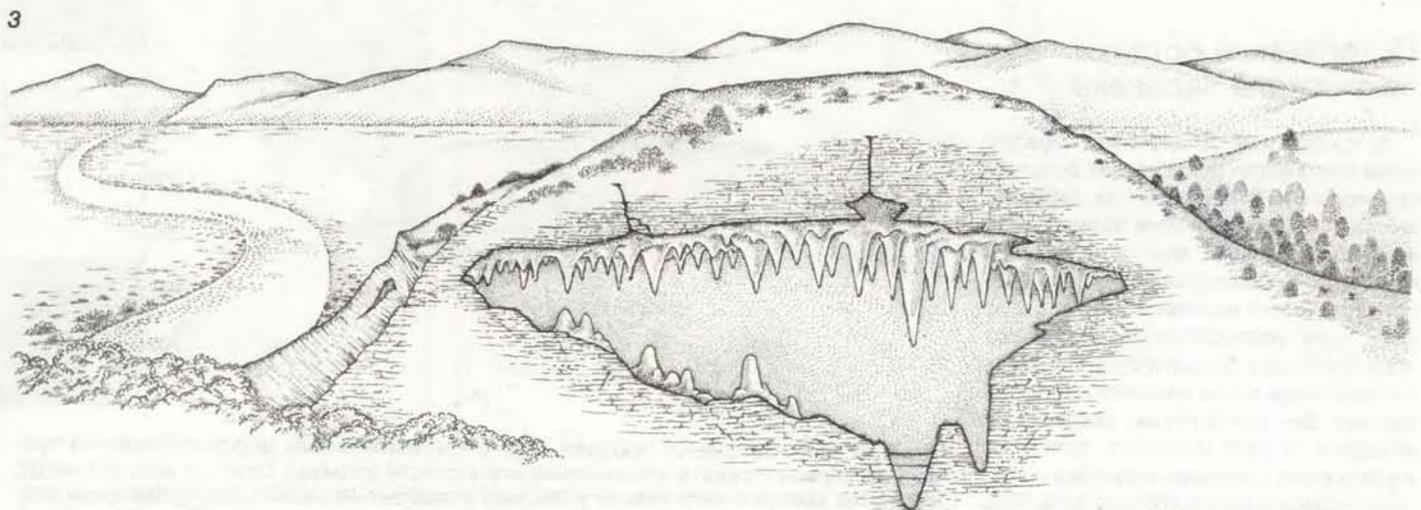
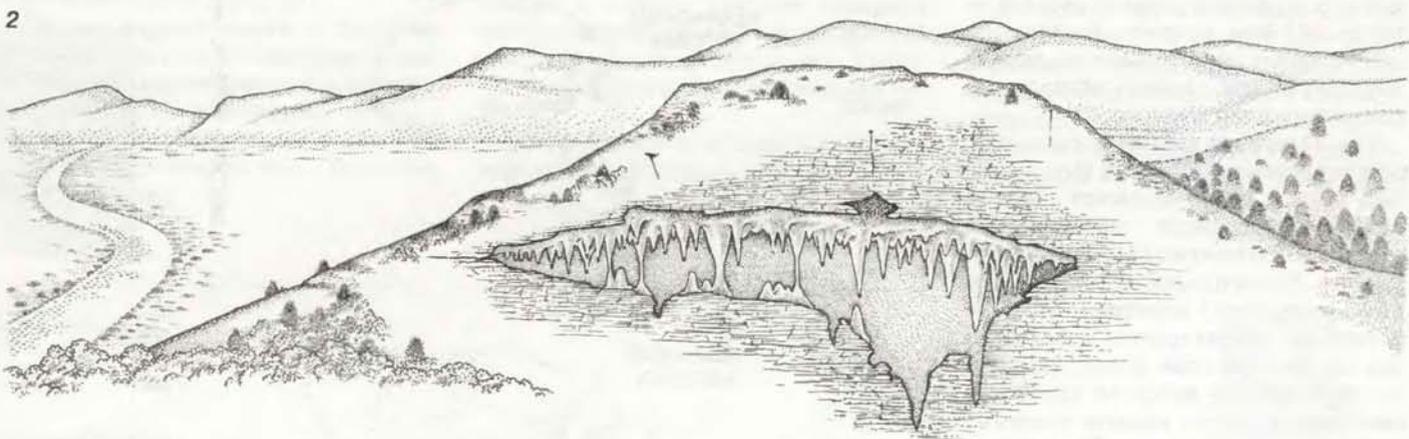
3 000 000

ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА прослеживается по изменениям морфологических признаков черепа (слева) и увеличению его емкости (справа). Около 4 млн. лет назад возникли австралопитековые; у них был уплощенный череп с выступающими вперед челюстями и небольшой черепной коробкой (ее емкость 450 — 750 см³). 1,5 млн. лет назад появился *Homo erectus*. Две его разновидности — яванская и пекинская — характеризуются более прогрессивным строением лица и большим объемом мозга (850 — 1000 см³). Около 100 тыс. лет назад появился неандертальский человек, первый представитель вида *Homo sapiens*. К этому времени черепная коробка заметно увеличилась, а челюсти стали менее выступающими. Современный человек, *Homo sapiens sapiens*, возник около 40 тыс. лет назад.

целом такой же, как у современных людей. Конечно, есть и отличия: так, в длинных костях компактный слой толще, а мозговая полость уже. Однако существеннее, что у пекинского человека иное строение черепа: он массивнее и

более уплощенный, с выступающими надбровьями и резко выраженным углом затылка. Черепная коробка больше, чем у *Homo habilis*, который жил около 1,8 млн. лет назад, и больше, чем у питекантропа — более древ-

ней яванской разновидности *Homo erectus*. Однако объем мозга был все-таки значительно меньше, чем у современного человека. Зубы крупнее и массивнее, чем у *Homo sapiens*, причем на них имеются остатки эмалевого ободка во-



ЭВОЛЮЦИЯ ПЕЩЕРЫ Чжоукоудянь, участок I. Холм Кости Дракона, в котором появилась пещера, образовался 450 — 500 млн. лет назад (1). По мере растворения известняка подземными водами внутри холма примерно 5 млн. лет назад начала формироваться полость (2). Около 3 млн. лет

назад древняя река Чжоукоу размывала и срезала часть восточного склона холма, обнажив небольшое отверстие, которое постепенно расширялось (3). Песок и ил с водами Чжоукоу проникли в пещеру и заполнили воронкообразные углубления, возникшие в результате размывания известняка. По-

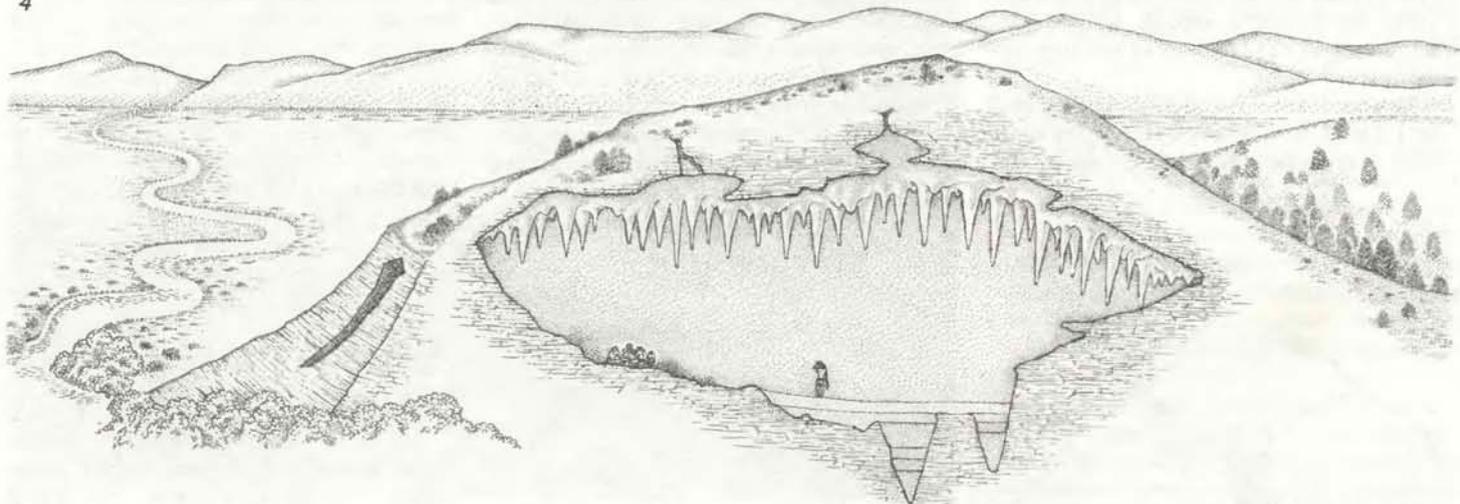
круг коронки (так называемого сингулюма), что считается весьма примитивным признаком.

Все ископаемые остатки пекинского человека, обнаруженные к настоящему времени, были проанализированы од-

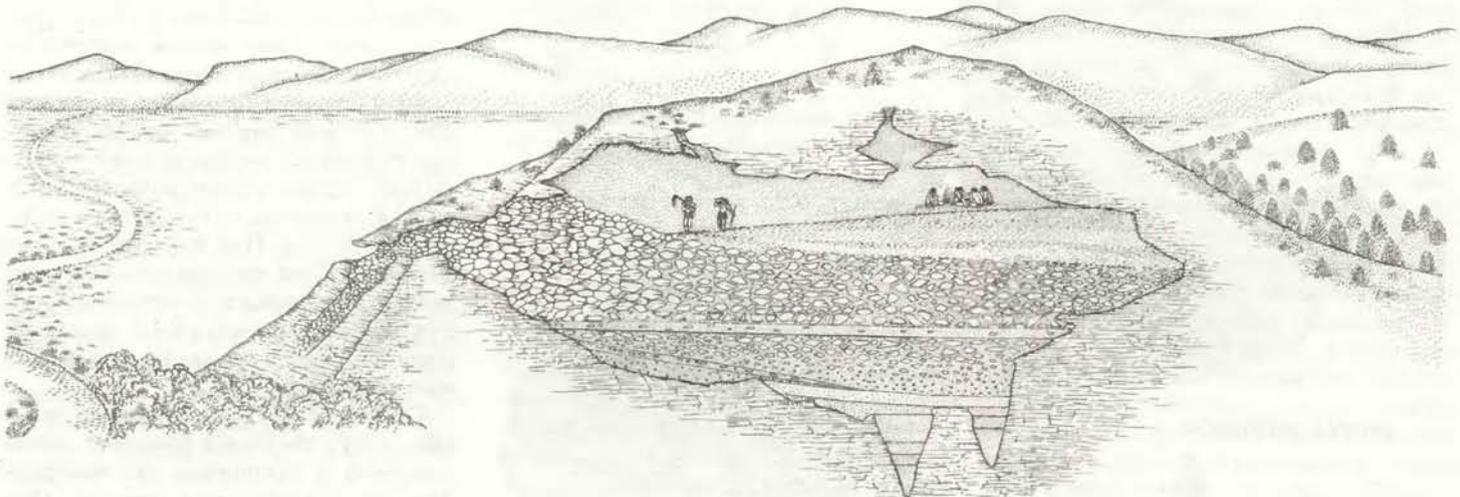
ним из авторов статьи (У Руканом) и Дун Синжэнем, сотрудником Института палеонтологии позвоночных и палеоантропологии. Особое внимание при этом уделялось изучению емкости черепа. Необходимо отметить, что по

объему мозга нельзя прямо судить о степени развития интеллекта. Гоминид с более крупной черепной коробкой вовсе не обязательно, так сказать, умнее. Тем не менее вряд ли стоит сомневаться, что современный человек, сред-

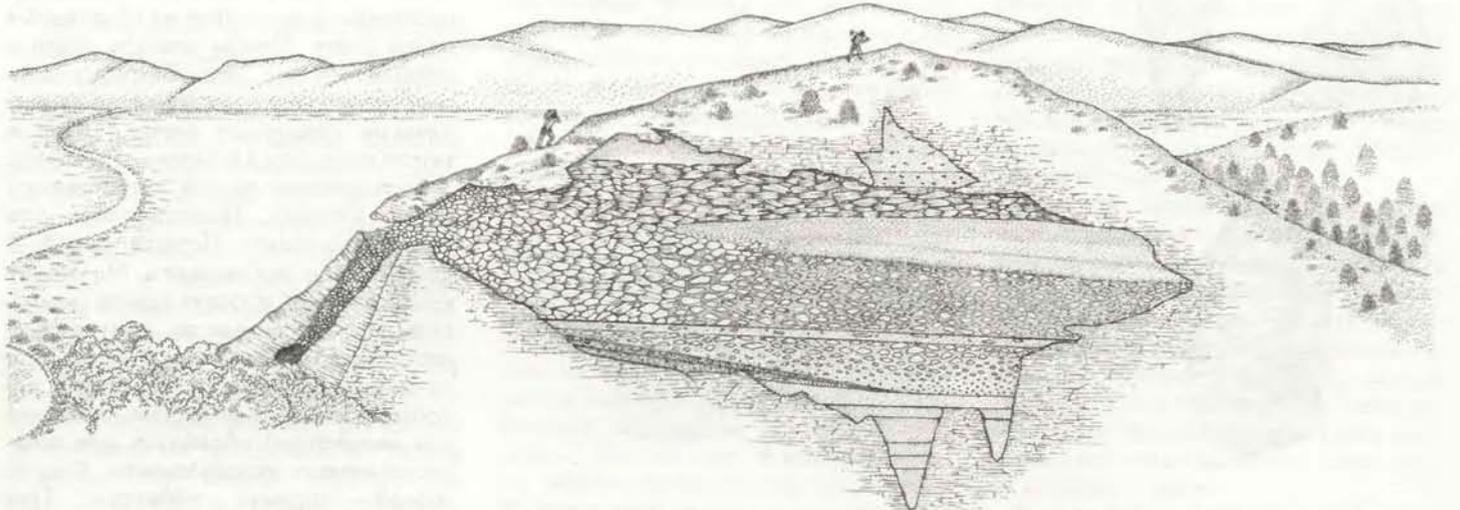
4



5



6



лучилось просторное и удобное убежище, в котором примерно 460 тыс. лет назад поселились люди (4); они жили в основном в восточной части пещеры. 350 тыс. лет назад произошел сокрушительный обвал. Но пекинский человек снова проник в пещеру сквозь щель в центральной ее части и по-

селился в ее западной трети (5). 230 тыс. лет назад древние люди ушли из пещеры, которая к тому времени заполнилась обрушившей породой и отходами человеческой деятельности (6).

ний объем мозга которого составляет 1450 см³, произошел от более ранних форм с меньшей емкостью черепа. Другими словами, существует отчетливая эволюционная тенденция к увеличению размеров мозга. Вот почему для представителей рода *Homo* такой показатель, как емкость черепа, может служить одним из указаний на место в эволюции.

Принято считать, что в период от 3 до 1,5 млн. лет назад объем мозга человека и его предков менялся мало, ко-

леблясь в пределах 500—800 см³. Именно такова емкость черепа у австралопитека и у *Homo habilis*. У яванского человека (он жил около 1 млн. лет назад) объем мозга составлял 900 см³. С появлением пекинского человека средняя емкость черепа достигла 1054 см³. (Эта цифра была получена на основании измерения шести почти полностью сохранившихся черепов из пещеры Чжоукоудянь. Среди них был и череп ребенка 8—9 лет; по своим размерам он, конечно же, уступает черепам взрослых

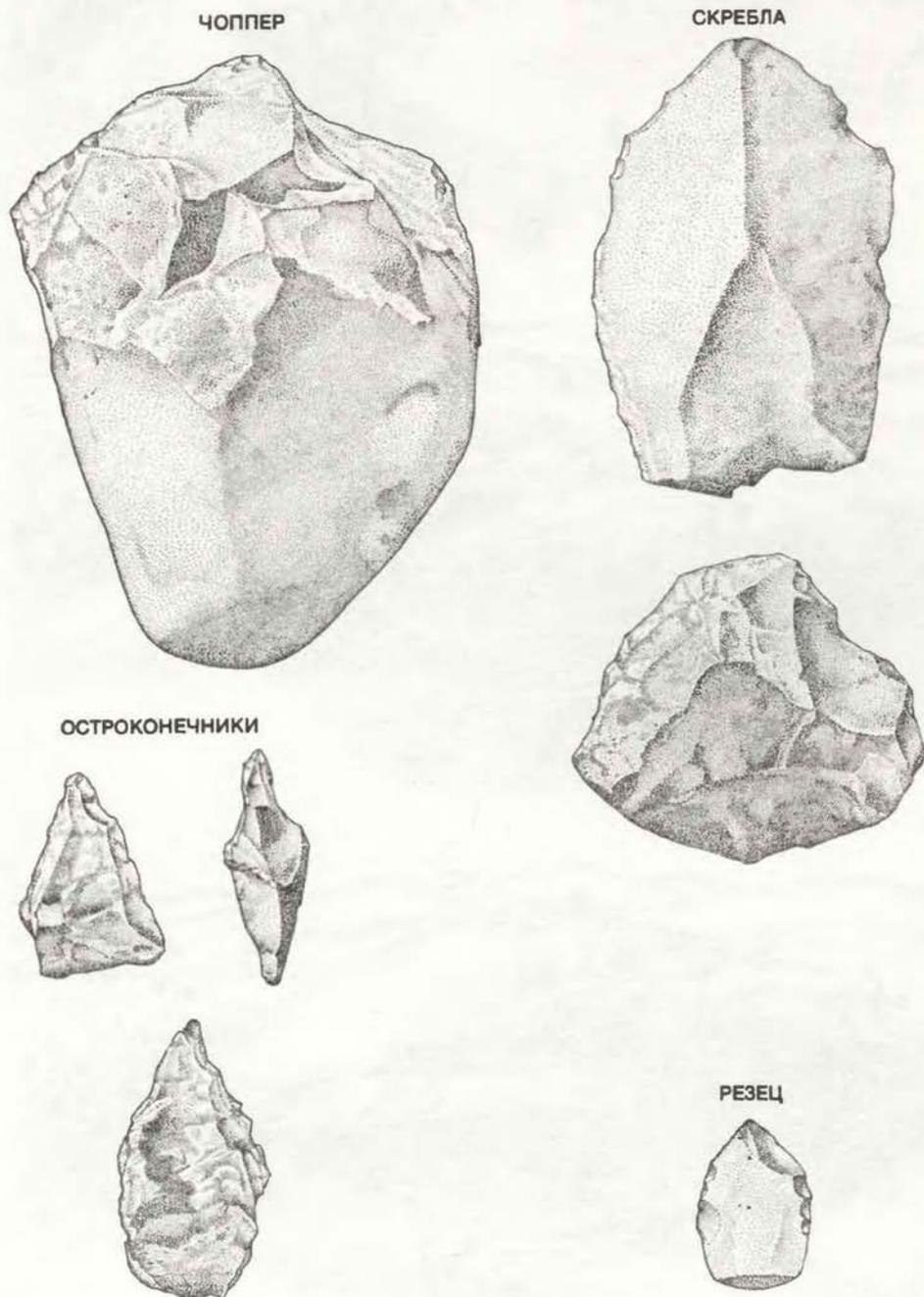
людей. Если не принимать его в расчет, то средняя емкость черепа пекинского человека составит 1088 см³.) Причем можно проследить, как менялся этот показатель с течением времени. Средний объем мозга для четырех черепов пекинского человека, найденных в восьмом и девятом слоях, абсолютный возраст которых составляет более 400 тыс. лет, равен 1075 см³. Емкость черепа, обнаруженного в третьем слое (древность 230 тыс. лет), существенно больше — 1140 см³. Таким образом, можно сказать, что за 200 тыс. лет обитания в пещере пекинский человек по своим анатомическим особенностям стал ближе к современному.

Орудия пекинского человека

По мнению большинства антропологов, морфологическая эволюция древнего человека шла гораздо медленнее и была менее заметна, нежели изменения в его поведении и образе жизни. С этой точки зрения важнейшим мерилем эволюционного прогресса являются орудия и техника их изготовления. Систематический анализ каменных орудий пекинского человека провели три года назад сотрудники Института палеонтологии позвоночных и палеоантропологии Пэй Вэнчжун и Чжан Шэньшуй. Они пришли к выводу, что эволюция пекинского человека более отчетливо отражается в его орудиях и способах обработки камня, чем в костных остатках.

Каменные орудия пекинского человека могут считаться довольно совершенными в отношении как материалов, так и технических приемов. Они изготовлены преимущественно из кварца, горного хрусталя, кремня и песчаника, а не только из обкатанных водой галек. Чтобы достать кварц и горный хрусталь, первобытному человеку приходилось искать места выветривания гранитных пород, которые могли находиться и далеко от пещеры.

Большинство орудий представляют собой отщепы. Изготавливались они тремя способами. Первый способ — «оббивка на наковальне». На землю клали большой плоский камень («наковальню») и ударяли по нему куском песчаника, от которого в результате откалывались отщепы. Те из них, которые подходили по форме, отбирали для дальнейшей обработки или непосредственного использования. Второй способ — «прямая оббивка». При этом кремневый нуклеус держали в руке и от него как молотком отбивали сколы вторым камнем (отбойником), который находился в другой руке. Третий способ называется «биполярной оббивкой». На землю укладывали



КАМЕННЫЕ ОРУДИЯ пекинского человека: чоппер (вверху слева), скребла (вверху справа), остроконечники (внизу слева) и резец (внизу справа). Они изготавливались из кварца, горного хрусталя, кремня и песчаника. Некоторые отщепы шли в дело в необработанном виде, другие обрабатывались ретушью, и получались специализированные орудия, такие, как остроконечники и резцы. Преобладали мелкие орудия (легче 20 г и короче 40 мм), но на ранних стадиях развития пекинского человека они были крупнее.



ОГОНЬ служил пекинскому человеку с самого начала его жизни в пещере. Об этом свидетельствуют обнаруженные в отложениях четыре слоя золы. Самый мощный из них достигает в толщину 6 м, самый тонкий — немного более 1 м.

большой плоский камень — «наковальню», на него помещали кусок кварца и, поддерживая его в вертикальном положении, ударяли сверху отбойником, в результате чего с обоих концов камня откалывались пластины, так называемые биполярные отщепы.

Какую-то часть отщепов пекинский человек использовал в необработанном виде, но он изготавливал также и специализированные орудия — скребла, остроконечники, чопперы, резцы и проколки. Рабочий край орудия обрабатывался методом прямого удара, как правило, с наружной поверхности отщепы. Иногда ретушь наносилась с обеих сторон.

На основании изменений размеров орудий, материалов, из которых они изготовлены, и технических приемов обработки камня Пэй и Чжан выделили три периода в развитии каменной культуры пекинского человека. К самому раннему периоду (460 тыс. — 420 тыс. лет назад) относятся орудия, найденные в слоях с восьмого по одиннадцатый. Они характеризуются сравнительно большими размерами (вес более 50 г, длина более 60 мм) и изготовлены, как правило, из мягких пород (15—20% всех орудий сделано из песчаника). В это время человек в равной мере применял все три способа получения отщепов. Во второй период (370 тыс. — 350 тыс. лет назад) способ «оббивки на наковальне» вышел из употребления и отщепы изготавливали в основном методом биполярной оббивки, в связи с чем орудия стали меньше. Так, доля орудий, весящих менее 20 г и не

достигающих в длину 40 мм, возрастает до 68%, а доля крупных орудий снижается до 12%.

В третий период (300 тыс. — 230 тыс. лет назад) по сравнению с предыдущими каменная техника наиболее совершенна: орудия невелики по размерам, а материалы, из которых они изготовлены, довольно разнообразны и лучшего качества. Среди каменных орудий, найденных в слоях с первого по пятый, доля мелких составляет 78%, а крупных — всего 5%. Для изготовления отщепов использовался преимущественно кварц, причем низкосортные его разновидности шли в дело реже. В самых верхних слоях существенно больше кремневых орудий (до 30%) и практически исчезают орудия, сделанные из песчаника, — их всего 1% от общего числа каменных изделий.

На сравнительно высокий уровень развития культуры указывает также то, что пекинский человек пользовался огнем. Судя по всему, он овладел этим искусством еще на самых ранних этапах жизни в пещере. Исследователи обнаружили четыре толстых слоя золы, сформировавшихся в период от 460 тыс. до 230 тыс. лет назад. Толщина самого мощного из них достигает в некоторых местах 6 м, его возраст 310 тыс. — 290 тыс. лет. В пещере найдены также отдельные кучи золы: видимо, пекинский человек умел сохранять и поддерживать огонь.

Каким образом древние люди овладели огнем и научились им пользоваться? Пока мы не можем дать исчерпывающего ответа на этот вопрос, ограни-

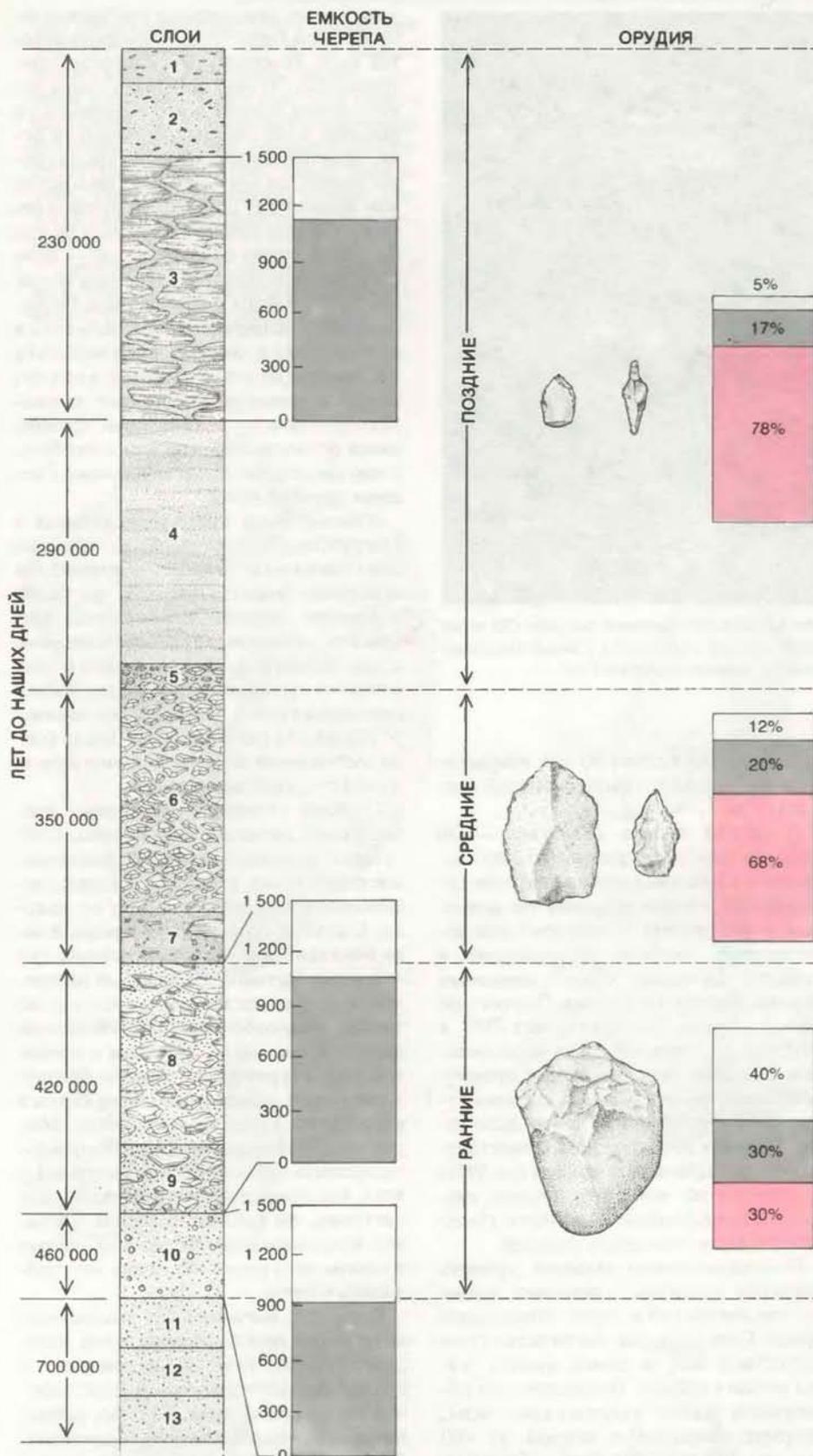
чимся лишь некоторыми соображениями общего характера. Пекинский человек был, пожалуй, еще слишком примитивным, чтобы добывать огонь искусственно. Скорее всего он прибегал к помощи естественных источников огня. Заметив загоревшееся во время грозы дерево, он мог зажечь от него ветку или хворостину и принести огонь в пещеру. Однако нужно было еще и во что бы то ни стало сохранить его — ведь естественные пожары случались не так уж часто. Чтобы поддерживать огонь, надо либо непрерывно подкладывать в костер дрова и хворост, либо засыпать тлеющие угли золой и землей, а потом, выкопав угли и подув на них, разжигать новый костер. Очевидно, древние люди пользовались вторым способом, о чем свидетельствуют найденные в пещере остатки углей.

Каковы были природные условия в местности Чжоукоудянь во времена обитания там пекинского человека? На основании анализа пыльцы растений сотрудник Института ботаники Китайской академии наук Кон Чжаочэнь и его коллеги пришли к выводу, что климат в ту межледниковую эпоху был примерно таким, как и сегодня на севере Китая. На равнинах и в долинах росли лиственные леса умеренного пояса, в горах — хвойные деревья.

С одной стороны, умеренному климату свойственны суровые зимы. Собственно заселение пещеры и пользование огнем были, вероятно, вызваны необходимостью найти защиту от холода. С другой стороны, в умеренной зоне богатый растительный покров, так что первобытный человек был обеспечен не только дровами и хворостом, но также разнообразной растительной пищей, в том числе семенами и плодами. В культурном слое пещеры обнаружено много обгоревших семян каркаса китайского. По-видимому, люди собирали их, обжаривали и ели. Результаты анализа пыльцы свидетельствуют о том, что пекинский человек знал такие растения, как каштан, орешник, сосна, вяз, вьющаяся роза. Возможно, семена и плоды этих растений также употреблялись в пищу.

Большое значение для выживания вида имела охота. Мясная пища является лучшим источником энергии и белка, чем вегетарианская. Как охотник пекинский человек, видимо, успешно соперничал с крупными хищниками. Судя по обилию ископаемых костей млекопитающих различного размера, обитатели пещеры Чжоукоудянь охотились не только на мелкую дичь, но и на большого зверя.

У животных наблюдается определенное соотношение между размерами хищника и его жертвы. Так, лиса не может убить зебру, которая в то же время служит добычей льву. Пользуясь оружием, человек смог выйти за рамки



ЭВОЛЮЦИЯ ПЕКИНСКОГО ЧЕЛОВЕКА на протяжении 230 тыс. лет обитания в пещере выразилась в изменении объема мозга (слева) и развитии каменной культуры (справа). В отложениях с остатками пекинского человека выделяют 13 слоев. Черепа найдены в 10-м слое, на границе 8-го и 9-го слоев и в 3-м слое. Емкость самого древнего из 6-ти найденных черепов — 915 см^3 , 4-х более поздних — в среднем 1075 см^3 , самого позднего из найденных — 1140 см^3 . За время обитания в пещере объем мозга увеличился на 100 см^3 . Культурную эволюцию пекинского человека можно разделить на три стадии. Для самой ранней стадии характерны чопперы и скребла; 40% орудий были крупными (белый цвет), 30% — среднего размера (серый цвет) и 30% — мелкими (красный цвет). На третьей стадии появляются более сложные орудия, доля крупных и средних орудий уменьшается соответственно до 5 и 17%, а доля мелких увеличивается до 78%.

этого правила. Он с успехом охотился на оленей, более крупных и быстроногих, чем он сам. В пещере скопились кости по меньшей мере 3 тыс. особей двух видов оленей — *Megaceros pachyosteus* и *Pseudaxis grayi*. Можно думать, что олени были излюбленным объектом охоты пекинского человека.

Социальная адаптация

Итак, пекинский человек жил в пещере, пользовался огнем, охотился на оленей, собирал семена и изготовлял специализированные орудия. Ископаемые остатки и орудия свидетельствуют о его биологической и технологической адаптации. Гораздо труднее говорить о его социальной адаптации, поскольку мы практически не располагаем подобными данными. Тем не менее на основании наших исследований можно предложить три группы соображений. Первое. Собираательство — это, вообще говоря, примитивный труд, которым можно заниматься и в одиночку. Охота же, в особенности на крупных животных, — сложное, трудное и опасное занятие; оно требует согласованных действий индивидуумов. Следовательно, к тому времени, когда пекинский человек стал охотиться, он жил уже не в одиночку, а в коллективе себе подобных. Далее, найденные в пещере кости животных убедительно свидетельствуют, что первобытные охотники приносили добычу в пещеру и делились с другими членами группы, а не съедали ее в том месте, где была убитая жертва.

Второе. Охота на таких крупных и быстроногих животных, как олень, была весьма затруднительна для женщин из-за их физиологических особенностей (беременность, роды, вскармливание, уход за детьми). Поэтому можно предположить, что охотничья деятельность способствовала разделению труда между полами внутри группы. Как и во многих нынешних племенах охотников и собирателей, в сообществе пекинского человека уже мог установиться такой тип отношений, при котором мужчины занимаются охотой, а женщины — собираемостью.

И наконец, последнее. Тот факт, что на протяжении двухсот с лишним тысячелетий каменные орудия пекинского человека все время совершенствовались, заставляет предположить, что у обитателей пещеры были уже зачатки системы воспитания. Странно было бы думать, будто каждое поколение с самого начала проходило шаг за шагом весь путь развития каменной техники — от первого примитивного орудия в виде расколотой гальки до обработанного ретушью резца или скребла. Есть только один способ усвоения технологического опыта — передача его от старшего поколения младшему.

50 и 100 лет назад



ИЮНЬ 1883 г. Состоялось официальное открытие движения по большому мосту, соединяющему Нью-Йорк и Бруклин. В церемонии принял участие президент США, губернатор Нью-Йорка и другие официальные лица обоих городов. Со стороны Нью-Йорка на мост вступила процессия во главе со знаменитым Седьмым полком и военным оркестром из 90 музыкантов. Президента сопровождали конный и пеший полицейские эскорты, члены его кабинета, губернатор Кливленда и другие почетные гости в 25 экипажах. Президент со свитой проехал по мосту и был встречен мэром Бруклина и другими официальными лицами, после чего все они проследовали к мосту Сэндс-Стрит в сопровождении 23-го полка. Большое впечатление на всех присутствующих произвел салют с пяти военных кораблей и из орудий в резиденции губернатора. В нашей стране еще не было такой грандиозной демонстрации достижений пиротехники. Праздничная церемония завершилась торжественным приемом, данным президентом и губернатором в Бруклинской академии, после чего мост был открыт для публики. Тысячи людей шли по мосту от одного города до другого, образуя непрерывную процессию. Шествие продолжалось всю ночь.

Американский совет военных инженеров представил важный доклад о проведенных в Европе испытаниях тяжелых нарезных орудий Армстронга, Вулвича и Круппа. Авторы доклада утверждают, что в последних испытаниях было доказано преимущество кованой стали перед всеми ранее применяемыми материалами для изготовления брони. Плита из кованой стали, равная по толщине бортовой обшивке линкора «Инфлексибл» (60 см), может выдержать удар снаряда, выпущенного из 100-тонного орудия Армстронга. 12-дюймовые нарезные орудия наших береговых батарей являются достаточно эффективным оружием против легких судов вероятного противника, однако для борьбы с новейшими военными кораблями понадобятся орудия весом не менее 100 т. Примером такого гигантского орудия современной войны является пушка Армстронга, выпускающая снаряд весом в 1 т с помощью заряда пороха, весящего более 700 фунтов (280 кг).

Утверждают, что двигателю внутреннего сгорания Брайтона требуется всего 10 галлонов (38,5 л) сырой нефти,

чтобы развить постоянную мощность 5 л.с. и работать в течение 10 ч. Сырая нефть стоит не более 6-8 центов за 1 галлон. Отсюда можно вычислить, во что обходится 1 час работы двигателя указанной мощности. В двигателе пары нефти смешиваются с воздухом и воспламеняются под давлением. Сообщается, что новый двигатель имеет удачную конструкцию и его испытания прошли успешно.

Процесс открытой выплавки стали, известный под названием процесса Сименса — Мартена, получил не менее широкое распространение, чем бессемеровский. В настоящее время существуют мартеновские печи емкостью 15 — 25 т. Французская фирма Le Creusot, используя агрегат из нескольких печей, выплавляет 120 — 125 т стали за одну плавку. Мировое производство стали для изготовления обшивки кораблей, паровых котлов, гребных валов, артиллерийских орудий, колес и осей, проволоки, брони военных кораблей, а также для литейного и других видов производства в прошлом году составило не меньше 800 тыс. т. Существуют две разновидности мартеновского процесса. В Англии высококачественную железную руду растворяют в расплавленном сыром железе с небольшими добавками стального и железного лома. Фирма Le Creusot плавит большие количества спрессованного железа в тигле. Используемое при этом железо отличается высокой чистотой, содержание фосфора и серы в нем не превышает 0,01%.

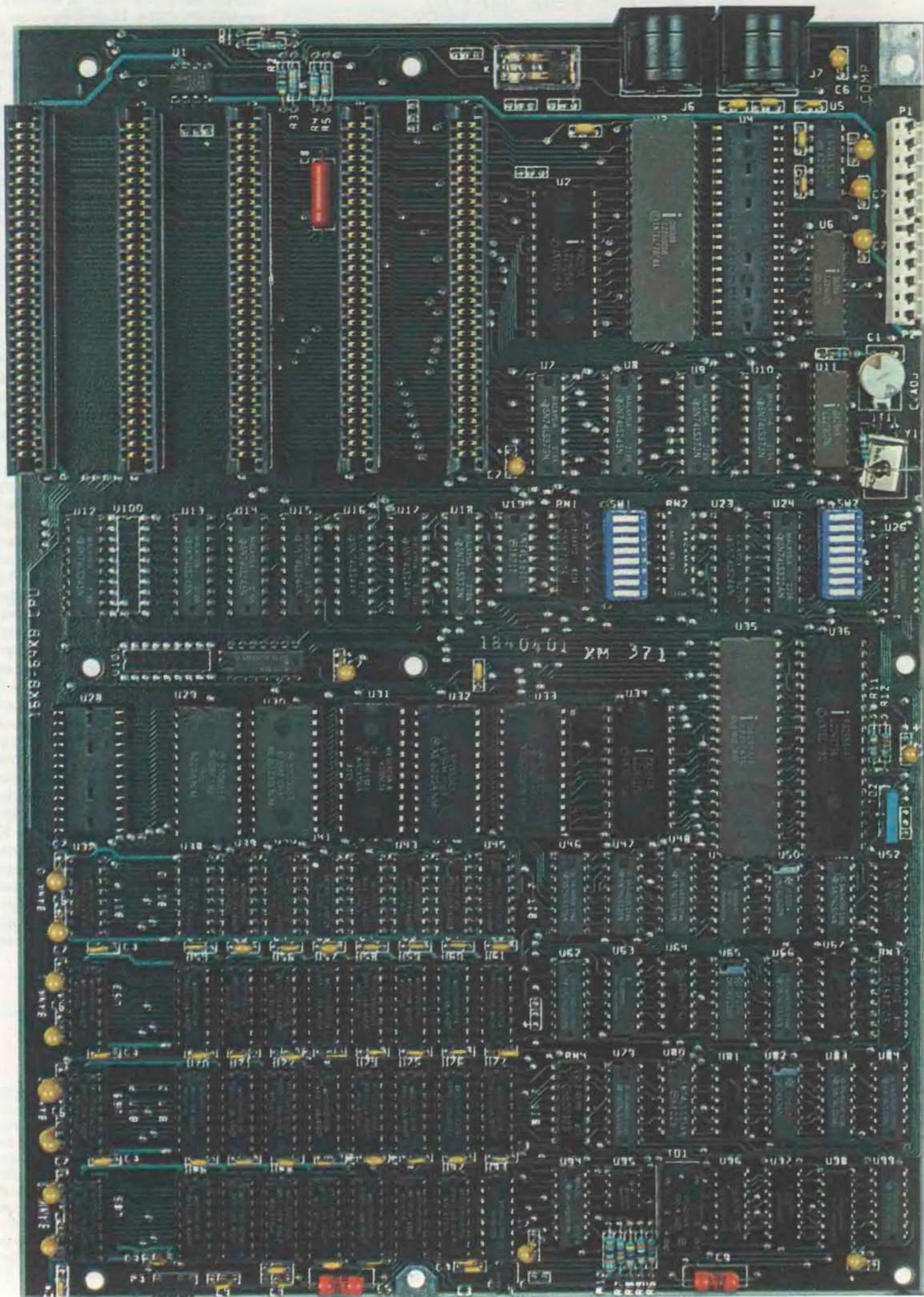
Существует немного областей бизнеса или торговли, в которых англичане готовы признать превосходство американцев. Однако есть область, в которой такое превосходство признается безоговорочно. Это область рекламы. Англичанам вряд ли известно, насколько высок уровень рекламного дела в США. Убедительная реклама рассматривается в Америке как *необходимость*, тогда как в Англии лишь немногие фирмы прибегают к рекламированию своей продукции в журналах.



ИЮНЬ 1933 г. Катастрофа с дирижаблем «Акрон» и невосполнимая потеря храброго и высококвалифицированного экипажа потрясла всю страну. В связи с этим в прессе и конгрессе началась шумная кампания за свертывание всей

программы строительства жестких дирижаблей в США. Надо надеяться, что конгресс не примет опрометчивого решения. По крайней мере строительство «Мэйкона», который уже почти готов, необходимо завершить и ввести в эксплуатацию. При длительных военных операциях на море дирижабли с их большим радиусом действия и способностью нести на борту сразу несколько скоростных разведывательных самолетов остаются наиболее удобным средством получения информации. Ничто не может заменить дирижабли при дальнейшей разведке. Ютландское сражение имело бы для англичан более благоприятный исход, если бы и них был жесткий дирижабль такого же класса, как и у немцев.

Когда лейтенант — коммодор Фрэнк Хокс — составлял техническое задание фирме Техасо на постройку самолета «Скай Чиф», он полагал, что ставит перед исполнителями трудную задачу. Аэроплан должен был иметь запас горючего не менее чем на 3 200 км и летать со скоростью свыше 320 км/ч, а посадочная скорость его не должна была превышать 110 км/ч. До сих пор все скоростные аэропланы имели отношение полетной и посадочной скоростей от 2½ до 3. Коммодор Хокс требовал от изготовителей увеличить это соотношение до 4:1. Поставленную задачу удалось решить фирме Northrop Corporation уже после первых полетов аэроплана «Скай Чиф». По предварительным данным, максимальная скорость его достигает 400 км/ч, а крейсерская скорость превышает 320 км/ч. В то же время посадочная скорость составляет всего 65-80 км/ч, то есть соотношение достигает 5:1. Столь высокое соотношение скоростей достигнуто за счет использования больших закрылков, или «воздушных тормозов». Концевая часть крыла разрезана по длине таким образом, что с задней стороны образуется закрылок шириной около 20% от ширины крыла. Он подвешен к крылу на шарнирах и может подниматься и опускаться с помощью механического привода из кабины.



Персональные компьютеры

Эти портативные недорогие вычислительные машины обладают многими возможностями больших компьютеров. С ними могут работать люди, не имеющие никакой технической подготовки. Их широкое внедрение облегчит решение многих задач на производстве, в науке, в сфере управления и даже в быту

ХУ МИН Д. ТУНГ, АМАР ГУПТА

ЕСЛИ БЫ за последние 25 лет авиационная промышленность развивалась столь же стремительно, как и вычислительная техника, то Боинг-767 можно было бы приобрести сегодня за 500 долл. и облететь на нем земной шар за 20 мин, израсходовав при этом 19 л горючего. По этой аналогии, хотя и не совсем точной, можно судить о темпах снижения стоимости и энергопотребления и роста быстрей-

вья вычислительных машин. Цены на логические элементы компьютеров ежегодно снижаются на 25%, а для устройств памяти этот показатель еще выше — 40%. За 25 лет скорость вычислений возросла в 200 раз, а размеры и потребление электроэнергии при этом у современных ЭВМ стали в 10 000 раз меньше, чем у машин сравнимой производительности 25-летней давности.

Все это предопределило появление персональных компьютеров — машин стоимостью до 500 долл., которые могут предоставить индивидуальному пользователю практически такие же вычислительные ресурсы, какими в начале 60-х годов обладали большие, а в начале 70-х годов — мини-компьютеры. 20 лет назад расходы на приобретение и эксплуатацию ЭВМ оправдывались лишь в том случае, если она удовлетворяла запросы крупного предприятия. Мини-компьютеры, получившие широкое распространение в 70-х годах, уже могли приобретаться отдельными или группой специалистов таких предприятий. Теперь же персональный компьютер доступен каждому и может служить рабочим инструментом любому человеку. Более того, если рентабельность производства делает эти компьютеры общедоступными, то использование при их создании новых технических решений обеспечивает все возрастающее «взаимопонимание» между человеком и машиной. В результате люди, не обладающие никакой технической подготовкой, могут использовать большой набор разнообразных функций, выполняемых компьютером.

Первый персональный компьютер появился в продаже в 1975 г., а к концу 1982 г. только в США в личном пользовании находилось уже более миллиона таких машин. В 1981 г. общий объем сбыта персональных компьютеров и дополнительных принадлежностей к ним составил в США 2,2 млрд. долл. Ожидается, что в 1985 г. этот показатель превысит 6 млрд. долл. Еще в конце 50-х годов, когда электронная промышленность только намечала выпуск миниатюрных схем на кристалле кремния, уже стали говорить о компьютерной революции. Однако, судя по всему, до сих пор имел место лишь устойчивый, хотя и очень быстрый, эволюционный процесс развития вычислительной техники. Между тем широкое распространение персональных компьютеров — это как раз то, что может по-



РАСПОЛОЖЕНИЕ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ персонального компьютера фирмы IBM на схемной плате, изображенной на цветной фотографии слева. Габариты платы 216 × 305 мм. На ней смонтировано большое число кремниевых микросхем; каждая имеет размер примерно 6,5 × 6,5 мм и размещена в прямоугольном пластмассовом корпусе с выводами. Микросхемы и пассивные компоненты (резисторы и конденсаторы) соединяются между собой «печатными» проводниками. 16-рядный микропроцессор модели 8088 фирмы Intel Corporation содержит 20 тыс. транзисторов и имеет тактовую частоту около 5 МГц. «Системные программы» размещаются в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ), а в запоминающем устройстве с произвольной выборкой (ЗУПВ) хранятся те программы и данные, которые меняются в процессе работы системы.

служить толчком к действительно революционному перевороту в методах хозяйственной деятельности, в подходе человека к организации своих личных дел, а возможно, даже и в методах человеческого мышления.

Анатомия компьютера

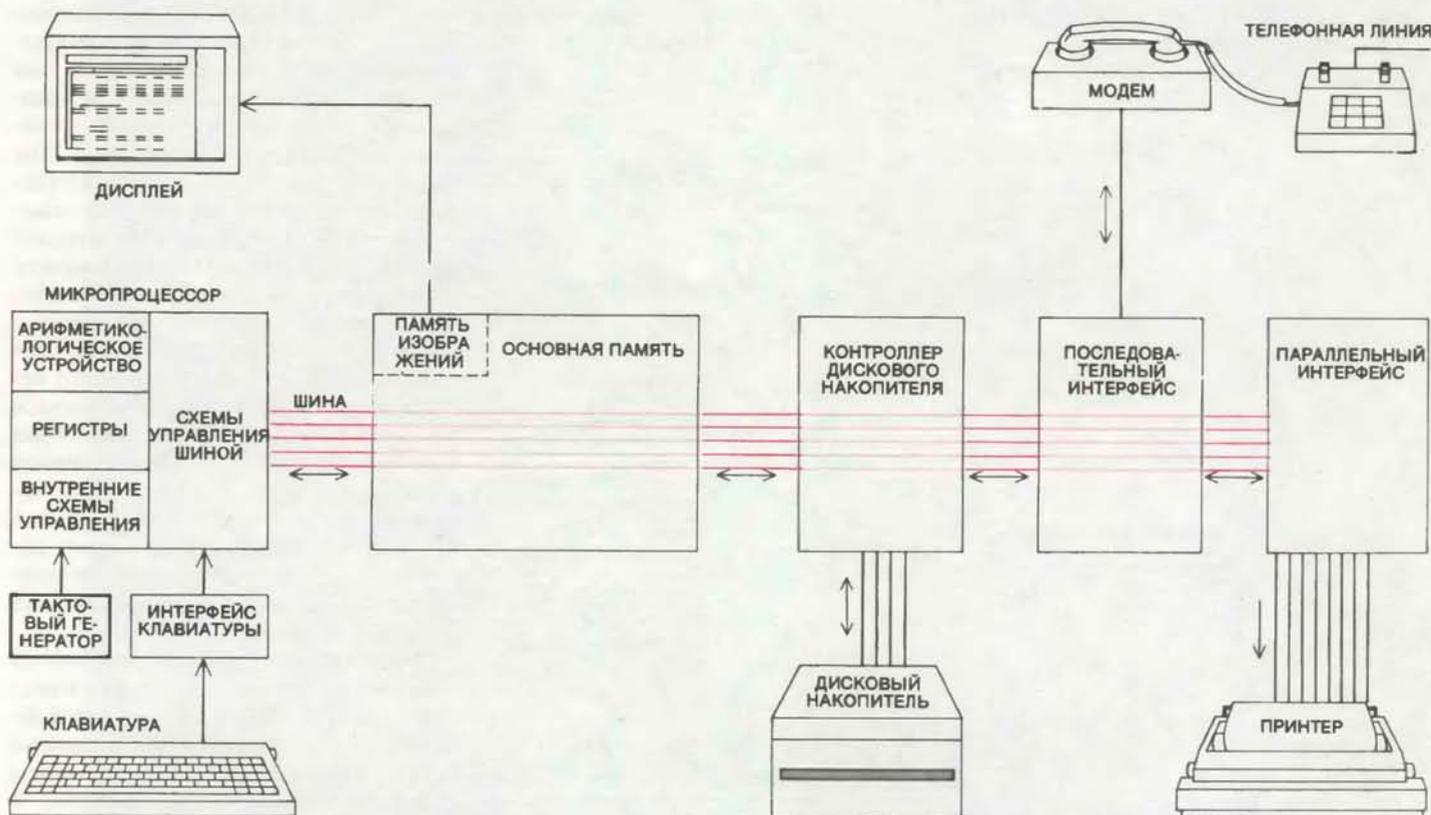
Компьютер представляет собой машину, основные задачи которой — восприятие, хранение, обработка и передача информации. Выполняемую задачу компьютер разбивает на отдельные логические операции, производимые над двоичными числами (последовательностями нулей и единиц), причем в одну секунду осуществляются сотни тысяч или миллионы таких операций. Главный элемент компьютера — центральный процессор (ЦП) выполняет основные арифметические и

логические действия и контролирует работу всей системы. В персональном компьютере в качестве ЦП используется микропроцессор — интегральная схема (ИС) на кристалле кремния, размер которой обычной 6 × 6 мм. На других кристаллах размещается основная память компьютера, реализующая хранение инструкций (команд на выполнение операций) и данных. Имеется также ряд дополнительных ИС, которые организуют процедуры ввода/вывода информации и обеспечивают функции управления. ИС монтируют на пластмассовую схемную плату с нанесенными на нее проводниками для взаимного соединения ИС и подвода питания к ним. Плату устанавливают в корпус; некоторые образцы машин содержат более одной схемной платы.

Информация вводится в компьютер с клавиатуры или поступает из периферийной памяти, например накопителей на магнитных лентах или дисках. Ре-

зультаты вычислений отображаются на экране терминала, в качестве которого используется либо устройство видеотображения на основе электронно-лучевой трубки, входящее в состав компьютера и называемое монитором, либо обычный телевизионный приемник. Результаты могут выдаваться и в форме распечатки на бумаге; для этой цели служит отдельное печатающее устройство — принтер. Предусматривается также подключение устройства под названием модем (модулятор — демодулятор); оно преобразует цифровую информацию с компьютера в электрические сигналы для передачи их по телефонным линиям.

ИС и другие электронные компоненты, а также различные внешние устройства составляют аппаратное обеспечение компьютера. Само по себе аппаратное обеспечение не может выполнять никаких операций; для его работы требуется множество программ,



АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА включает устройства для обработки и хранения данных, обмена информацией с пользователем и связи с другими электронными системами. Основные узлы соединены между собой шиной — параллельными проводниками (цветные линии). Устройство обработки, содержащее, как правило, не только ИС самого микропроцессора, но и ряд вспомогательных микросхем, осуществляет большую часть вычислительных операций и управляет всей системой. Исходные данные можно ввести в систему с клавиатуры. При нажатии некоторой клавиши формируется строго определенный код, который заносится в память изображений и таким образом может выводиться на экран дисплея (монитора). Основная память, состоящая из набора интегральных схем, хранит программы и данные, с которыми система по-

стоянно работает. Такая память называется также ЗУПВ. Считывание или изменение содержимого любого ее элемента может осуществляться независимо от всех остальных элементов. В отличие от ЗУПВ дисковая память, как правило, имеет большую емкость, однако обмен информацией с ней ведется медленнее и более крупными блоками данных. Компьютер соединяется с другими устройствами, например принтером или модемом (который обеспечивает связь с другими ЭВМ через телефонную сеть) с помощью интерфейсов. Последовательный интерфейс передает информацию в виде серии одиночных битов, а в параллельном интерфейсе по нескольким линиям за один такт передается целый набор (в большинстве случаев восемь) битов.

или инструкций, совокупность которых называется программным обеспечением. Ядром программного обеспечения служит операционная система, управляющая последовательностью операций и контролирующая поток информации. Операционная система служит связующим звеном между машиной и человеком — оператором, а также между машиной и так называемыми прикладными программами, которые дают возможность выполнять некоторые стандартные задания: решать дифференциальные уравнения, заполнять платежные документы или редактировать текст письма. Программы, как правило, хранятся в периферийной памяти и вызываются в основную память, как только возникает необходимость в решении конкретной прикладной задачи.

Что такое персональный компьютер

Персональный компьютер — это небольшая ЭВМ, основой которой служит микропроцессор; иначе говоря, это микро-ЭВМ. Однако не все микро-ЭВМ являются персональными. Микро-ЭВМ может быть ориентирована на решение одной задачи, например на управление станком или регулирование подачи топлива в автомобильный двигатель; она способна обрабатывать тексты, использоваться в качестве телевизионного игрового устройства или карманного калькулятора, который в принципе даже нельзя назвать компьютером. Персональный же компьютер — это нечто иное. Действуя как самостоятельная вычислительная машина, он предоставляет в распоряжение индивидуального пользователя самые разнообразные функциональные возможности. В дальнейшем мы будем полагать, что персональный компьютер представляет собой систему, обладающую следующими характеристиками:

1. Стоимость всей системы менее 5 тыс. долл.

2. В состав системы входит периферийная память в виде кассетных накопителей на магнитной ленте (НМЛ) или магнитных дисках (НМД), либо она должна иметь возможность подключаться к аналогичным устройствам других систем.

3. Микропроцессор способен функционировать совместно с памятью объемом по крайней мере 64 килобайт. [Один килобайт (кбайт) или 1К байт равен 2^{10} , или 1024 байт, а один байт равен восьми битам, т.е. двоичным цифрам. Один байт — это, например, один знак алфавита или одна-две десятичные цифры. Память емкостью 64К байт обеспечивает хранение 65 536 знаков — примерно 10 тыс. английских слов.]

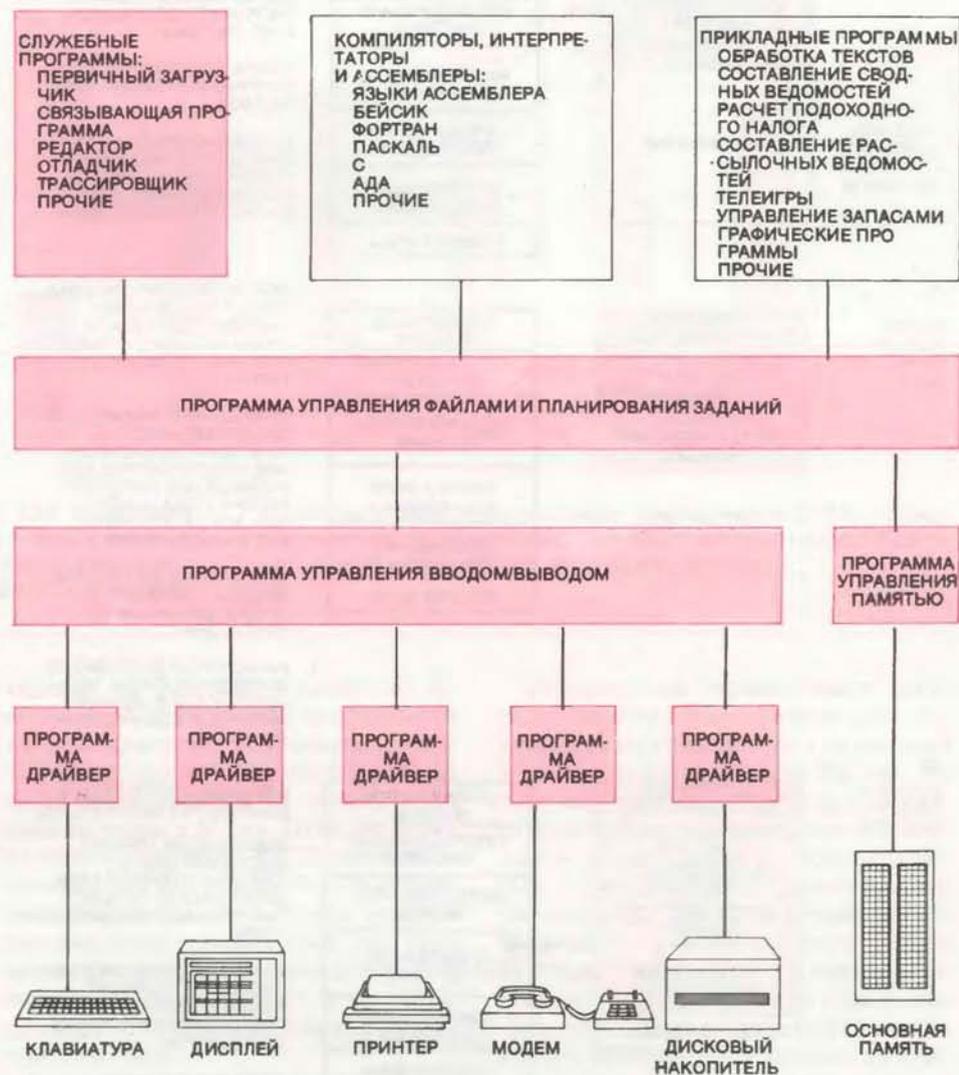
4. Компьютер способен работать с программами, написанными по крайней мере на одном из языков программирования высокого уровня, таких, как Бейсик, Фортран или Кобол. В языках этого типа инструкции могут записываться с весьма высокой степенью абстракции без учета конкретного характера машинных операций.

5. В компьютере обязательно наличие операционной системы, которая

упрощает его взаимодействие с человеком в режиме диалога; компьютер медленно (или по крайней мере быстро) реагирует на запросы или действия оператора.

6. Такие машины рассчитаны главным образом на широкую продажу и предназначены в первую очередь для тех, кто раньше не имел дела с компьютерами.

7. Система достаточно универсаль-

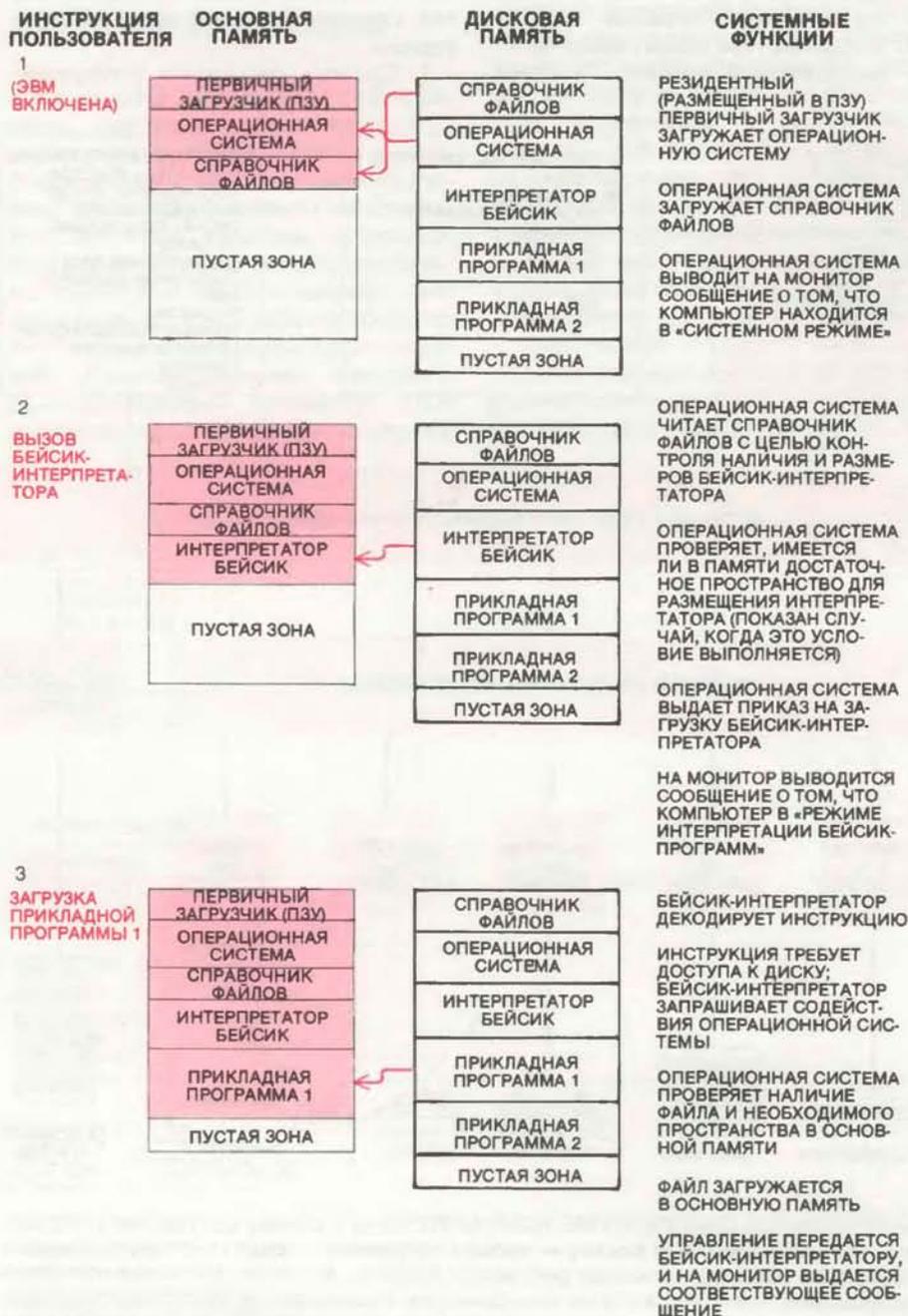


ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРА, его основу составляет операционная система (*цветные блоки*) — набор программных средств, осуществляющих управление вычислительными ресурсами машины, контроль хранения программ и другой информации, а также координацию прохождения различных заданий. Процедуры, определяемые пользователем, выполняются с помощью прикладных программ. В принципе прикладную программу можно составить так, что она будет выполняться без участия операционной системы, но в этом случае в ней пришлось бы предусмотреть подробные инструкции по распределению ресурсов как основного ЗУ, так и дисковой памяти и по управлению функционированием внешних устройств, подключенных к компьютеру. Все эти функции берет на себя операционная система. Чтобы ЭВМ могла выполнить программы, они должны быть представлены в «машинном языке» (в виде последовательности двоичных цифр). Перевод (трансляция) на такой язык осуществляется с помощью программ, называемых ассемблерами, компиляторами и интерпретаторами. Ассемблеры и компиляторы транслируют всю программу до ее выполнения, а интерпретаторы переводят инструкции одну за другой по мере прохождения программы. В составлении и контроле за ходом выполнения прикладных программ пользователями могут оказывать содействие разнообразные служебные программы (утилиты), которые иногда рассматриваются как часть операционной системы. Например, программа первичной загрузки сразу же после включения компьютера выдает инструкции начала работы, а программа трассировки позволяет проверять текущее состояние вычислительной системы.

на, что дает возможность выполнять обширный набор программ для различных приложений; она не ориентирована на решение какой-либо одной задачи или обслуживание только определенной категории пользователей.

Перечисленные характеристики, безусловно, изменятся, когда передовая технология даст возможность (а пользователи потребуют) включить в основную комплект персонального компьютера дополнительный объем

памяти, а также ряд новых специализированных аппаратных и программных средств. Дав определение персонального компьютера, которое в силу обстятельств носит несколько вольный характер, перейдем теперь к более детальному описанию основных его блоков.

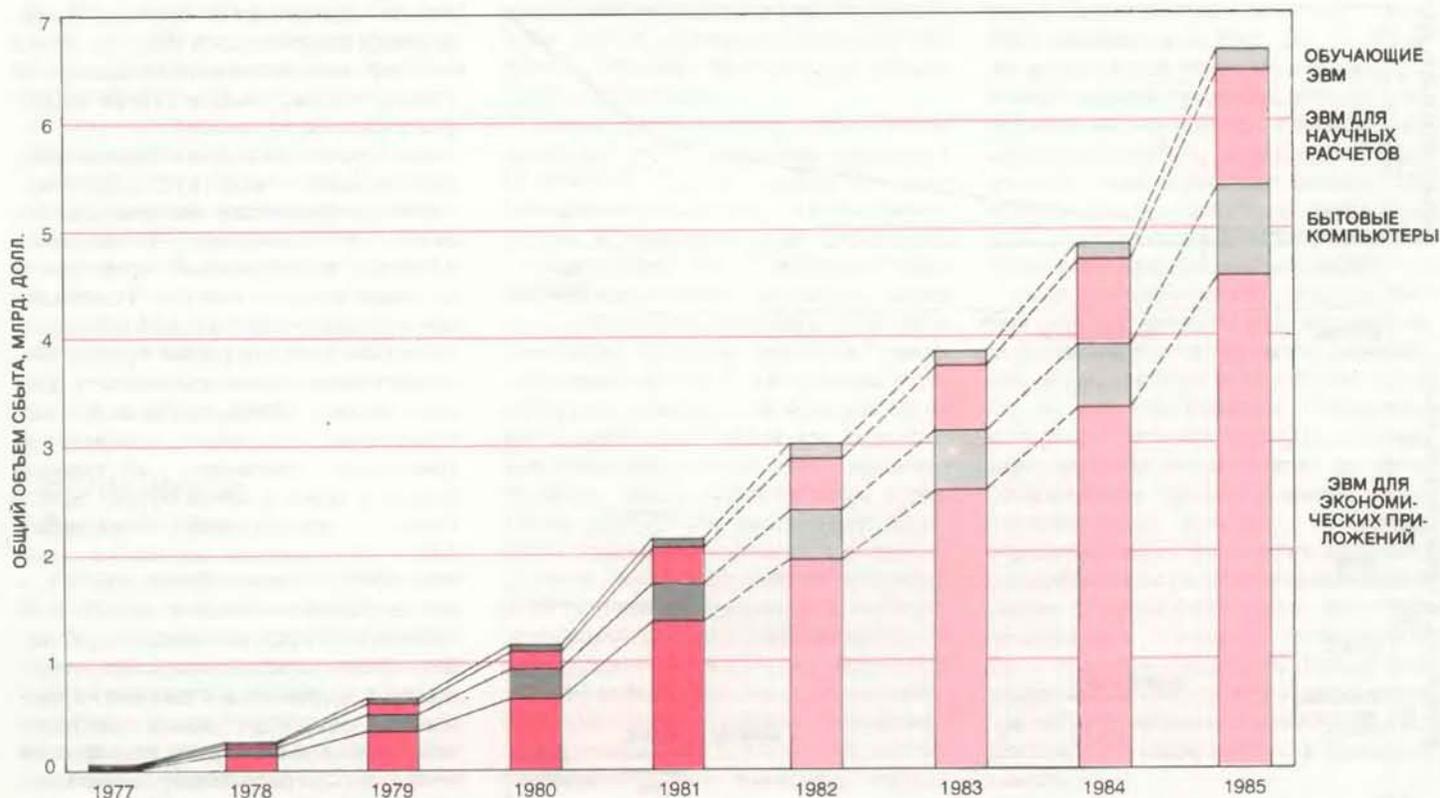


ФУНКЦИИ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ иллюстрируются на примере последовательности действий по загрузке прикладной программы. При включении компьютера (1) запускается программа первичной загрузки, которая заносит операционную систему в основную память. Операционная система переводит справочник файлов из дисковой памяти в основную; в справочнике файлов содержится адреса, т.е. данные о размещении всех программных и информационных файлов, записанных на диски. В ответ на следующую инструкцию (2) операционная система находит на диске интерпретатор языка Бейсик и, выяснив, достаточно ли места для его размещения, загружает интерпретатор в основную память. Пользователь при этом получает уведомление о готовности интерпретатора. (В некоторых персональных компьютерах этап 2 осуществляется автоматически как часть последовательности операций включения ЭВМ.) Затем дается инструкция операционной системе на загрузку самой прикладной программы (3). После этого прикладную программу можно выполнять под управлением интерпретатора. Полученный с помощью прикладной программы новый информационный файл может передаваться из основной памяти в дисковый накопитель.

Микропроцессор и память

Вычислительная мощность микропроцессора определяется двумя основными показателями — размером его информационного слова, задающим «ширину» тракта передачи данных в компьютере, и частотой электронного тактового генератора, который обеспечивает правильную работу во времени выполняемых компьютером операций. Для современных микропроцессоров характерна тенденция к увеличению размера слова и повышению тактовой частоты. Чем больше размер слова, тем меньше число машинных циклов требуется на выполнение любой операции, а с ростом частоты уменьшается длительность циклов. К тому же, как правило, чем больше размер слова, тем с большим объемом памяти может работать компьютер. В действительно отвечавших своему названию персональных компьютерах первого поколения, выпускавшихся в 1977 — 1981 гг., устанавливались 8-разрядные микропроцессоры (т.е. с шириной слова, равной восьми битам); совсем недавно созданы системы на основе аналогичных 16-разрядных устройств и разработаны ИС 32-разрядных микропроцессоров, которые в ближайшее время появятся в структурах законченных вычислительных систем. 8-разрядная ИС стоит сейчас 5 долл., 16-разрядная — 50 долл., а 32-разрядная — 250 долл. По мере снижения цен на ИС все большее число персональных компьютеров будет строиться на основе 32-разрядных процессоров. Тем не менее примерно до 1985 г. стандартными скорее всего будут 16-разрядные микропроцессоры. Что касается тактовой частоты вычислительных машин, то несколько лет назад она составляла один мегагерц (МГц, один миллион периодов в секунду), а теперь достигает 10 МГц.

Основная память в компьютере реализована на постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) и запоминающем устройстве с произвольной выборкой информации (ЗУПВ). В постоянной памяти хранится информация, записанная на предприятии-изготовителе, она должна быть неизменной в течение длительного времени. Структура ПЗУ как раз и обеспечивает такую неизменность. В компьютерах, ориентированных на конкретные приложе-



СБЫТ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ, как ожидается, будет продолжать экспоненциально расти. Диаграмма иллюстрирует ежегодные объемы продаж в соответствии с имеющимися оценками и прогнозами авторов статьи для че-

тырех категорий персональных компьютеров: ЭВМ для экономических приложений, бытовых компьютеров, машин для научных расчетов и обучающих систем.

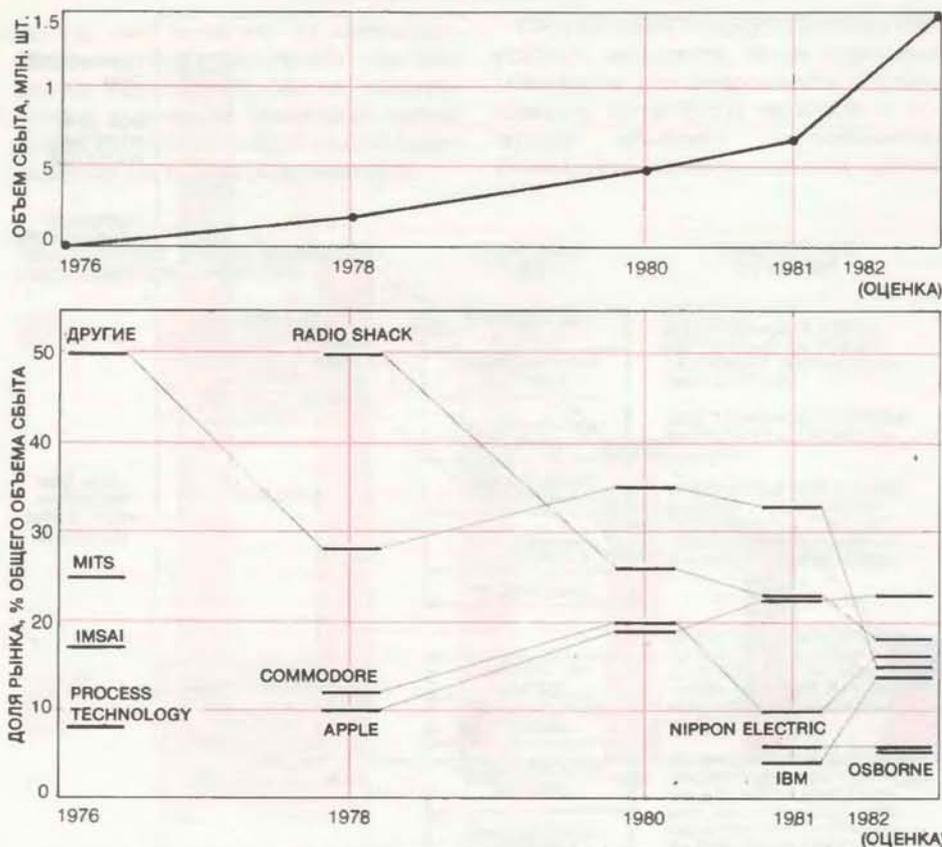
ния, например для обработки текстов, ПЗУ может хранить соответствующую прикладную программу. В универсальном персональном компьютере ПЗУ должно содержать лишь самые основные из системных программ, в частности те, которые «запускают» компьютер после включения питания, преобразуют в соответствующий код сигнал от какой-либо клавиши на клавиатуре или инициируют распечатку массива (файла) данных, хранимого в компьютере. По мере снижения цен на такие устройства памяти изготовители ЭВМ стремятся записывать все большее число системных программ в ПЗУ, а не в периферийную память.

Запоминающее устройство с произвольной выборкой называют также памятью чтения/записи: информацию можно записывать в него и считывать сколь угодно часто. В кристаллах ЗУПВ хранится информация, которая меняется в процессе работы ЭВМ, причем это могут быть как тексты программ, так и данные. Если например, некоторая программа переписывается из дисковой периферийной памяти в ЗУПВ, то, как только эта программа окажется в ЗУПВ, ее инструкциями может пользоваться микропроцессор. Кристалл ЗУПВ представляет собой матрицу из однотипных микрорезонансов, каждый из которых хранит один бит. Плотность записи информации в

серийно выпускаемых устройствах памяти на ИС, измеряемая числом битов на один кристалл, за прошедшее десятилетие возросла в 64 раза. В результате стоимость хранения одного бита данных упала в 50 раз. Пять лет назад на одном кристалле ЗУПВ умещалось не более 16К бит (16 384 бит) информации, теперь же в некоторых моделях персональных компьютеров уже имеются кристаллы емкостью 64К бит, и ожидается, что к 1984 г. в широкую продажу поступят ИС памяти емкостью 256К бит.

Несмотря на то что информация в каждом отдельном кристалле памяти представлена в виде массива битов, обмен ею между основной памятью и другими устройствами осуществляется байтами, и соответственно ими же измеряется емкость памяти ЭВМ. Персональный компьютер в типовой конфигурации оснащается ЗУПВ емкостью от 16 до 64К байт, и ее можно наращивать, устанавливая дополнительные платы (модули) памяти. В настоящее время пользователь обычно следует «золотому» правилу: приобретать систему, объем памяти которой позволяет записать по меньшей мере самую обширную из арсенала его прикладных программ. На большинстве имеющихся сейчас пакетов программ указывается минимальный объем памяти, требуемый для их размещения.

Стандартным периферийным носителем памяти служит гибкий диск. Такие диски изготавливаются из майлара и имеют диаметр 133 или 203 мм. На одну или обе стороны дисков наносится слой магнитного материала. Информация записывается на концентрические дорожки из микроскопических намагниченных участков; изменения направления намагниченности соответствуют записи нулей и единиц. Информация записывается на диск и считывается с него посредством головки записи, которая для установки на нужную дорожку перемещается над поверхностью вращающегося диска вдоль его радиуса. Дорожка в свою очередь разделена на ряд секторов, и, как правило, за один цикл записи или считывания обращение производится к одному сектору. В зависимости от установленного формата одна дорожка имеет от 8 до 26 секторов, а в каждый сектор записывается 128 — 512 байт данных. Полная емкость памяти на гибком диске варьирует в зависимости от плотности записи данных на одной дорожке (продольная плотность достигает 275 бит/мм), плотности размещения концентрических дорожек (поперечная плотность — до 60 дорожек на 1 мм по радиусу диска) и числа секторов, на которые разбита каждая дорожка. Емкость большинства современных гибких дисков равна



ГОДОВОЙ ОБЪЕМ СБЫТА персональных компьютеров за шесть лет вырос в 100 раз и более чем удвоился в 1981 г. (верхняя кривая). Компании, которые первыми стали производить эту продукцию, не выдержали конкуренции в первые же годы. Их вытеснили фирмы, изделия которых были рассчитаны на более широкого потребителя (нижняя диаграмма).

125 — 500К байт, но уже появляются в продаже диски с повышенной плотностью записи, что в итоге приведет к увеличению их емкости.

В персональных компьютерах могут применяться и другие, более дорогостоящие периферийные запоминающие устройства — винчестерские диски. В них магнитное покрытие наносится на жесткую алюминиевую пластину. Винчестерский НМД персонального компьютера обычно имеет емкость от 5 до 50 Мбайт (мегабайт, миллионов байтов) и обеспечивает более быстрый обмен информацией, чем НМД на гибких дисках. В то же время винчестерский диск жестко связан с механизмом накопителя, а его гибкий аналог можно извлекать из накопителя и заменять новым.

Более простые и дешевые периферийные носители памяти — это обычные магнитофонные кассеты с магнитной лентой. На одной кассете можно записать практически такой же объем информации, что и на гибком диске, имеющем относительно невысокую емкость. Время обращения к какому-либо конкретному адресу (или элементу) памяти для накопителей на магнитных лентах значительно больше, чем для НМД, поскольку лента перемеща-

ется несравненно медленнее диска, а также в связи с тем, что информация на ней записывается в виде одной длинной последовательности. Важным качеством любых магнитных периферийных носителей является их способность сохранять информацию даже после отключения питания компьютера.

Устройства вывода результатов

В персональном компьютере результаты вычислений выводятся на видеодисплей, выполненный, как правило, на базе электронно-лучевой трубки. Это либо монитор, поставляемый в комплекте с компьютером, либо обычный телевизионный приемник, уже имеющийся у покупателя. В настоящее время конкуренцию таким устройствам (и в первую очередь в портативных системах) начинают составлять плоские дисплеи с жидкокристаллическими или газоразрядными индикаторами. Информация о знаках, которые требуется вывести на экран с целью воспроизведения некоторого текста, хранится в виде ошределенных наборов точек в специальном ЗУПВ, называемом генератором знаков. Четкость

текста определяется числом точек, формирующих каждый знак. На экране стандартного монитора умещается 24 строки текста; каждая строка может содержать до 80 знаков.

Для воспроизведения графических изображений — конструкторских чертежей, графиков или движущихся объектов в телеиграх — необходимы сложные программные средства и большие объемы памяти. Изображение сложного чертежа или непрерывной кривой на диаграмме требует высокой разрешающей способности дисплея, которая определяется числом минимальных элементов изображения (пикселей), имеющих собственные ячейки в памяти компьютера. Черно-белое изображение размером 280×192 пикселей полностью занимает ЗУПВ объемом более 50К бит, а для изображения размером 128×48 элементов требуется лишь около 6К бит. Многие персональные компьютеры способны формировать цветные изображения, при этом объем необходимой памяти увеличивается по крайней мере в четыре раза. Изображения с высоким разрешением, особенно цветные, могут четко воспроизводиться только на мониторе.

Во многих случаях результаты вычислений желательно воспроизводить в виде печатного документа. Промышленность выпускает самые разнообразные печатающие устройства (принтеры), различающиеся в широких пределах по цене, скорости печати и качеству воспроизводимого текста. Термопринтеры стоимостью менее 500 долл. выжигают изображения на специальной бумаге со скоростью около 50 знаков в секунду (зн./с). Точечно-матричные принтеры стоят от 400 до 1500 долл. и отличаются высокой скоростью печати — до 200 зн./с. В этих принтерах над бумажным носителем перемещается матрица, содержащая от 5 до 18 миниатюрных проволочных игл. При поступлении сигналов с компьютера иглы ударяют по крающейся ленте, оставляя на бумаге определенные наборы точек. Качество формируемых знаков определяется в основном форматом точечной матрицы каждого знака; обычно эти матрицы содержат либо 5×7 , либо 7×9 точек. При наличии соответствующих управляющих программ и достаточного объема памяти точно-матричный принтер может формировать как черно-белые, так и цветные графические изображения.

Тексты, получаемые на большинстве термических и точно-матричных принтеров, вполне поддаются прочтению, но едва ли отвечают эстетическим требованиям. Для печати «типографского качества» необходимы более дорогостоящие устройства, работающие примерно по тому же принци-

пу, что и пишущие машинки. Одно из таких устройств — принтер с лепестковым шрифтоносителем, который стоит не менее 750 долл. и способен печатать со скоростью 55 зн./с. Печатающая головка представляет собой вращающийся диск с 96 или более радиально расходящимися лепестками; на каждом лепестке укреплен литер буквы или знака. Когда головка перемещается над бумагой, по сигналам от компьютера диск поворачивается, молоточек приводится в действие, заставляя соответствующий лепесток ударять по красящей ленте.

Программное обеспечение

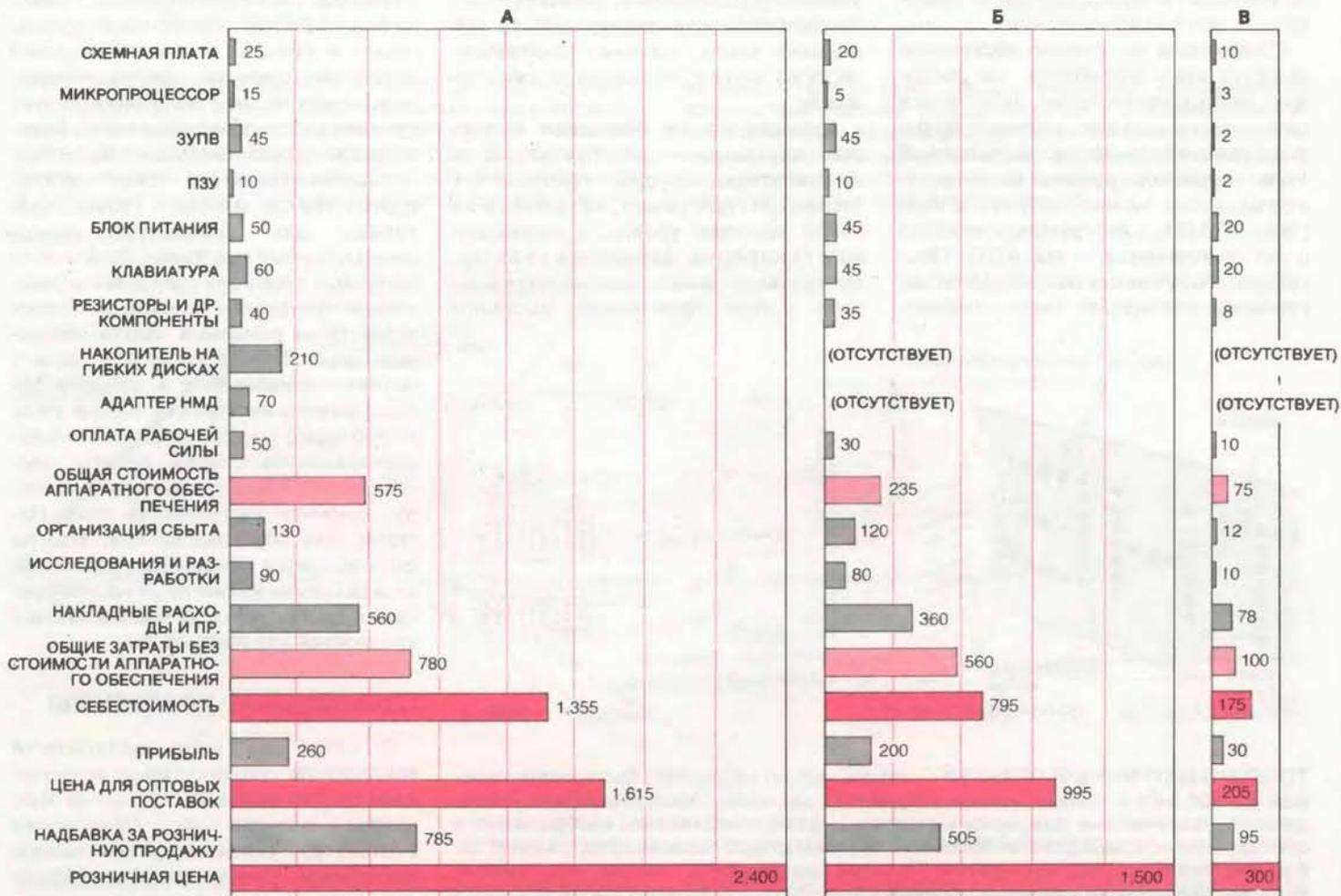
Хотя аппаратное обеспечение компьютера и определяет его возможности в отношении хранения и обработки информации, пользователю нечасто приходится иметь дело непосредственно с аппаратурой. Связующим звеном между аппаратным обеспечением и человеком — оператором

выступают программы самого различного уровня сложности, которые все вместе образуют программное обеспечение компьютера.

Часть программного обеспечения, наиболее тесно взаимодействующая с аппаратной частью машины, — это операционная система. Чтобы разобраться в характере задач, решаемых операционной системой, рассмотрим последовательность процедур, которые необходимо выполнить при передаче файла (массива) данных из основной памяти в НМД. На первом этапе требуется выяснить, достаточно ли на диске свободного места для размещения всего файла. Возможно, придется стереть с диска другие файлы, с тем чтобы объединить достаточное количество смежных «пустых» секторов. В процессе самой передачи из основной памяти должны вызываться последовательные «порции» файла, к которым присоединяется некоторая вспомогательная информация, в результате чего формируется блок данных, точно вписывающийся в сектор диска. Каждому блоку необходимо назначить опреде-

ленный адрес сектора, после чего такой блок передается на диск. Должны также вычисляться значения, называемые контрольными суммами, которые позволяют обнаруживать, а иногда и исправлять ошибки, возникающие при хранении или пересылке данных. Наконец, следует записать некоторый код, указывающий место, где ранее хранился информационный файл.

Если бы пользователь должен был сам контролировать все перечисленные операции, то хранить информацию в компьютере не имело бы смысла. В действительности управление всей рассмотренной процедурой может взять на себя операционная система; пользователь просто выдает одну-единственную команду, например «хранить файл». Если вновь появляется необходимость обратиться к информации в таком файле, то с помощью аналогичной команды (это может быть команда «загрузить файл») иницируется последовательность операций по извлечению файла из НМД и перезаписи его содержимого в основную память.



РОЗНИЧНАЯ ЦЕНА персональных компьютеров включает стоимость аппаратных средств, издержки на оплату рабочей силы, накладные расходы, прибыль изготовителя и надбавку за розничную продажу. Здесь эти составляющие

рассматриваются для трех категорий персональных ЭВМ: относительно дорогостоящих, но высокопроизводительных (А), моделей среднего класса (Б) и дешевых с низкой производительностью (В).

Во многих случаях прикладную программу составляют в расчете на выполнение под управлением конкретной операционной системы. В свою очередь для нескольких различных компьютеров могут разрабатываться отдельные версии одной операционной системы. В идеальном случае желательно, чтобы любую прикладную программу можно было выполнять на разных компьютерах, если все они работают с одной и той же операционной системой. На практике, однако, в программы часто приходится вносить некоторые коррективы.

Микропроцессор воспринимает лишь ограниченный набор инструкций (команд), каждая из которых должна состоять из последовательности двоичных цифр. К примеру, одна последовательность может «приказать» процессору переписать некоторую величину из основной памяти во внутренний регистр, называемый аккумулятором, а на основании другой последовательности машина складывает два числа, уже находящиеся в аккумуляторе. Программу можно написать в подобных «машинных инструкциях», но такая работа весьма утомительна и почти всегда приводит к многочисленным ошибкам.

Следующим по уровню абстракции является язык ассемблера, где двоичные последовательности заменяются символами и словами, которые оператору значительно проще запомнить. В этом случае инструкцию по загрузке аккумулятора можно записать в виде слова *LOADA*, а инструкцию сложения с его содержимым — как *ADD*. Программа, получившая наименование ассемблера, распознает такую «мнемо-

ническую» инструкцию и преобразует ее в соответствующую последовательность двоичных знаков. В некоторых языках ассемблера можно по специальному признаку задавать и вызывать целую серию инструкций. Однако программа, написанная на языке ассемблера, имеет ряд недостатков: должна отдельно определяться каждая инструкция, подлежащая выполнению с помощью процессора, и, кроме того, программисту приходится следить за прохождением в машине каждой инструкции и каждого элемента данных.

От необходимости составлять задание для процессора в соответствии с его набором инструкций (системой команд) и знать во всех подробностях конфигурацию аппаратных средств освобождает программиста язык высокого уровня. Например, два числа, которые необходимо сложить, можно просто обозначить какими-нибудь именами, скажем *X* и *Y*. От программиста не требуется указывать процессору, в каких ячейках основной памяти размещаются эти числа, он задает лишь операцию как таковую, например в виде *X + Y*. Программа, зарегистрировав «адреса», по которым размещались указанные переменные, формирует последовательность инструкций на машинном языке, которые производят загрузку чисел в аккумулятор и их сложение.

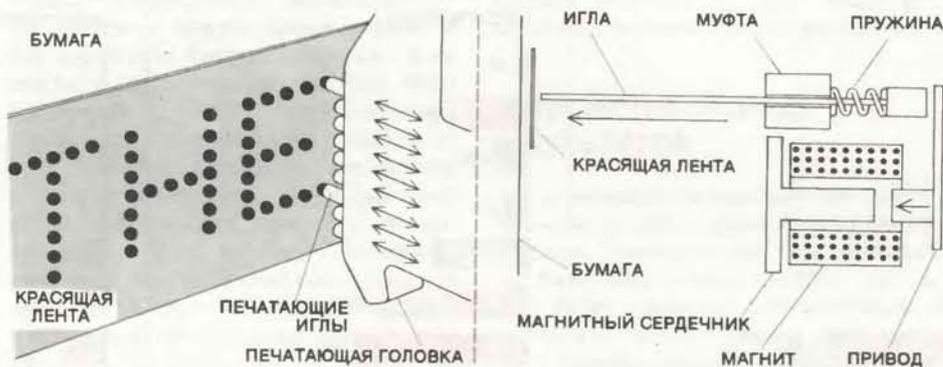
Существуют две обширные категории программ — интерпретаторы и компиляторы, которые транслируют (переводят) программу, написанную на языке высокого уровня, в машинный код. Программа, написанная на интерпретативном языке, записывается в память в виде серии команд высокого

уровня. В процессе выполнения этой программы другая программа (упомянутый выше интерпретатор) транслирует все команды одну за другой в инструкции машинного языка, каждая из которых немедленно обрабатывается. При использовании же компилятора весь цикл трансляции завершается до начала процесса выполнения программы. Преимущество интерпретатора заключается в том, что можно проконтролировать результат каждой операции. С другой стороны, программа, транслированная с помощью компилятора, как правило, выполняется значительно быстрее, поскольку она целиком уже переведена в машинный код.

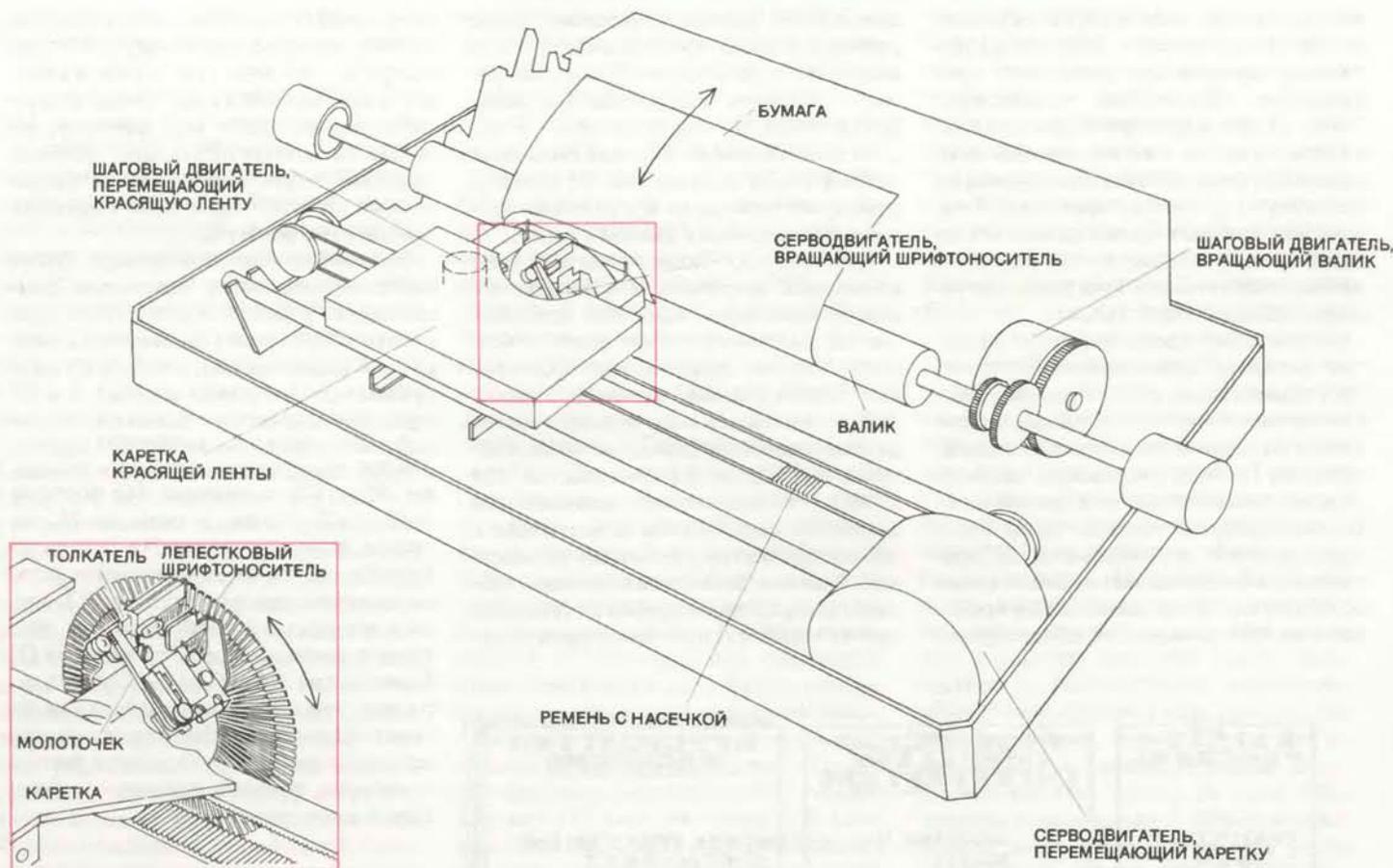
Одним из самых первых языков высокого уровня был Фортран; в настоящее время получил распространение ряд его версий (диалектов). Программы, написанные на Фортране, транслируются посредством компилятора. Основные области его приложения — это научные и математические задачи. При работе с персональными компьютерами наиболее широко применяется высокоуровневый язык Бейсик, созданный в 60-х годах специалистами Дартмутского колледжа. Первоначально Бейсик планировали использовать в качестве языка для обучения студентов приемам программирования, однако ныне с его помощью программируют любые типы задач. Большинство версий Бейсика — интерпретативные. Имеются также десятки других языков высокого уровня, пригодных для составления микрокомпьютерных программ. Выбор того или иного языка для написания определенной программы нередко диктуется характером решаемой задачи; например, язык Лисп получил признание у многих специалистов в области искусственного интеллекта. Кроме того, выбор языка иногда определяется и индивидуальным стилем работы программиста. В последние годы, к примеру, завоевал популярность язык Паскаль. Это обусловлено тем, что, по сложившемуся убеждению, принципиальная основа написанных на нем программ достаточно ясна и не составляет трудностей для понимания.

Прикладные программы

В какой же мере возможности компьютера соответствуют возлагаемым на него надеждам? Ответ на этот вопрос зависит от способности компьютера реализовать прикладные программы. Именно поэтому владельцы персональных компьютеров, по-видимому, будут стремиться расходовать больше средств на программное, а не на аппаратное обеспечение. Эти расходы могут выражаться либо в финансовых затратах на приобретение гото-

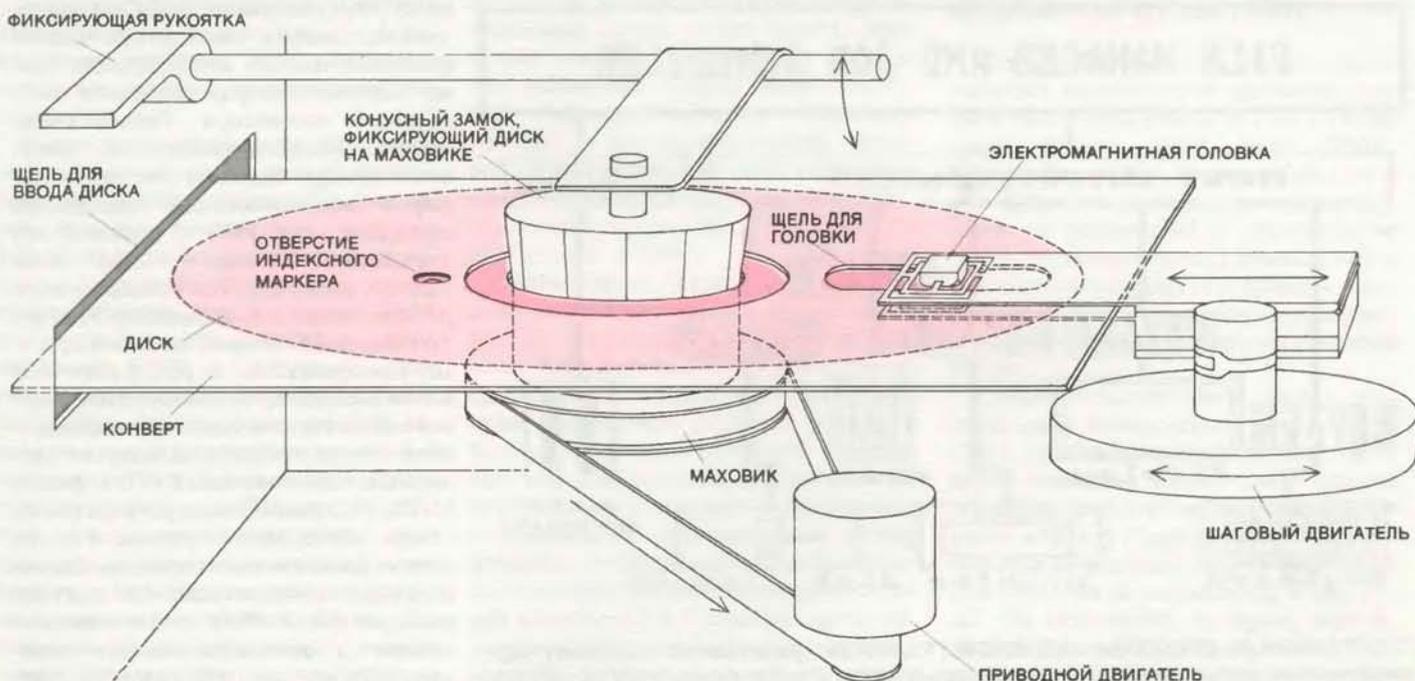


ТОЧЕЧНО-МАТРИЧНЫЙ ПРИНТЕР — относительно недорогое, быстродействующее (до 200 зн/с) и универсальное устройство: он может воспроизводить уменьшенные, увеличенные или «жирные» знаки и даже графические изображения в соответствии с командами от компьютера. Печатающая головка представляет собой вертикальную матрицу из игл. По мере перемещения головки над бумагой иглы выталкиваются в нужной последовательности, прижимают красящую ленту к бумаге и формируют набор точек (слева). В данном случае каждая прописная буква формируется на матрице 7 × 5 точек; еще две иглы предусмотрены для печати нижних выносных элементов, например буквы *p*. Штырьки приводятся в движение отдельными соленоидами (справа). Изображенный здесь механизм используется в конструкции точечно-матричного принтера фирмы Epson America, Inc.



ПРИНТЕР С ЛЕПЕСТКОВЫМ ШРИФТОНОСИТЕЛЕМ печатает со скоростью от 20 до 55 зн/с документы «типографского качества». На рисунке изображена конструкция принтера фирмы Qume Corporation. Печатающая головка состоит из пластмассового диска, на котором радиально укреплены 96 (в некоторых моделях 130) спиц с запрессованными на их

концах литерами букв, цифр и символов. По сигналу от компьютера головка поворачивается и останавливается; молоточек бьет по скользящему толкателю, который прижимает радиальный лепесток через красящую ленту к бумаге; когда головка поворачивается, каретка и красящая лента передвигаются в следующую позицию.



НАКОПИТЕЛЬ НА ГИБКИХ МАГНИТНЫХ ДИСКАХ записывает большие объемы информации. Пластмассовый диск с ферромагнитным покрытием вращается со скоростью 300 об/мин. Электромагнитная головка передвигается шаговым двигателем по радиусу диска и устанавливается над одной из концентрических дорожек. Головка может вести как запись, так и чтение. Индексный маркер, прохождение кото-

рого отмечается с помощью фотодатчика, синхронизирует операции записи или чтения с вращением диска. Здесь схематически представлена конструкция двустороннего дискового накопителя фирмы Qume, в котором имеются две головки на универсальном подвесе для каждой стороны диска диаметром 133 мм. На 40 концентрических дорожках на одной стороне умещается 160К байт информации.

вых программ, либо в затратах времени на их составление. Если пользователь не намерен сам расширить программное обеспечение собственной ЭВМ, то при ее выборе он должен ориентироваться на уже имеющиеся программные средства системы, оценив их «широту», т.е. число прикладных задач, для которых имеются соответствующие программы, и «глубину» — число существующих программ для решения каждой такой задачи.

За последнее время получило развитие создание прикладных программ программистами, работающими самостоятельно. Многие программы характеризуются высокой степенью специализации. Такими, в частности, являются программы для расчета федерального подоходного налога, проведения (при наличии необходимого лабораторного оборудования) анализа крови со скоростью нескольких тысяч проб в час или программы для проектирова-

ния мостов. Другие программы более универсальны и предназначаются для широкого класса задач. К ним, например, относятся программы для обработки текстов: они позволяют упростить составление и редактирование любых типов документов, от писем и памятных записок до журнальных публикаций, подобных данной статье.

Наибольшую популярность среди отдельных программ для персональных компьютеров завоевали программа VisiCalc, поставляемая фирмой VisiCorp. VisiCalc представляет собой некий «электронный рабочий бланк». Она размещается в памяти компьютера и обеспечивает вывод на экран таблицы форматом 63 столбца на 254 строки. Таблицу можно перемещать на экране по горизонтали и вертикали с целью просмотра различных ее участков. Каждая символьная позиция таблицы (пересечение столбца и строки) на экране соответствует некоторой запи-

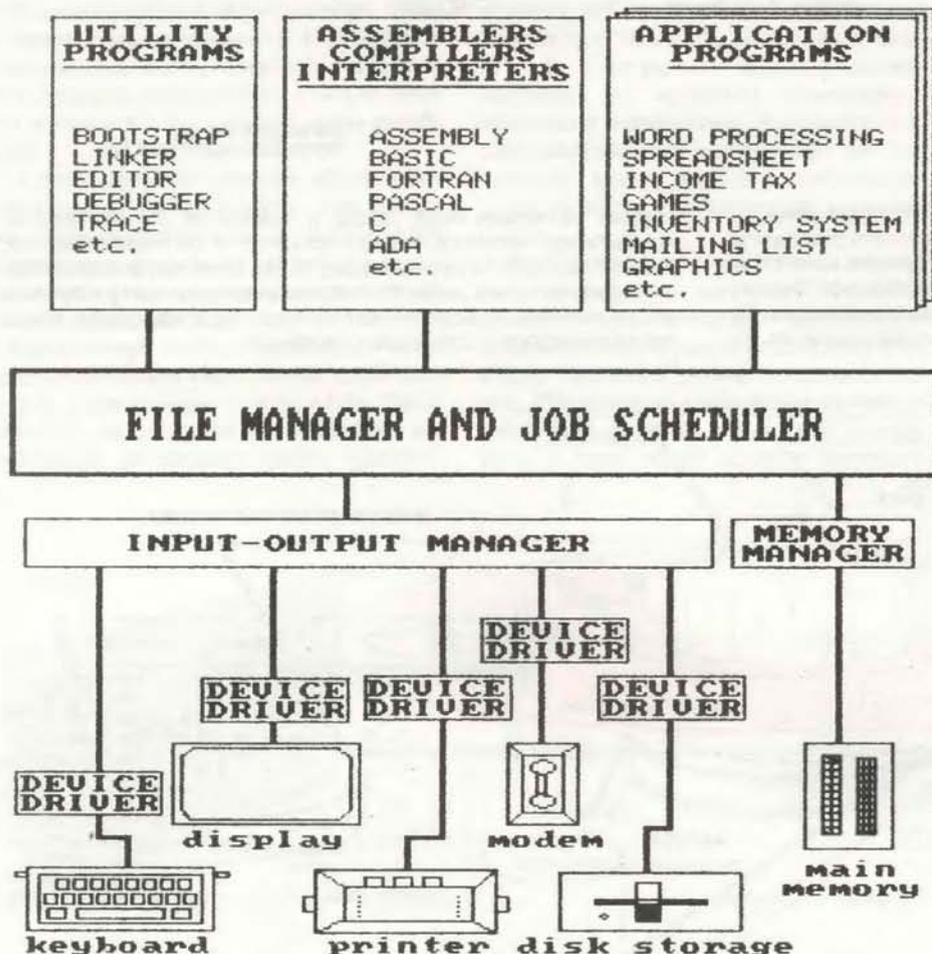
си в памяти машины. Пользователь строит необходимую ему рабочую матрицу, назначая (т.е. ставя в соответствие) каждой такой записи какую-либо метку, число или формулу; на экране в соответствующей позиции таблицы будут изображаться назначенные метки, числа или результат применения формулы.

Рассмотрим простой пример. Пусть бухгалтер-контролер некоторой фирмы вводит в запись, соответствующую столбцу *B* и строке 1 (позиция *B1*), метку *Cash* (наличность), в запись *C1* метку *Reserves* (резервные фонды), а в запись *D1* *Total* (итог). Затем он, например, назначает суммы 300 000 долл. и 500 000 долл. соответственно позициям *B2* и *C2*, а позиции *D2* формулу $+B2 + C2$. Тогда в позиции *D2* на экране появится сумма 800 000 долл. Если бухгалтер изменит значение записи, соответствующей позиции *B2*, введя в нее сумму 200 000 долл., то программа уменьшит итог, и в позиции *D2* будет сумма 700 000 долл. Следует добавить, что значениями записей для позиций *B2* и *C2* не обязательно служат исходные данные — это могут быть и некоторые функции данных, содержащихся в других записях.

Конъюнктура отрасли

Толчком к развитию техники небольших персональных ЭВМ послужило скорее всего создание микропроцессора. В 1971 г. компании Intel Corporation удалось создать монолитную (монокристаллическую) интегральную схему с полным набором элементов центрального процессора. Размер слова первого микропроцессора составлял всего четыре бита, но уже через год фирма Intel выпустила 8-разрядный процессор, а в 1974 г. появился его улучшенный вариант — Intel 8080. Другие, менее крупные компании вскоре оснастили микропроцессор 8080 интегральными схемами памяти и другими компонентами. В результате появился первый программируемый микрокомпьютер для управления производственными процессами и других аналогичных приложений. В 1975 г. фирма MITS, Inc. разработала устройство со столь гибкой конфигурацией, что его можно было считать серийным персональным компьютером. Он получил название Altair 8800, и его основной комплект, предназначавшийся главным образом для любителей техники, продавался за 395 долл. как набор деталей и за 621 долл. в собранном виде. Самый дешевый мини-компьютер стоил тогда примерно 6 тыс. долл.

В настоящее время компьютер Altair уже не выпускается. Судьба сыграла злую шутку с фирмами — осно-



ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА «ДЕЛОВОЙ ГРАФИКИ» существенно повышают эффективность работы персональных компьютеров, и появлением этих средств в значительной степени объясняется широкое внедрение таких машин. Приведенная здесь блок-схема повторяет рисунок на с. 55 и построена на точечном матричном принтере персонального компьютера по программе Execu-Vision фирмы Digital Systems Associates. Выполнение этого задания заняло 15 мин. Возможность быстрого составления подобных диаграмм, а также вычерчивания графиков, таблиц и даже рисунков с использованием недорогого оборудования представляет собой значительное удобство при подготовке отчетов и другой наглядной документации.

вателями индустрии персональных компьютеров, производство которых всего за шесть лет выросло в 100 раз. Положение лидеров фирмы *MIT*, *IMSAI Manufacturing Corporation* и *Processor Technology Corporation* удерживали не долго. Их продукция находила спрос в основном у любителей, знакомых с электроникой и проявляющих интерес к устройству компьютеров, который они могли удовлетворить предоставляющейся им возможностью самим собирать сложные машины из отдельных ее конструктивных узлов. К 1978 г. основная доля рынка персональных компьютеров принадлежала уже другим фирмам — *Radio Shack*, *Commodore Business Machines* и *Apple Computer Inc.*, которые считали, что увеличить объем сбыта персональных компьютеров можно, только внедрив их в деловую практику и в домашний обиход. Они наладили выпуск систем блочно-модульной конструкции, которые отличались простотой эксплуатации и были рассчитаны на потребителей, не имевших никакой подготовки в области вычислительной техники. Успехи фирм нового поколения вызвали тревогу у таких признанных изготовителей больших ЭВМ, как *International Business Machines Corporation* и *Burroughs Corporation*, а также у ряда компаний, специализирующихся на производстве мини-компьютеров, в частности у *Digital Equipment Corporation* и *Hewlett-Packard Company*. Персональные компьютеры поставили под угрозу традиционные рынки сбыта продукции этих компаний. В результате они тоже присоединились к числу фирм — изготовителей подобных ЭВМ, которые и сейчас продолжают привлекать новые компании.

Рынок персональных компьютеров можно подразделить на четыре категории: ЭВМ для экономических приложений, бытовые компьютеры, машины для научных расчетов и обучающие системы. Первое место среди них, значительно обогнав другие, заняли ЭВМ для различных приложений в сфере экономики. В 1981 г. было продано 385 тыс. таких машин (55% общего числа проданных персональных компьютеров) на сумму (в розничных ценах) 1,4 млрд. долл., что составило 64% общей стоимости продаж. В США насчитывается 14 млн. самостоятельных предприятий, и даже самые малые из них являются потенциальными покупателями персональных компьютеров. Но основными потребителями этой категории ЭВМ следует считать 36-миллионную армию служащих. Можно рассчитывать, что многие из них в конце концов в своей повседневной деятельности будут пользоваться теми или иными персональными компьютерами.

В настоящее время персональные

компьютеры лучше всего отвечают потребностям небольших фирм или самостоятельно практикующих специалистов, например юристов и врачей. Однако и более крупные организации начинают, хотя и медленно, осознавать привлекательность автоматизированных рабочих мест — станций, оснащенных вычислительной техникой (автоматизированных бюро). Такие бюро можно соединять между собой и подключать к центральным устройствам (например, к системам памяти большого объема и принтерам) с помощью так называемых локальных сетей (см. статью *Vincent E. Giuliano* «The Mechanization of Office Work» в журнале «Scientific American», 1982, No.9). Персональные компьютеры уже сейчас обладают достаточной мощностью для реализации большинства функций автоматизированного бюро, а методы организации локальных сетей находятся в стадии разработки. К 1985 г. персональными компьютерами, объединенными в локальную сеть, будут оснащены многие предприятия и учреждения.

Бытовых компьютеров, которые наиболее близко знакомы потребителю и активно рекламируются, в 1981 г. было продано 175 тыс. на сумму 350 млн. долл. Большая часть этих ЭВМ приобреталась для развлекательных целей (главным образом в качестве телевизионных игр), хотя широким спросом пользовались и высокоэффективные вспомогательные «учебные пособия» для детей, процессоры текстов, электронные пункты связи и средства планирования личного бюджета. Разрабатываемые сейчас новые пакеты программ значительно расширят круг задач, решаемых такими ЭВМ в быту. Как ожидается, средняя стоимость полностью укомплектованной бытовой системы, которая в настоящее время составляет приблизительно 2 тыс. долл., снизится до 1000 долл. к 1985 г. и до 750 долл. к 1990 г.

Объем сбыта вычислительных машин для научных целей в 1981 г. составил 105 тыс. единиц на сумму 336 млн. долл. Компьютеры этой категории по сравнению с личными ЭВМ для других сфер применения должны обладать большими вычислительными возможностями и оснащаться устройствами, которые обеспечивают эффективное сопряжение их с аналитическим оборудованием и измерительными приборами. Поэтому рассматриваемая категория компьютеров характеризуется наличием специализированного аппаратного обеспечения и обширной номенклатуры программных средств для конкретных приложений.

Потенциальный объем сбыта обучающих машин огромен, однако этот сектор рынка в весьма значительной степени зависит от финансовых средств, имеющихся в распоряжении

учебных организаций; в настоящее же время денежные субсидии, выделяемые бесплатным средним школам, очень скудны. Тем не менее в 1981 г. учебные заведения закупили 35 тыс. персональных компьютеров на сумму 98 млн. долл. Системы автоматизированного обучения вовлекают учащегося в живой процесс общения с интересующим его предметом практически в любой области знаний и позволяют каждому самостоятельно организовать этот процесс. В настоящее время умение обращаться с компьютером все в большей степени рассматривается как один из элементарных навыков, которым обязан овладеть каждый человек; более того, по-видимому, недалек тот день, когда специалистам самых разных профессий будут необходимы определенные знания в области программирования. Прививать такие навыки, несомненно, следует уже в начальной и средней школах. Учитывая, что учащийся, который умеет обращаться с компьютером какой-либо конкретной модели, в один прекрасный день, возможно, пожелает приобрести знакомую ему машину, фирма *Commodore* решила продавать свои ЭВМ школам и колледжам с 30%-ной скидкой; в свою очередь компания *Apple* предложила бесплатно поставлять персональные компьютеры начальным и средним школам.

Ведущие фирмы-изготовители

Главные позиции на рынке персональных компьютеров (согласно данным об объемах сбыта за 1982 г.) занимают фирмы *Apple*, *Radio Shack*, *Commodore* и *IBM*. Несмотря на то что эти фирмы в основном специализируются на разработке и производстве ЭВМ для экономических приложений и в этой сфере стремятся сохранить ведущее положение, они предпринимают усилия по освоению и других секторов рынка.

Самый большой объем продаж персональных компьютеров не только в США, но и во всем мире приходится на долю компании *Apple*. Свою первую экспериментальную модель фирма создала в 1976 г. Первые четыре года источниками финансирования были личные средства ее основателей и капиталы тех вкладчиков, которые, рискуя, рассчитывали на успех. В 1980 г. она выпустила свои акции в открытую продажу, однако до сих пор 64% акционерного капитала принадлежит ее основателям. В 1981 г. объем сбыта продукции фирмы *Apple* достиг 335 млн. долл. (в 2,9 раза больше, чем в 1980 г.), причем прибыль составила 39,4 млн. долл. — в 3,4 раза выше по сравнению

с предыдущим годом. По официальным сведениям, компания контролирует 23% рынка США, на который она поставляет только 76% своей продукции. В значительной степени такой успех фирмы обусловлен ее политикой, направленной на стимулирование поставщиков программных средств и внешних устройств, совместимых с ее компьютерами. Для машин Apple создано в настоящее время более 11 тыс. прикладных программ, и почти все они разработаны независимыми поставщиками. Следует отметить, что все три модели компьютеров этой фирмы, имеющиеся в продаже, построены на основе одного и того же 8-разрядного микропроцессора.

Компания Radio Shack, с 1963 г. принадлежащая фирме Tandy Corporation, занималась розничной продажей и производством электронной техники еще задолго до того, как в номенклатуре ее продукции появились вычислительные машины, которые сейчас составляют почти пятую часть в объеме ее поставок. Хотя сбыт ЭВМ этой фирмы и возматсвал довольно устойчивыми темпами, ее доля рынка упала с 50% в 1978 г. до 22% в 1982 г. Компания Radio Shack продает самые разнообразные изделия вычислительной техники, многие из которых изготавливаются на ее собственных предприятиях. Она имеет отлично налаженную систему сбыта: кроме 8 тыс. универсальных магазинов по продаже электронной продукции ей принадлежит сеть американских и зарубежных торговых центров, бюро по оформлению аренды и техническому обслуживанию, а также школ по подготовке специалистов в области вычислительной техники. Программное обеспечение фирма Radio Shack либо разрабатывает самостоятельно, либо закупает у других поставщиков.

Канадская компания Commodore начала свою деятельность в 1958 г. в качестве предприятия по торговле пишущими машинками. В 1976 г. она приобрела фирму MOS Technology — первого изготовителя микропроцессора, который до сих пор используется в компьютерах компаний Apple и Atari. Фирма Commodore занимает первое место среди компаний, торгующих персональными компьютерами за пределами США. Она, в частности, контролирует 65% европейского рынка. Эта фирма выпускает обширную номенклатуру недорогих изделий (одна из самых дешевых ее ЭВМ стоит 150 долл.) и занимает прочные позиции на рынке обучающих систем.

Корпорация IBM, крупнейший в мире изготовитель оборудования для обработки данных, долгое время доминировала на рынке больших ЭВМ, не уделяя при этом сколько-нибудь существенного внимания малым машинам.

Однако в середине 1981 г. она занялась производством и сбытом персональных компьютеров и быстро преуспела в своем начинании. Сейчас она контролирует значительную часть рынка таких машин (14%, по данным за 1982 г.). Политика фирмы IBM в области производства персональных компьютеров строилась на основе широкого привлечения других компаний, не ограничиваясь при этом приобретением у них программных средств и использованием их в качестве торговых посредников или организаций, занимающихся техническим обслуживанием. Персональные компьютеры фирмы IBM оснащены дисковыми накопителями компании Tandon Corporation, мониторами, закупаемыми на Тайване, и принтерами, поставляемыми Японией. Клавишный пульт изготавливает сама корпорация IBM, и свое название она присвоила новой персональной ЭВМ. Фирма организовала также подразделение, которое занимается «изданием» программ, приобретаемых у сторонних программистов.

Успешный опыт фирмы IBM представляет значительный интерес с точки зрения дальнейшего развития индустрии персональных компьютеров. Положение этой отрасли пока нельзя назвать устойчивым. Вырвавшихся вперед лидеров настигают другие американские компании, такие, как Xerox Corporation и Atari, Inc., а также ряд японских фирм, среди которых Nippon Electric Co., Ltd. Все более активной становится деятельность новых в этой отрасли компаний. Чтобы обеспечить себе благоприятную перспективу, каждый изготовитель должен хорошо изучить существующее положение и выработать безошибочную стратегию, которая принесет ему коммерческий успех. Опыт фирмы IBM показывает, что совершенно не обязательно создавать собственные производственные мощности. Основным условием скорее является наличие финансовых средств для приобретения необходимых компонентов, а также обеспечение быстрого сбыта своей продукции за счет изыскания новых покупателей. Такие возможности имеются у многих организаций, нынешняя деятельность которых никак не связана с электроникой. При необходимости они могут мобилизовать необходимые технические ресурсы и приспособить их для данной области. Потенциальными производителями новой продукции являются, например, телекомпания CBS, фирма Coca Cola, издательство "Time-Life" и страховая компания Prudential Insurance Co. Все они обладают необходимыми средствами и имеют доступ к системе сбыта соответствующей продукции. Это позволило бы им в кратчайшие сроки выйти на рынок персональных компьютеров.

Проблемы сбыта

Продажей крупных ЭВМ занимаются специальные отделы сбыта в структуре фирм-изготовителей. Они взаимодействуют непосредственно с теми, кто планирует приобретение вычислительной техники. Чистая прибыль от продажи каждого персонального компьютера невелика, поэтому содержание специального штата по сбыту в данном случае себя не оправдывает. Изготовителям персональных ЭВМ и их торговым посредникам удалось найти ряд новых каналов сбыта этой продукции.

Независимым организациям, осуществляющим розничную продажу и имевшим не более одного магазина, торговля персональными компьютерами принесла немало неприятностей. Они могли оперировать небольшой партией товара и, обладая малым оборотным капиталом, испытывали сильное давление со стороны конкурентов. В результате их вытеснили такие крупные компании, специализирующиеся на розничной торговле и обладающие разветвленной сетью магазинов, как корпорация Computerland, которая в 1981 г. продала компьютеров и сопутствующих изделий на сумму 200 млн. долл. Подобные торговые сети предлагают покупателям продукцию самых различных изготовителей. В своем штате они имеют специалистов, организующих технические консультации для покупателей, обеспечивают эксплуатационное обслуживание и текущий ремонт приобретаемых у них товаров. Менее специализированные торговые фирмы, занимающиеся розничной продажей различной электронной техники, как, например, стереофонической аппаратуры, также включили персональные компьютеры в свой ассортимент. Отсутствие у этих фирм необходимого опыта в области продажи средств вычислительной техники создавало некоторые трудности в торговле. Тем не менее можно ожидать, что, когда надежность аппаратного обеспечения ЭВМ станет достаточно высокой, а уровень стандартизации программных средств возрастет и к тому же на рынок персональных компьютеров выйдут японские компании (которые тесно связаны с крупными магазинами по продаже электронной техники), подобные торговые фирмы будут сбывать основной объем продукции данного вида.

Не преуспели в торговле персональными компьютерами и универсальные магазины. Во-первых, они не в состоянии организовать регулярное техническое обслуживание. Во-вторых, как показало обследование, каждый желающий приобрести персональную ЭВМ посещает магазин в среднем четыре раза и тратит на это в общей сложности

семь часов; универсальные магазины не рассчитаны на столь трудоемкое обслуживание покупателей. Наоборот, магазины по продаже средств оргтехники тесно взаимодействуют с местными деловыми кругами и могут организовать квалифицированную продажу и техническое обслуживание персональных ЭВМ. В ряде крупных городов недавно открылись специализированные магазины фирмы Sears по продаже исключительно персональных компьютеров, процессоров текстов и вспомогательного оборудования.

Сами фирмы-изготовители также содержат различные предприятия по продаже своих изделий. Компания Radio Shack, например, в значительной мере опирается на собственную сеть розничных магазинов. Корпорации IBM, Xerox и Digital Equipment в настоящее время создают свои торговые подразделения в дополнение к уже имеющимся сбытовым организациям. Фирма Texas Instruments устраивает демонстрационные салоны, где покупатель может по рекламным проспектам ознакомиться с ее продукцией, выбрать требуемые изделия и сделать соответствующий заказ. Возможно, что некоторые изготовители сочтут оправданным содержание специального штата сотрудников для организации массовой оптовой продажи компьютеров правительственным учреждениям, крупным фирмам и высшим учебным заведениям. Компании Radio Shack и IBM уже создали такие специализированные подразделения. Они рискнули вызвать недовольство со стороны розничных торговых фирм, которые при иных обстоятельствах могли бы свободно вести конкурентную борьбу за такие крупные поставки.

Значительная доля поставок персональных компьютеров производится через фирмы, осуществляющие торговлю по почтовым заказам. Они оперируют большими партиями товаров и могут предоставлять значительные скидки в цене, но не имеют возможности проводить техническое обслуживание и ремонт на месте эксплуатации. Зато торговые фирмы, осуществляющие полное техническое обслуживание проданных изделий, вряд ли намерены предоставлять скидки на поставляемую ими продукцию.

Новым типом торговых организаций, ориентированных на продажу персональных компьютеров, являются предприятия комплектной поставки. Они закупают готовую продукцию у изготовителей ЭВМ, приобретают у других фирм или разрабатывают и производят сами внешние устройства и программное обеспечение для специальных приложений или конкретных пользователей, а затем в укомплектованном виде поставляют готовые системы. Услуги, предоставляемые та-

кими предприятиями, особенно удобны для организаций, не имеющих достаточного опыта работы с вычислительными машинами.

Кто будет покупателем?

Мы постоянно употребляли здесь термин «персональный», и наше представление об этих компьютерах сложилось на основе рекламных изображений счастливых членов семьи, сидящих у монитора домашней ЭВМ и занятых приготовлением уроков, планированием семейного бюджета или игрой в космические войны. Тем не менее совершенно очевидно, что персональные компьютеры находят спрос главным образом у торгово-промышленных фирм и других организаций. Правда, от этого компьютеры, о которых идет речь, не становятся менее «персональными»: любой из них можно приспособить к нуждам конкретного человека. Более одной пятой общей численности работающих в США занято учрежденческим трудом; затраты на конторские операции во многих компаниях составляют свыше половины общей суммы накладных расходов, причем темпы роста этих затрат превышают 7% в год. Использование персональных компьютеров даст возможность поднять производительность труда служащих и эффективность работы учреждений. На предприятии, где уже эксплуатируется мощная ЭВМ, персональные компьютеры могут взять на себя часть нагрузки центральной системы, которая в этом случае будет уделять больше внимания обработке информации в «пакетном» режиме, например автоматизированному начислению заработной платы или учету наличных запасов. Персональные компьютеры позволяют автоматизировать различные виды конторских работ, которые до сих пор выполняются с помощью пишущих машинок, калькуляторов и множительных аппаратов.

Руководящие работники различных предприятий утверждают, что более 80% своего рабочего времени они тратят на подготовку и проведение совещаний и других деловых встреч, а также на сбор информации или выработку решений путем анализа вариантов. Персональные компьютеры призваны облегчить выполнение всех этих операций. В частности, новые программные средства «деловой графики» дают возможность быстро подготовить слайды и печатные материалы для совещаний. С помощью винчестерских НМД и программ для записи в память обширных баз данных (и управления ими) индивидуальный пользователь может анали-

зировать большие информационные массивы, определять направления развития и выявлять возникающие трудности. Программы обработки данных, такие, например, как VisiCalc, позволяют руководящему персоналу оценивать варианты в процессе принятия решения, задавать компьютеру вопросы типа «Что произойдет, если...?» и практически мгновенно получать на них ответы. Перечисленные задачи в принципе можно решить и с помощью мощной центральной машины, но гораздо эффективнее применять для данной цели персональный компьютер. Это значительно дешевле и не требует специальной технической подготовки.

К сказанному можно добавить, что зачастую невозможно точно предвидеть, какие функции будут выполнять персональные компьютеры на том или ином предприятии. Как показывает опыт работы многих организаций, персональный компьютер не только решает уже известные задачи, но, что гораздо важнее, позволяет выявлять, а затем и разрешать ранее не обнаруживавшие себя проблемы (подобно тому, как врач находит скрытые симптомы давней болезни).

Почему тот или иной человек приобретает персональный компьютер? Однозначного ответа нет. Одному он необходим для работы, другой надеется извлечь выгоду из такой покупки, третьему он просто доставляет радость. Для некоторых специалистов наличие под рукой персонального компьютера дает ему неоспоримое преимущество. Некоторые покупают персональную ЭВМ только потому, что она просто попала им на глаза и стоит относительно недорого, — а уж для каких целей ее использовать, они решают потом. Конкретное применение компьютера зависит от его возможностей. Он способен следить за любым процессом и приводить что угодно в требуемый порядок. Он проводит расчеты, может построить упорядоченный массив данных, изменить значение одной или нескольких переменных и определить результат этих действий. Он способен в буквальном смысле навести порядок в чековой книжке (точнее, пользователь может осуществить такую операцию с помощью компьютера) и составить список деловых встреч. Его можно подключить к системе автоматизированной охраны жилища. Покупку компьютера для решения только одной из перечисленных задач нельзя считать оправданной. Однако при определенной заинтересованности и некоторой изобретательности владелец персонального компьютера найдет для него оригинальные применения, построив вычислительную систему в соответствии со своими индивидуальными вкусами и наклонностями.

Экологическая физиология китов и дельфинов

Киты и дельфины ведут активный образ жизни, как и наземные млекопитающие. В процессе приспособления к водной среде обитания у этих животных выработались специфические адаптации, в том числе способность глубоко нырять и подолгу оставаться под водой

ДЖОН У. КАНВИШЕР, СЭМ Г. РИДЖУЭЙ

НА СУШЕ центральное место в экосистемах занимают наземные млекопитающие. В океане эту роль играют китообразные (отряд Cetacea); их насчитывается около 70 видов. Своим расцветом в конце мезозойской эры (около 65 млн. лет назад) наземные млекопитающие во многом обязаны активному образу жизни, в том числе интенсивности всех жизненных процессов, что обусловлено высоким развитием центральной нервной системы и теплокровностью. Впоследствии некоторые из наземных млекопитающих заселили экологическую нишу в море, при этом у них выработались новые приспособительные свойства, также направленные на активизацию образа жизни.

Каким образом представителям отряда китообразных удалось преодолеть многочисленные трудности, связанные с жизнью в океане? Рассмотрим, к примеру, их крайне напряженный жизненный цикл. Даже в момент рождения, покидая родовые пути матери, детеныш должен без посторонней помощи добраться до поверхности воды, чтобы сделать первый вдох. Чтобы питаться молоком матери, ему приходится задерживать дыхание и погружаться под воду. А когда детеныш уже способен питаться самостоятельно, ему надо обучиться совершенно новому типу поведения — нырять в поисках добычи. Наконец, когда животное достигает зрелости, оно осваивает особую сложную систему движений и только после этого становится готовым к воспроизведению себе подобных, которые начинают новый жизненный цикл.

Удивляет также разнообразие представителей отряда Cetacea как в отношении размеров тела, так и по их географическому распространению. Китов и дельфинов довольно много во всех океанах, от тропиков до границ полярных льдов и в северном и в южном полушариях. Многие виды мигрируют из холодных морей в теплые и об-

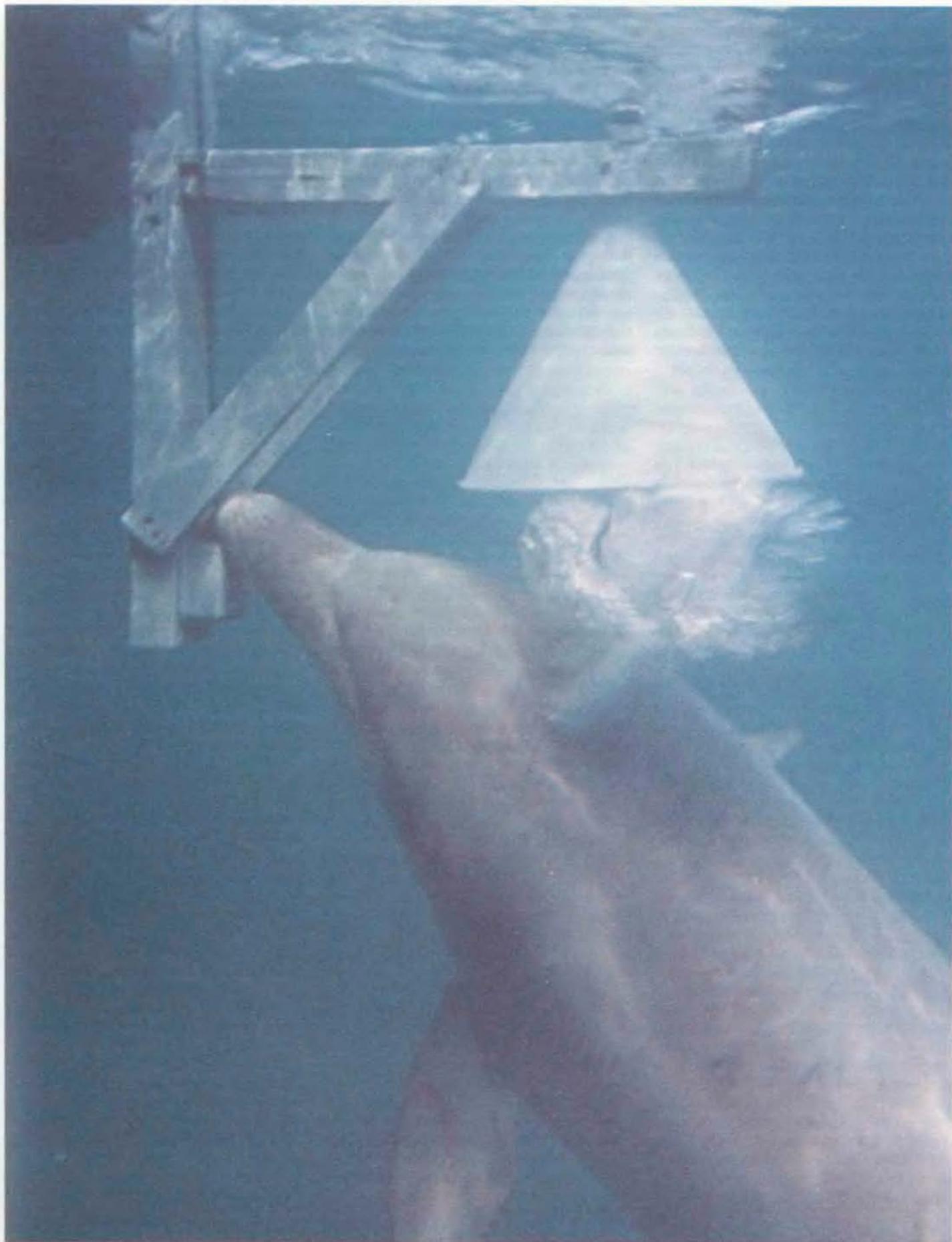
ратно в зависимости от времени года. Крупнейшие экземпляры взрослых синих китов в 20 тыс. раз больше самых мелких новорожденных дельфинов, тем не менее и крупные и мелкие виды встречаются как в тропиках, так и в приполярных морях. Группа зубатых китов объединяет животных самых разных размеров — от небольшой обыкновенной морской свиньи до гигантского кашалота. Почему из всех китообразных кашалот ныряет глубже других и дольше всех остается под водой? Как ему удается избегать кессонной болезни и других неприятных физиологических явлений, с которыми сталкиваются люди, ныряя вовсе не так глубоко? Любопытно, что любой из дельфинов меньше, чем самый мелкий из их «двоюродных братьев» — зубатых китов, поэтому у дельфинов отношение поверхности тела к его объему значительно больше. Как они ухитряются сохранять тепло в холодной воде? Подобные вопросы и привели нас к первой серии экспериментов — изучению физиологии теплообмена у дельфинов.

НАБЛЮДАЯ в Маринленде (шт. Флорида) за содержащимися в неволе дельфинами, мы установили, что они способны поддерживать постоянную внутреннюю температуру тела, близкую к температуре тела человека, и столь же тонко ее регулировать. Это замечательное свойство, если учесть, что теплоемкость воды велика и в воде предметы охлаждаются значительно быстрее, чем в воздухе. Поначалу мы полагали, что в условиях температурного стресса для животного вполне естественно не иметь постоянной температуры тела, как это свойственно тем наземным млекопитающим, которые впадают зимой в спячку. Но у китообразных это не так, и пришлось задуматься над сложностью терморегуляции у мелких китообразных, обитающих в холодных водах высоких широт.

Для упрощения расчетов тепловых потоков тело кита можно рассматри-

вать как равномерно нагретую центральную часть и окружающий ее теплоизолирующий слой. Чтобы обеспечить необходимую разность температур между окружающей водой и теплой центральной частью тела, идущий через поверхностный жировой слой наружу поток тепла должен быть достаточно мощным. Известно, что эта разность температур равна произведению теплового сопротивления изолирующего слоя на поток тепла, выделяющегося в результате обмена веществ внутри тела. Если животному нужно поддерживать постоянную температуру тела, а термоизоляция недостаточна, ему приходится вырабатывать больше тепла. Например, если у наземного млекопитающего температура внутри тела упадет лишь на 0,5°, животное начинает дрожать, чтобы усилить обмен веществ и, следовательно, выделение тепла. При более длительном нарушении теплового равновесия происходят изменения в системе термоизоляции. У наземных млекопитающих отращивает зимняя шерсть, а киты в полярных водах приобретают более толстый слой жира.

Для активно движущегося животного такой тепловой барьер в общем-то чрезмерен. Например, когда кит быстро плавает, усиливаются обменные процессы и происходит перегрев тела. В таких случаях в организме кита охлаждение достигается интенсивной циркуляцией крови. Усиление кровотока вблизи поверхности тела, в особенности в плавниках, позволяет преодолеть теплоизоляцию жирового слоя, и температура внутри тела снижается до нормальной. У китообразных постоянная температура тела поддерживается главным образом именно благодаря изменениям кровообращения. Такой же механизм действует и в человеческом организме: при перегреве к поверхности тела направляется больше крови, внешне это проявляется в румянце; в противном случае человек, как говорят, «синее от холода».



АФАЛИНА по кличке Таффи. Этого дельфина исследователи ВМС США дрессировали для выполнения различных действий под водой. В опытах по физиологии задержки дыха-

ния Таффи по сигналу нырял, а затем по второму сигналу касался рылом выключателя звонка и выдыхал воздух в специальную воронку.

Однако в физиологии китов и человека имеются и существенные различия. Например, у китообразных нет потовых желез: в самом деле, в водной среде охлаждение испарением невозможно. Кроме того, поверхностный слой тела человека сам по себе хорошо удерживает тепло и жировой слой очень невелик. Чтобы не замерзнуть, ныряя на большую глубину, водолазы используют для дополнительной изоляции костюмы из пористой резины, которая играет ту же роль, что и жировой слой у китов. На суше людям тоже приходится как-то защищаться от холода, ведь первоначально человек жил в тропиках — будучи не приспособлен к низкой температуре, он носит одежду. (Заметим, кстати, что ее часто изго-

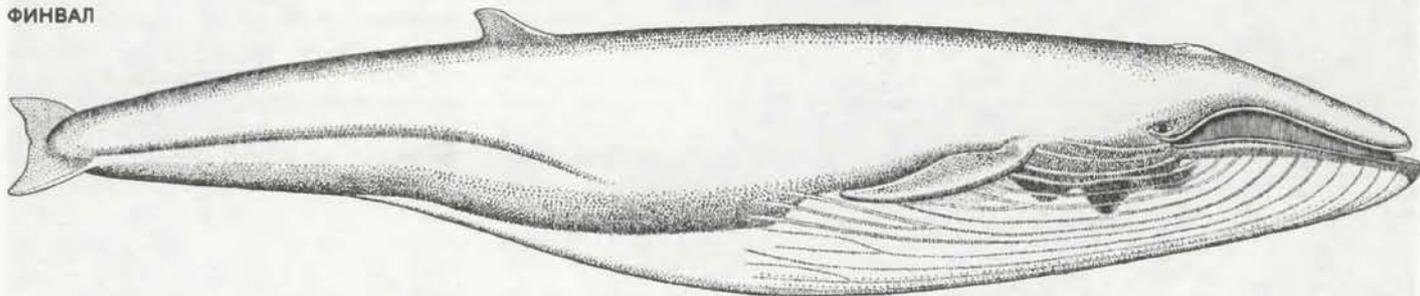
товляют из шкур, меха и шерсти, т.е. «зимней одежды» животных.)

Еще до начала исследований мы отдавали себе отчет в том, что самым мелким видам китообразных решать проблему поддержания постоянной температуры тела труднее всего. Поверхность тела животного, соприкасаясь с окружающей средой, постоянно охлаждается, а чем животное меньше, тем меньше тот объем тела, в котором вырабатывается тепло, необходимое для поддержания температурного градиента в жировом слое. Помимо неблагоприятного соотношения объема и поверхности тела линейные размеры мелких китообразных также весьма невыгодны, поскольку обычно, чем меньше размеры тела, тем меньше и толщи-

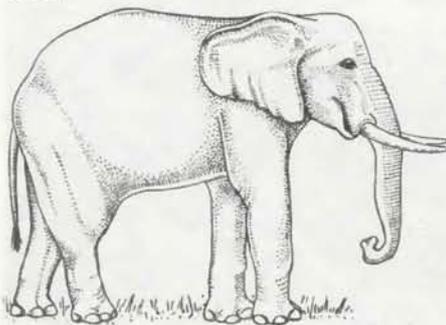
на жирового слоя.

Однако независимо от размеров у всех китообразных постоянная температура тела, нормальная для млекопитающих: около 37°C . В Арктике, где температура воды может быть -2°C , перепад температур в жировом слое достигает почти 40° . В тропиках, где вода прогревается до 30°C , перепад температур в 5 раз меньше. Легко представить, что дельфин, приспособившийся к жизни в теплых водах, столкнется с серьезными трудностями, попав в приполярные моря. Тем не менее одно из самых мелких китообразных, обыкновенная морская свинья (*Phocaena phocaena*), встречается главным образом как раз в холодных северных водах.

ФИНВАЛ



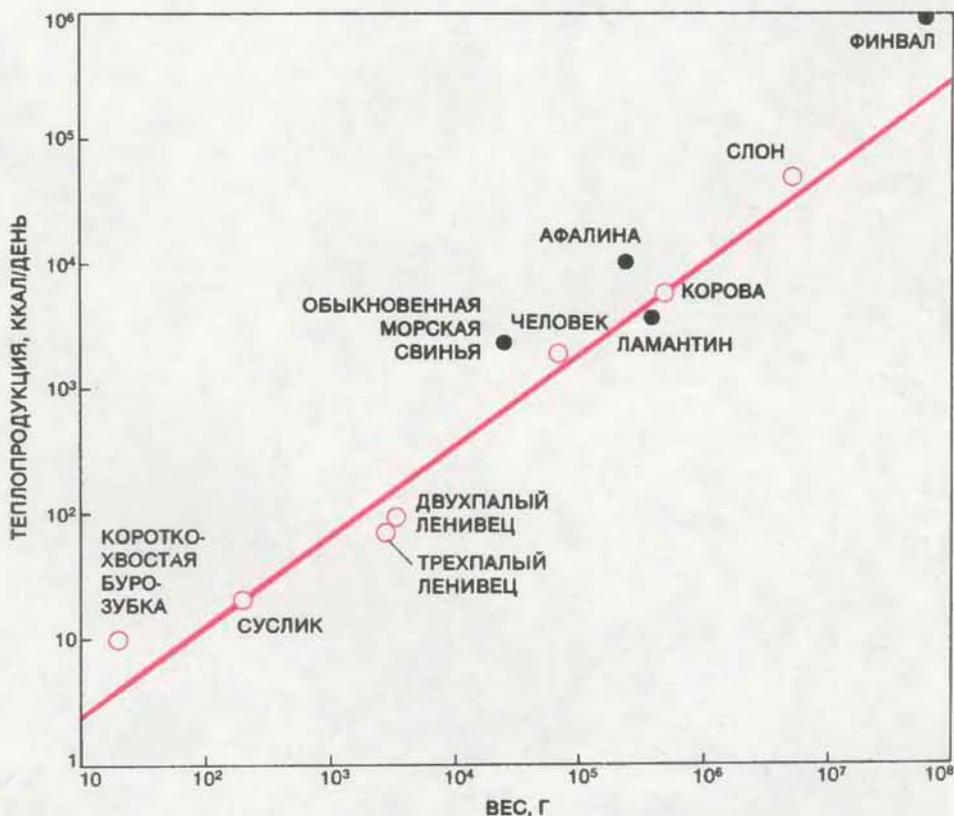
СЛОН



АФАЛИНА

ОБЫКНОВЕННАЯ
МОРСКАЯ СВИНЬЯ

СУСЛИК



КРИВАЯ «ОТ МЫШИ ДО СЛОНА» (сплошная цветная линия справа) получена в 30-е годы Ф. Бенедиктом в Институте Карнеги (г. Вашингтон). По ней можно приблизительно оценить интенсивность основного обмена млекопитающего, исходя из веса его тела. Большие цветные кружки — данные для отдельных наземных млекопитающих. Черные точки — данные прямых измерений интенсивности метаболизма у обыкновенной морской свиньи (*Phocaena*) и у афалины

(*Tursiops*); для финвала (*Balaenoptera*) дается косвенная оценка, сделанная по данным об объеме легких. Эти точки лежат намного выше кривой для наземных млекопитающих. Однако при пересчете на единицу веса оказывается, что у финвала интенсивность метаболизма меньше, чем у медлительных наземных млекопитающих — ленивцев. Кривая построена в логарифмическом масштабе. (Крайнее значение на ординате — 1 млн. ккал, на абсциссе — 100 млн. г.)

Чтобы оценить сложность проблем терморегуляции у обыкновенной морской свиньи в холодной воде, мы подсчитали, сколько ей нужно вырабатывать тепла, чтобы не переохладиться. Общую поверхность тела и толщину жирового термоизолирующего слоя мы определили, непосредственно измерив их у мертвых животных, выброшенных на берег. Полученные значения подставили в формулы тепловых потерь и пришли к единственно возможному выводу: при нормальной для млекопитающих интенсивности метаболизма животное с такими небольшими размерами не может сохранять тепло в северных водах! Но вопреки нашим расчетам мелкие морские свиньи преспокойно режутся в холодных морях, хотя давно, казалось, должны были бы погибнуть.

Этот парадокс обескуражил биологов, которые уже привыкли к четким закономерностям при изучении сравнительных признаков. Количество тепла, выделяющегося в процессах обмена веществ, как раз такой параметр. С хорошей степенью точности значения интенсивности метаболизма разнообразных наземных млекопитающих удается разместить на известной кривой «от мыши до слона». Считалось, что, зная вес тела животного, для любого млекопитающего с помощью этой кривой можно достаточно надежно оценить его теплопродукцию. Однако по нашей оценке интенсивность обмена веществ, необходимая для того, чтобы морская свинья могла сохранять тепло в холодной воде, была настолько высокой, что явно противоречила всем данным, полученным для наземных млекопитающих.

Парадокс можно было разрешить двояко. Первое, самое простое, объяснение состояло в том, что метаболизм китообразных не описывается кривой «от мыши до слона», верной лишь для наземных млекопитающих. Другими словами, у китообразных минимальная интенсивность основного обмена так высока, что они не замерзают даже в холодной воде. Возможна и другая ситуация: интенсивность теплообразования у них нормальная (точнее, «сухопутная»), но, находясь в холодной воде, они непрерывно «делают гимнастику», т.е. энергично двигаются и вырабатывают таким образом дополнительную энергию, что предохраняет их от замерзания. Сделать выбор из этих двух предположений мы могли, лишь обратившись к самим морским свиньям. Какой же способ терморегуляции выбрала для них эволюция?

БЛАГОДАРЯ квалифицированной помощи Г. Санднеса из Института океанологии (г. Берген, Норвегия) мы провели эксперимент по измерению

тепловых потерь. Прежде всего мы научились содержать молодые экземпляры обыкновенной морской свиньи в более или менее удовлетворительных условиях в больших цистернах. Затем мы поместили их в резервуар меньших размеров, наполненный морской водой, — он играл роль калориметра. Молодая морская свинья весит всего 15 кг. Хотя рождается она со слоем жира толщиной всего в 1 см, разница между температурой окружающей воды и нормальной температурой тела может достигать 25°.

Исследуемое животное спокойно лежало в «калориметре»; тепло, вырабатывавшееся в его организме, пройдя сквозь изолирующий слой жира, нагревало окружающую воду. В воду поместили чувствительное термосопротивление, сигнал от него усиливался и подавался на самописец. Нам удалось получить графики зависимости температуры от времени с точностью до 0,001°. По наклону кривой изменения температуры для любого момента времени можно было определить количество тепла, которое теряет животное.

Наши данные явно свидетельствовали в пользу первого из приведенных выше объяснений: у морских свиней интенсивность обмена веществ была в 2—3 раза больше, чем у наземных млекопитающих с таким же весом тела. Усиленное теплообразование не дается животным даром: морские свиньи вынуждены добывать втрое больше пищи, чем наземные млекопитающие такого же веса, и им приходится подниматься к поверхности, чтобы дышать, в 3 раза чаще, чем если бы интенсивность метаболизма была у них обычной.

От морских свиней мы перешли к более крупным китообразным. Нас интересовало, насколько проще млекопитающим с более выгодными пропорциями сохранять тепло в холодной воде. Сначала мы теоретически рассмотрели модель кита, вес которого в 1000 раз больше, чем вес обыкновенной морской свиньи. Поскольку форма тела у этих морских млекопитающих очень похожа, линейные размеры такого кита должны быть больше в 10 раз. Поэтому, хотя он и продуцирует в 1000 раз больше тепла, оно рассеивается в окружающую воду с поверхности, лишь в 100 раз большей, чем у морской свиньи.

Рассмотрим уменьшение тепловых потерь пока что только в связи с термоизоляцией жировым слоем. В то время как морской свинье для удержания тепла нужен слой жира толщиной 2 см, кит, в 1000 раз более тяжелый и с такой же, как у морской свиньи, интенсивностью метаболизма, мог бы обходиться жировым слоем не толще 2 мм. Однако в действительности у китов подобных размеров слой жира достигает 20 см, и

даже в полярных морях им приходится решать проблему охлаждения. Получается, что у китообразных такой величины термоизоляция в 100 раз эффективнее, чем это необходимо.

Если жировой слой у крупных китообразных значительно толще, чем это требуется для термоизоляции, он, вероятно, выполняет еще какие-то функции. Какие же? Во-первых, жировая ткань имеет низкий удельный вес и поэтому компенсирует отрицательную плавучесть мышц и скелета животного. Во-вторых, жир — это запас питательных веществ, достаточный, чтобы обеспечивать потребности организма во время сезонных миграций: животным порой приходится проплывать тысячи миль, не встречая пищи.

Исходя из общего для млекопитающих правила о соответствии между интенсивностью обмена веществ и размером животного, мы должны были бы ожидать, что в пересчете на 1 кг веса кит вырабатывает значительно меньше тепла, чем обыкновенная морская свинья. Мы не смогли найти способ прямо измерить интенсивность метаболизма у 40-тонного животного, поэтому оставалось оценить теплопродукцию у кита лишь на основании его анатомии.

В Стейнхамне (Норвегия) на китобойной станции мы получили легкие 14-метрового финвала (*Balaenoptera physalus*). Наполняя их сжатым воздухом и опорожняя затем через газомер, мы определили объем легких кита. Мы предположили, что объем воздуха, который удавалось изгнать из легких, равен объему одного вдоха животного. Наблюдая финвалов на воле, мы установили, с какой частотой животные дышат. Обычно киты этого вида, поднырившись на поверхность, быстро делают 5 вдохов подряд, после чего проводят под водой около 5 мин. Таким образом, в среднем взрослый финвал вдыхает примерно 1 раз в минуту.

Исходя из объема легких и частоты дыхания, мы рассчитали объем воздуха, вдыхаемого финвалом: 2000 л/мин. Обычно млекопитающие используют около 6% кислорода вдыхаемого воздуха. (В атмосферном воздухе, в состав которого помимо кислорода входят азот и другие газы, на кислород приходится 21%.) Поскольку при поглощении 1 см³ кислорода в результате окисления питательных веществ выделяется 5 кал тепла, можно, хотя и очень приблизительно, оценить интенсивность метаболизма. Полученное для финвала значение, как и в случае обыкновенной морской свиньи, лежало на графике зависимости интенсивности обмена веществ от веса тела намного выше кривой для наземных млекопитающих. Однако при пересчете на единицу веса интенсивность метаболизма у китов оказалась даже ниже, чем у ле-

нивцев, вялый обмен веществ которых вполне соответствует неторопливости их движений.

Итак, абсолютная интенсивность метаболизма у крупных китов ниже, чем у других млекопитающих; кроме того, они способны запасать питательные вещества в форме жира. Из этого следует, что они относительно независимы от колебаний количества доступной пищи. Все крупные киты могут, не питаясь, удовлетворять свои потребности в энергии за счет жирового запаса (за 3—6 месяцев он растрачивается наполовину). Это дает им возможность кормиться в богатых северных морях, а потомство производить на свет за тысячи миль отсюда, в теплых

тропических водах.

По сравнению с китами обыкновенная морская свинья, напротив, ведет более напряженную жизнь. Высокая интенсивность метаболизма заставляет ее питаться гораздо чаще, животное не может долго обходиться без еды, и это существенно ограничивает возможности миграции. По той же причине морская свинья не может надолго задерживать дыхание: ныряя в поисках добычи, она полностью зависит от того запаса кислорода, который берет с собой с поверхности. Вопрос о том, как морской свинье удается обходиться этим количеством кислорода, стал предметом следующего этапа исследований.

ИЗВЕСТНО, что интенсивность жизненных процессов у млекопитающих выше, чем у других животных, потому, что они поглощают больше кислорода. А это в свою очередь обусловлено параллельной прогрессивной эволюцией дыхательной и сердечно-сосудистой систем, которые стали более производительными, чем у амфибий и рептилий. Когда наземные предки китообразных покинули сушу, на которой не испытывали недостатка в кислороде, и перешли к водному образу жизни, у них должны были выработаться еще более эффективные приспособления для запасаания и транспорта кислорода. По каким направлениям они развивались?

Рассмотрим кашалота — одного из наиболее приспособленных к подводной жизни китообразных. Морская свинья ныряет всего на несколько минут, а кашалот может проводить под водой до часа. Но даже морские свиньи, довольно посредственные ныряльщики среди китообразных, в этом отношении намного превосходят человека (разумеется, если не брать в расчет технических устройств); это не удивительно, так как все китообразные, и крупные и мелкие, способны брать с собой под воду значительно больший запас кислорода, чем человек. Одним из определяющих факторов оказывается относительный объем крови: у китообразных на единицу веса тела приходится в 2—3 раза больше крови, чем у человека. Кровь китообразных имеет большую кислородную емкость, чем кровь человека. Кроме того, у кита создается дополнительный запас кислорода благодаря тому, что в мышцах он образует комплекс с миоглобином. Миоглобин — это по сути одна из субъединиц гемоглобина, кислородпереносящего белка эритроцитов. (Кстати, именно миоглобин обуславливает характерный темно-красный цвет мышц.) У некоторых видов китообразных миоглобина в мышцах столько, что он может связать еще более половины того количества кислорода, которое переносят все эритроциты.

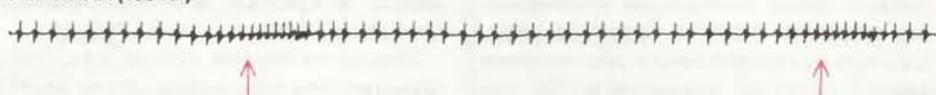
Когда кит всплывает на поверхность после длительного пребывания под водой, во время которого весь запас кислорода — как в крови, так и в мышцах — истощился, его в высшей степени развитая сосудистая система очень быстро прокачивает кровь через легкие. Это достигается не только благодаря мощному сердцу, но и особым приспособлениям: необыкновенно обширной сети капилляров (*retia mirabilia*, или «чудесная сеть») и крупным венозным синусам. Об истинной функции этих необычных структур можно лишь догадываться: по-видимому, они как-то способствуют насыщению эритроцитов кислородом. Быстрая циркуляция крови отражается на скорости



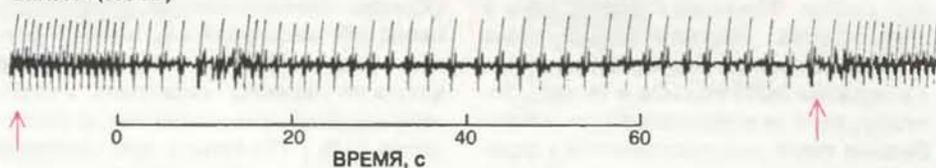
ДЕЛЬФИН-БЕЛОБОЧКА (50 КГ)



АФАЛИНА (150 КГ)



БЕЛУХА (500 КГ)



СЕРДЦЕБИЕНИЕ у афалины записано с помощью ультразвукового передатчика, прикрепленного к телу (фото вверху). Сердцебиение у дельфина-белобочки (*Delphinus delphis*) и у белухи (*Delphinapterus leucas*) записано непосредственно (электрокардиограмма). В скобках указан вес животного. Начало вдоха в каждом случае отмечено цветной стрелкой. У всех трех животных при вдохе сердцебиение ускоряется, благодаря этому усиливается поглощение кислорода. Затем, независимо от того, ныряло животное, отдыхало на поверхности или его вовсе вынимали из воды, сердцебиение замедлялось до минимальной частоты. В экспериментах П. Сколандера, в которых тюленей и уток принудительно погружали под воду, у животных после погружения частота сердечных сокращений резко уменьшалась. У трех видов китообразных такого явления не обнаружено. Возможно, что у насильно погружаемых животных оно возникало просто от испуга.

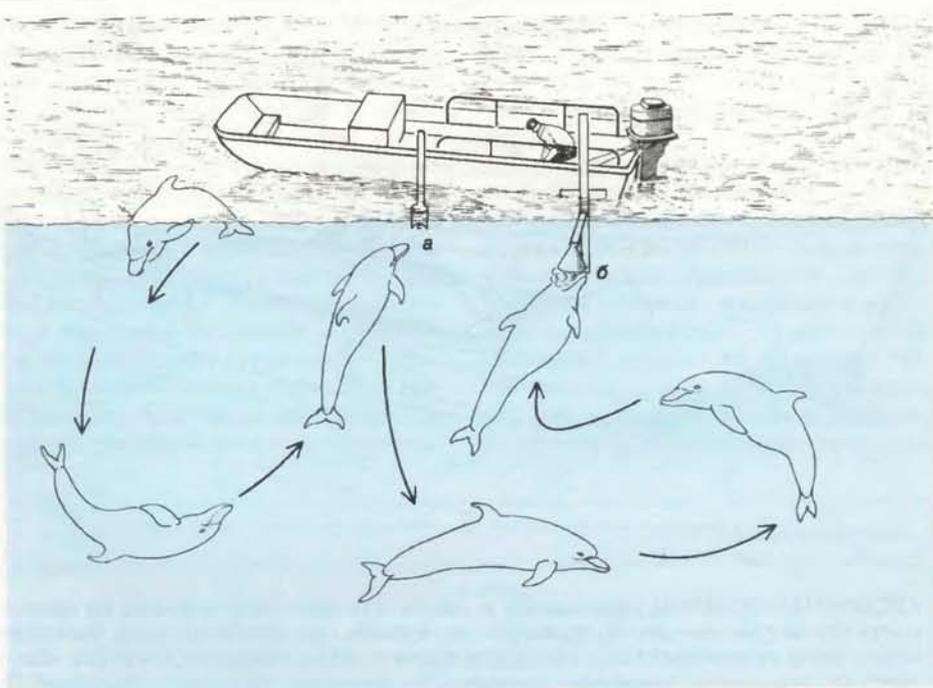
сердцебиения: пока животное дышит на поверхности воды, его сердце бьется быстрее. Это фундаментальное отличие дыхания китообразных — наземные млекопитающие обычно дышат размеренно, и кровь у них движется с относительно постоянной скоростью.

Эритроциты, восполнившие запас кислорода, передают часть его не содержащим кислорода молекулам миоглобина в мышечных клетках животного. Этот процесс проходит быстро и легко, поскольку миоглобин имеет больше, чем гемоглобин, сродство к кислороду. Связывая кислород прочнее, чем гемоглобин, миоглобин тем самым препятствует обратному переносу кислорода в систему кровообращения. Связанный с миоглобином кислород — это запас, которым пользуется лишь окружающая мышечная ткань, пока животное находится под водой. Большая часть миоглобина локализована вблизи митохондрий, в которых, как известно, осуществляется клеточное дыхание.

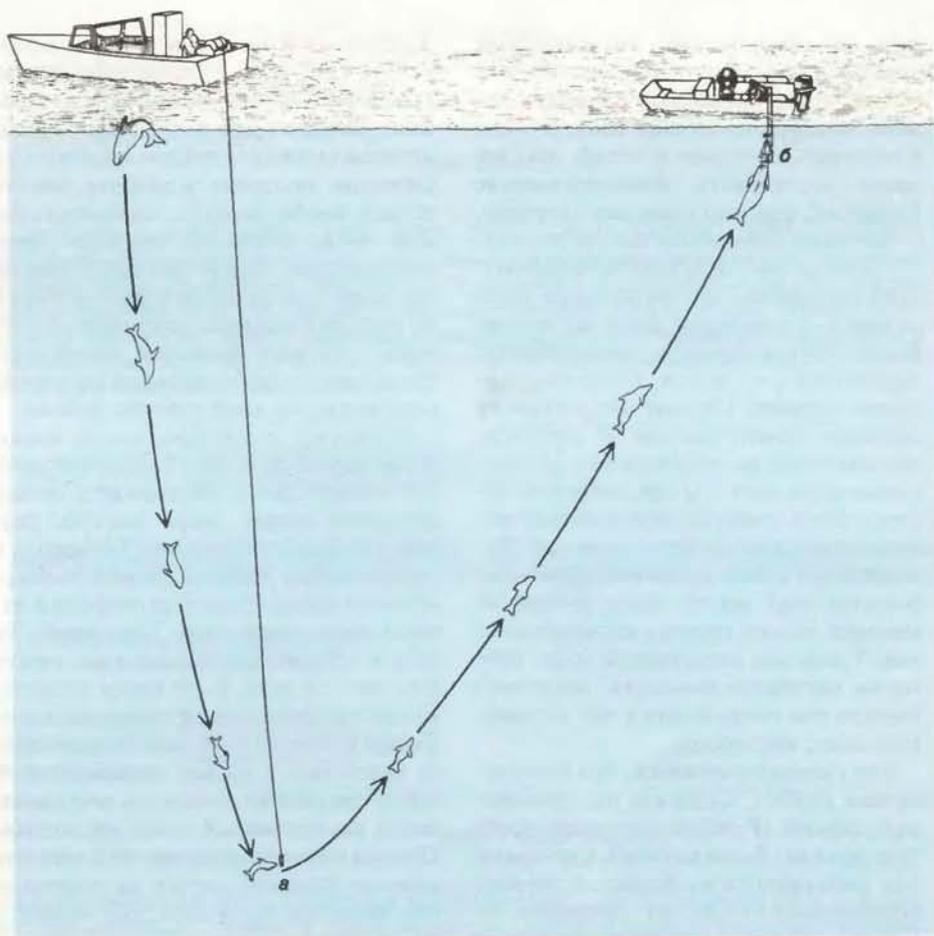
Миоглобин есть в мышцах и у наземных млекопитающих, но в значительно меньшем количестве. Одна из его функций здесь — быть локальным источником кислорода в мышечных клетках во время сокращения, когда мускулы славливают капилляры, прекращая доступ свежей крови и, следовательно, кислорода. Очевидно, что интенсификация запаса кислорода в миоглобине у китообразных — это приспособление к длительному нырянию, которое развилось на основе механизмов, уже имевшихся у предковых наземных млекопитающих.

КОГДА мы начали исследовать способности китообразных нырять, по этому вопросу уже существовала общепринятая гипотеза. Она сложилась после экспериментов П. Сколандера (Скриппсовский океанографический институт), в которых было продемонстрировано, что, если животное (утку или тюленя) принудительно погрузить под воду, частота сердцебиения резко падает, а кровоток ослабляется так, что приток крови к мускулам и внутренним органам очень сильно уменьшается. Слабо бьющееся сердце гонит кровь практически только в мозг и в само сердце, т.е. в те органы, которые совершенно не могут оставаться без кислорода (например, если приток крови к мозгу прекратится на несколько секунд, человек теряет сознание). При этом в мышцах энергия образуется только анаэробным путем, и в результате накапливается молочная кислота.

Эта логика стала хрестоматийной для объяснения способности надолго нырять не только у уток или тюленей, но и у других водоплавающих птиц и морских млекопитающих. Однако дан-



ДРЕССИРОВАННОГО ДЕЛЬФИНА Таффи обучили погружаться при включении первого зуммера (а) и оставаться под водой до второго звонка (б). Опыты показали, что Таффи без затруднений мог оставаться под водой в течение 6 мин, хотя почти полностью истощал весь запас кислорода уже в первые три минуты.



СПОСОБНОСТЬ ДЕЛЬФИНА НЫРЯТЬ НА БОЛЬШУЮ ГЛУБИНУ. Зуммер с выключателем (а) опустили на глубину 150 м. Звонки служили Таффи сигналом нырнуть и выключить его. По сигналу второго зуммера дельфин возвращался к шлюпке (б). Таффи без труда нырнул на глубину 150 м и не уставал, но после погружения на 300 м в течение некоторого времени нуждался в отдыхе.



КЕССОННАЯ БОЛЕЗНЬ развивается в результате быстрого подъема на поверхность после длительного погружения: на глубине, где давление выше, растворимость азота увеличивается, а при всплывании вновь уменьшается и кровь «вскипает» от пузырьков газообразного азота. Подвержены ли ей китообразные? По команде афалина несколько раз ныряла на глубину 100 м, проводя за час примерно 20 мин на глубине более 50 м. Затем дельфин заплывал на плот рядом с шлюпкой. Экспериментатор вводил сквозь жировой слой в мышечную ткань животного газообразную иглу. Состав газовой смеси тут же анализировали с помощью масс-спектрометра. Оказалось, что в мышцах дельфина азот содержится в концентрации, которая для человека была бы опасна. Однако симптомов кессонной болезни нет; это — еще одно приспособление к нырянию.

ных по физиологии китообразных практически не было. В единственном опыте, когда связанного дельфина лишили воздуха, погрузив в воду, он впал в шоковое состояние и погиб. Мы решили исследовать физиологические процессы, сопровождающие ныряние, у свободно плавающих китообразных.

Сначала мы прикрепили подопытным дельфинам ультразвуковые передатчики, с помощью которых можно было регистрировать сердцебиение животного в то время, когда оно свободно плавает. Первый же результат оказался удивительным: у дельфина при нырянии не наблюдалось резкого уменьшения частоты сердцебиения, которое было отмечено при насильственном погружении уток и тюленей. По-видимому, у дельфинов все время пребывания под водой поддерживается высокий общий уровень кровообращения. Тогда мы попытались более прямыми методами выяснить, насколько быстро при погружении у них истощается запас кислорода.

Так удачно получилось, что исследователи из ВМС США как раз тренировали афалин (*Tursiops truncatus*), которые должны были служить курьерами для работающих на большой глубине подводников. Один из тренеров, У. Скронс, обучил дельфина по кличке Таффи по команде выдыхать воздух в воронку, закрепленную под водой, благодаря чему мы могли собрать выдыхаемый воздух для анализа. Сигналом для Таффи был подводный зуммер. Ес-

ли он касался рылом звонка и выдыхал воздух в воронку, в награду ему давали три рыбы. Другой звонок служил дельфину сигналом для погружения. Меняя интервал между сигналом «нырнуть» и сигналом «выдохнуть воздух», мы получали пробы воздуха, соответствующие всему диапазону времени задержки дыхания. Таффи без труда мог задерживать дыхание до 6 мин, но гораздо раньше он начинал проявлять нетерпение, ожидая команды выдохнуть. Раздраженно поглядывая на нас сквозь слой воды, он даже скрипел зубами.

К нашему удивлению, анализ воздуха, который выдыхал Таффи, показал, что концентрация кислорода в легких дельфина падает очень быстро. Так, всего за 3 мин содержание кислорода в легких Таффи уменьшалось с 21% (нормальная концентрация кислорода в атмосферном воздухе) до 2% и ниже. То есть в течение остальных трех минут ему, по сути дела, было нечем дышать. После такой долгой задержки дыхания Таффи в течение 4—5 мин не подчинялся командам, а плавал на поверхности и быстро дышал, очевидно восстанавливая растроченный запас кислорода. Однако после погружения на 2 мин или меньше дельфин, сделав на поверхности лишь быстрый вдох, мог нырнуть сразу.

Теперь мы поняли, почему не наблюдалось резкого уменьшения частоты сердцебиения у дельфинов, снабженных ультразвуковыми передатчиками, когда они ныряли. Как и Таффи, они

почти не старались подольше сохранить исходный запас кислорода. Он быстро растрчивался, и вскоре во всех тканях, в том числе и в мозгу, возникал недостаток кислорода. Мы установили, что все водные животные, которые дышат атмосферным воздухом (помимо китообразных мы изучали также ныряющих птиц, тюленей и ламантинов), всячески избегают дефицита кислорода и поэтому обычно ныряют на очень короткое время. Так, Таффи и другие дельфины, когда их не принуждали командами к обратному, ныряли не более чем на 2,5 мин. Более длительные погружения были исключениями. Зато нырять на короткое время дельфины способны часами.

ЕСЛИ человек проводит под водой столько времени, что в его крови успевает раствориться значительное количество азота, а затем всплывает слишком быстро, азот образует в крови мельчайшие пузырьки, что вызывает болезненные симптомы (так называемую кессонную болезнь) и даже смерть. Почему дельфины, не говоря уже о крупных китах, способных погружаться более чем на километр в глубину, не страдают кессонной болезнью? Пытаясь найти ответ на этот и связанные с ним вопросы, мы предприняли ряд экспериментов с нашими дрессированными афалинами.

Один зуммер, управляемый с поверхности, опускали на разную глубину. Таффи обучили нырять и выключать его, надавливая рылом на выключатель. Сразу после выполнения этой команды Скронс включал второй сигнал у поверхности воды, по которому Таффи быстро поднимался и выдыхал воздух в воронку.

Согласно литературным данным, дельфины не ныряют на большую глубину. Начиная наши опыты, мы поместили первый зуммер на глубину 150 м. Таффи с легкостью преодолел этот путь, «сдвигая» нам пробу газа и порой требовал от нас причитавшиеся ему три рыбы, даже не вдохнув свежего воздуха. Было ясно, что он не достигал максимальной для себя глубины. Тогда мы погрузили зуммер на 300 м. Теперь Таффи нужно было гораздо больше времени, чтобы передохнуть. Судя по всему, он был близок к пределу своих возможностей. (Позже в лаборатории на Гавайских островах исследователям из ВМС США удалось обучить дельфинов близкого вида нырять почти на 600 м).

Большое давление воды (на глубине 300 м оно составляет около 30 атм), по-видимому, не доставляло Таффи неприятностей. Мы предположили, что при столь высоком внешнем давлении легкие животного практически полностью спадаются. Поместив у нижнего зуммера фотокамеру со вспышкой, мы смогли увидеть, как выглядит Таффи

на глубине 300 м. Оказалось, что грудная клетка животного действительно сильно деформировалась вследствие того, что гидростатическое давление сжимало его легкие.

Затем мы попытались вызвать кессонную болезнь у другого дрессированного дельфина, заставляя его безостановочно нырять. Как только его дыхание восстанавливалось, мы снова посылали его на глубину; в результате дельфин в течение часа примерно 20 мин проводил на глубине более 50 м, но тем не менее не проявлял признаков утомления. При участии Р. Говарда из Скриппсовского океанографического института мы непосредственно измерили концентрацию азота, накапливающегося в мускулах животного в результате ряда последовательных погружений. Это было нелегкой задачей. Вначале мы приучили дельфина после серии погружений заплывать и ложиться на специальный плот, плавающий рядом со шлюпкой экспериментатора. Пользуясь относительной неподвижностью животного, мы вводили сквозь жировой слой в подлежащие мускулы очень тонкую газозаборную иглу. Игла была соединена трубкой с масс-спектрометром, который сразу же измерял концентрацию растворенного азота в мышечной ткани. (Хочется заметить, что в маленькой, не слишком устойчивой шлюпке, да еще в движении на воде, эта процедура требовала от экспериментатора незаурядного терпения.)

И снова результат оказался поразительным. Концентрация растворенного азота в мышечной ткани дельфина указывала на перенасыщение, которое для организма человека было бы опасным. Мы могли лишь заключить, что китообразные могут безболезненно переносить такую концентрацию азота, которая у человека неминуемо вызывает кессонную болезнь. Как это им удается, пока неясно.

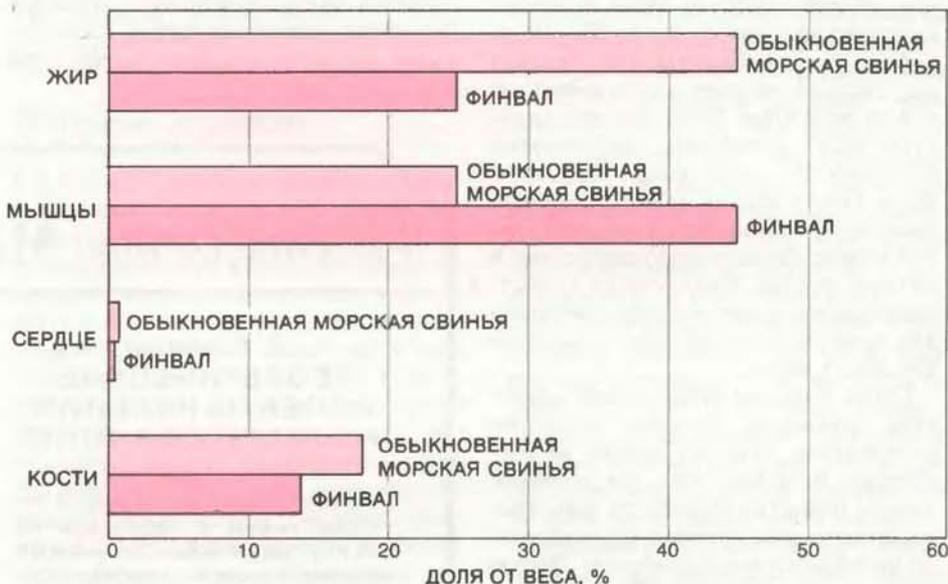
КАКУЮ роль в становлении экологического равновесия Мирового океана сыграло появление и развитие таких замечательных приспособлений к нырянию? Некоторые водные млекопитающие, например калан и ламантин, кормятся в прибрежных водах. Плотоядные ластоногие (тюлени, морские львы и моржи) прекрасно себя чувствуют в открытом море, но в период размножения все-таки должны возвращаться на берег. И только китообразные все время живут в просторах океана. Они получили доступ к гигантским запасам пищи, которую предоставляет разнообразие форм обитателей океана. В океане киты и дельфины заняли место последнего звена цепи питания.

О процветании этих хищников с удивительно совершенной физиологией можно судить по их численности. Счи-

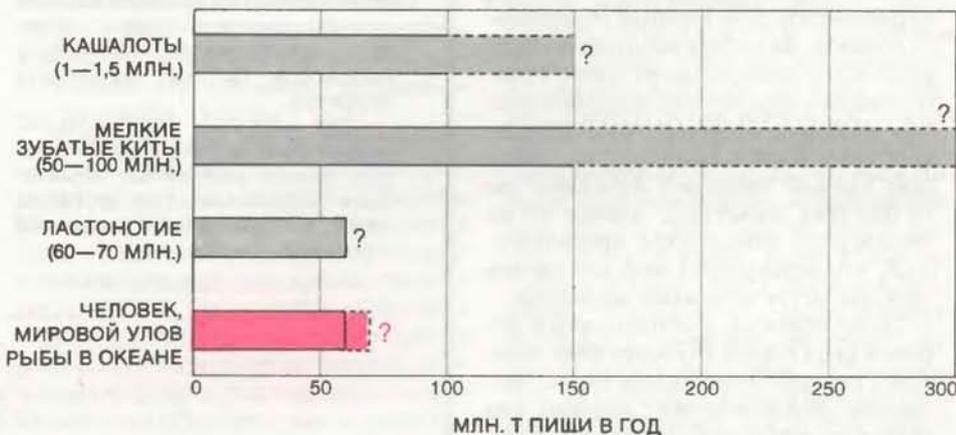
тается, что многие виды китообразных находятся на грани полного истребления. Это мнение во многом основано на неточном представлении о современной их численности. Так, общее число синих китов по меньшей мере на порядок превышает численность таких редких наземных животных, как орангутан или гигантская панда. Собственно говоря, численность почти всех видов китообразных весьма внушительна, а некоторые популяции так велики, что их показывают туристам как местную достопримечательность. На калифорнийском побережье наблюдение за китами превратилось в вид спорта. А в

экскурсиях по Атлантике, отправляющихся из окрестностей Бостона, гарантируются частые встречи с китами уже через час-два пути после выхода из порта.

С развитием современного китобойного промысла численность кашалотов снизилась приблизительно вдвое, однако и теперь не стоит утверждать, что она низка. Английский цетолог М. Кларк оценивает численность кашалотов приблизительно в 1 млн. особей (по другим данным, их 1,5 млн.) и считает, что ежегодно они поедают около 100 млн. т глубоководных кальмаров, которыми в океане больше практиче-



РАЗЛИЧИЯ В ОТНОСИТЕЛЬНОМ ВЕСЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ ТЕЛА. Сравните обыкновенную морскую свинью, представителя мелких зубатых китов, с крупным усатым китом, финвалом, обитающим в холодных приполярных водах. Только около четверти веса тела морской свиньи приходится на мускулы, примерно половину составляет жир. У финвала более выгодное соотношение поверхности и объема тела, поэтому на его толстый жировой слой приходится всего четверть веса, а на мускулы — почти половина.



ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ по крайней мере не меньше, чем наземных. Сравните массу пищи, поедаемой морскими млекопитающими, с мировым уловом рыбы. 1 млн. кашалотов за год поедают до 100 млн. т океанических кальмаров (и даже больше, если в действительности кашалоты многочисленнее). 50—100 млн. дельфинов и других мелких зубатых китов поглощают от 100 до 300 млн. т рыбы (эта оценка менее надежна). Тюлени, морские львы и моржи — их 60—70 млн. — ежегодно поедают около 60 млн. т рыбы. А человек во всем мире ежегодно ловит всего 60—70 млн. т рыбы (выделено цветом).

ски никто не питается. Поучительно сравнить это количество с общей мировой добычей рыбы человеком, которая составляет 60—70 млн. т.

М. Пилсон (Университет шт. Род-Айленд) подсчитал среднегодовое потребление пищи морскими млекопитающими другой группы — ластоногими. Его оценка отличается большей точностью: численность ластоногих учесть легче, чем китообразных, поскольку ластоногие в период размножения выходят на берег. В большинстве мест их размножения проводится учет, а средние потребности животных в пище известны, поскольку ластоногих содержат и в неволе. Пилсон считает, что тюлени, морские львы и моржи ежегодно поглощают около 60 млн. т. рыбы, т.е. приблизительно столько же, сколько человек вылавливает за год во всем мире. Если экстраполировать число дельфинов, добываемых ежегодно при ловле тунца в восточной части Тихого океана, общую мировую численность дельфинов и морских свиной можно оценить приблизительно в 100 млн. особей. Даже если их в действительности вдвое меньше, ежегодно эти животные потребляют примерно 150 млн. т. пищи.

Столь большие цифры могут вызывать удивление, поэтому поспешим оговориться, что они далеко не бесспорны. В самом деле, как правило, трудно оценить численность животного, пока человек случайно или намеренно не займется его промыслом. Достаточно двух примеров. До недавнего времени дельфин Фразера был известен по единственному скелету, добытому в 1954 г. Теперь, когда мы знаем об этом животном несколько больше, на него стали обращать внимание. Так, вблизи Филиппин наблюдали стаи по сотне и более особей; по-видимому, эти животные широко распространены в тропической зоне Тихого и Индийского океанов. Величину популяции белокрылой морской свиной на севере Тихого океана исследователи оценивали всего в несколько десятков особей. Однако с тех пор как выяснилось, что японские рыбаки ежегодно добывают до 10 000 этих животных, мнение об их численности изменилось: предполагается, что белокрылых морских свиных насчитывается не меньше миллиона.

Таким образом, очевидно, что в пищевой цепи океана китообразные занимают гораздо более видное место, чем человек. Это не означает, конечно, что человек в результате неумеренной добычи не истощил уже некоторые локальные популяции рыб и морских млекопитающих, например некоторых видов китов в Антарктике. Однако мы считаем, что в большей части океана промысел, который в значительной степени ограничен рамками немногочисленных высокопродуктивных райо-

нов, вряд ли серьезно изменил общую динамику биогенных элементов.

Одной из форм общей динамики биогенных элементов является апвеллинг — подъем пищевых веществ с больших глубин, — который наблюдается в зоне восходящих течений в районе южной Африки в Атлантическом океане и у берегов Южной Америки в Тихом океане. Китообразные также участвуют в этом процессе, причем очень существенно. Все другие животные обеспечивают поток биогенных элементов в целом по направлению к дну океана. Морские млекопитающие вследствие необходимости дышать воздухом привязаны к поверхности, поэтому они обеспечивают движение биогенных элементов вверх. Даже фекалии китов не опускаются вниз: они

разносятся водой быстрее, чем тонут.

Для тех из нас, кто заинтересован в благополучии китов — неважно, по научным соображениям или просто в силу симпатии, — появились теперь некоторые основания для оптимизма. Промысел этих животных в удаленных районах океана связан с большим расходом топлива. Так как гладкие («настоящие») киты, наиболее выгодные с коммерческой точки зрения, стали встречаться реже, затраты на их добычу очень возросли (главным образом из-за топлива, которое к тому же подорожало), что весьма ограничивает промысел. Так, по иронии судьбы Организация стран — экспортеров нефти, пожалуй, в конечном счете сделала для уменьшения охоты на китообразных больше, чем борцы за охрану природы.

Издательство МИР предлагает:

З. Сланина ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЯВЛЕНИЯ ИЗОМЕРИИ В ХИМИИ

Перевод с чешского

Книга из серии монографий по теории химии. В небольшом по объему труде чешского ученого явление изомерии рассматривается с единых позиций термодинамики. Большим достоинством книги являются ее оригинальность, доступность изложения и широта охвата материала.

Содержание: Введение. Обзор проявлений изомерии в химии. Явление изомерии и энергетическая гиперповерхность. Теория химических реакций в современной квантовой химии. Измерия компонентов химических процессов. Подсчет изомерных структур.

Для научных работников — теоретиков и экспериментаторов самых различных химических специальностей, а также для преподавателей и студентов химических вузов.

1984, 10 л. Цена 1 р. 80 к.

Дж. Уокерли АРХИТЕКТУРА И ПРОГРАМИРОВАНИЕ МИКРО-ЭВМ

Перевод с английского

Систематическое изложение общих принципов построения микро-ЭВМ широкого назначения. Подробно рассматриваются вопросы программирования как на языке ассемблера, так и на языке Паскаль, который в последнее время стал одним из наиболее распространенных языков высокого уровня для микро-ЭВМ. Подробно описаны структура и способы комплексирования микро-ЭВМ на основе широко известных семейств микропроцессоров MC 68000, S 8000, TMS 9900, 8086, MC 6809. Приведены многочисленные примеры рабочих программ.

Для специалистов, связанных с разработкой и применением микропроцессорных систем, а также аспирантов и студентов соответствующих специальностей вузов.

1984, 49 л. Цена 4 р. 20 к.



Новая конструкция промышленного дистиллятора

СТАНДАРТНАЯ промышленная ректификационная колонна для разделения жидких смесей двух или нескольких компонентов с различными температурами кипения не содержит движущихся частей. Процесс разделения прост и весьма надежен. Однако стоимость колонны вместе с вспомогательным оборудованием очень высока. Инженеры английской фирмы Imperial Chemical Industries предложили новый способ разделения жидких смесей во вращающемся барабане. По их мнению, новая технология имеет ряд преимуществ по сравнению с прежней и требует меньших капитальных затрат.

В обычном процессе перегонки смеси типа нефти исходный продукт поступает в нижнюю часть ректификационной колонны в виде нагретой смеси жидкости и пара. Колонна высотой 50 м содержит до 40 фракционирующих тарелок, расположенных на равных расстояниях по ее высоте. Пары поднимаются вверх по колонне и конденсируются в ее верхней части. Часть сконденсировавшейся жидкости (содержащей преимущественно компонент с самой низкой температурой кипения) выводится из системы. Остальная жидкость стекает вниз по тарелкам, контактируя на каждой из них с поднимающимися вверх парами. При этом жидкость поглощает из пара более тяжелые компоненты и теряет более легкие. Когда достигнуто состояние равновесия, колонна разделяет все составляющие компоненты, причем более низкокипящие сосредотачиваются в ее верхней части, а более высококипящие — в нижней части.

В новой системе Хайги (*от high — высокий и g — гравитационная постоянная*), предназначенной для разделения смесей с высокой плотностью, основным узлом конструкции является плоский барабан, заполненный пористой насадкой, применяющейся во многих перегонных устройствах. Барабан вращается со скоростью 1800 об/мин. При этом развивается центробежная сила примерно 900 g (т.е. в 900 раз больше силы тяжести на поверхности Земли). Нагретая жидкость подается в центр барабана и под действием центробежной силы перемещается к его периферии. Пары движутся в противоположном направлении, входя в барабан через отверстия в его ободе, поскольку давление внутри барабана меньше, чем снаружи. В пористой насадке пары и жидкость контактируют тонкими слоями, что приводит к быстрому разделению.

Экспериментальная установка демонстрируется фирмой с 1981 г. Она снабжена двумя роторами. Диаметр каждого ротора 76 см, а толщина 15 см. Установка хорошо разделяет этанол и изопропанол. Для разделения этих жидкостей, кипящих соответственно при 78 и 82°C, потребовалась бы ректификационная колонна высотой 30 м и диаметром 1 м. Создатели новой конструкции утверждают, что установку легко чистить, ремонтировать и перемещать. Остается проверить, не будут ли чрезмерными эксплуатационные затраты при использовании такой установки, увеличенной до промышленных масштабов.

В одной упряжке

ПОЧЕМУ автомобильные товарищества оказываются столь недолговечными? Четверо коллег разделяют мысль, что в принципе было бы неплохо, договорившись, ездить на работу и домой в одной машине, экономя горючее, место на шоссе да и собственные силы. Однако уже в понедельник миссис Джонс не может везти друзей в своей машине, поскольку она уезжает из города. Во вторник до работы всех подвозит Смит, хотя его очередь падает на четверг: ему понадобится собственный автомобиль в обеденный перерыв. Джонс поменялась очередью с Брауном (ему следовало везти всех в среду). А вот Робертс, который должен был предложить свою машину во вторник, не может поменяться со Смитом и сестра за руль в четверг. Джонс задерживается в отъезде, так что в среду она тоже не может участвовать в общей поездке. Смит отказывается везти машину три дня подряд, поэтому в среду его должен подменить Браун или Робертс. В общем к следующей неделе никто не может вспомнить, чья же теперь очередь.

Р. Фэйгин и Дж. Вильямс, сотрудники исследовательской лаборатории корпорации International Business Machines (IBM) в Сан-Хосе, придумали остроумный алгоритм, позволяющий в любой день вычислить, кому следует сесть за руль. Их способ не запрещает членам автомобильного товарищества пропускать свою очередь, вести машину вне очереди и произвольно обмениваться этой обязанностью. Однако более важно то, что он дает простой метод подсчета, справедливо учитывающий вклад каждого члена товарищества в общее дело. Гибкость и объективность этого алгоритма, беспристрастно определяющего, кому подошла очередь дежурить, позволяет использовать его в любой ситуации, когда группа людей договаривается поочередно

выполнять какую-либо повседневную обязанность, и не только связанную с вождением автомобиля, а, например, с дежурством на кухне.

Фэйгин и Вильямс описали свой алгоритм для автомобильного товарищества в журнале «IBM Journal of Research and Development». Предположим, что N человек договорились вместе ездить на работу, а U — наименьшее общее кратное всех чисел, меньших или равных N . Так, когда в автомобильном товариществе три человека, $U = 6$, а если объединятся четверо, $U = 12$. Система, разработанная Фэйгином и Вильямсом, ведет текущий счет на каждого члена товарищества. Если он предлагает свою машину, к его счету прибавляется определенное количество очков, если же он сам пользуется услугами партнеров, его «капитал» убывает. В тех случаях, когда член товарищества обходится без машины или едет самостоятельно, счет его остается неизменным. Допустим, в какой-либо из дней количество участников равно K (оно может быть и меньше N). В этот день водителю начисляется $U(K - 1)/K$ очков и по U/K очков снимается с текущего счета каждого пассажира. Таким образом, если вместе едут три из четырех членов товарищества, водитель получит $12 \cdot 2/3$, т.е. восемь очков, а каждый из пассажиров потеряет по $12/3$, т.е. по четыре очка. На следующий день за руль должен садиться тот, на чьем счету меньше всего очков.

Фэйгин и Вильямс отмечают, что более простым системам учета, например основанным на обмене талончиками, когда водитель за одну поездку получает с каждого пассажира по одному талону, свойственна некоторая несправедливость. Тот, кому постоянно приходится садиться за руль в дни, когда набирается мало пассажиров, получит меньшее вознаграждение, чем тот, кто всегда ведет полную машину. Более корректная система учета потребовала бы, например, чтобы миссис Джонс вела машину в каждом третьем случае, когда имеются два попутчика, и через раз, когда едет только один сотрудник. Предлагаемый метод справедлив в еще более широком смысле. Общее количество поездок, когда миссис Джонс должна сидеть за рулем, равно сумме половины поездок, когда она в машине с одним компаньоном, трети поездок, когда она с двумя попутчиками, и четверти поездок вчетвером. Таким образом, ей не придется вести машину в половине тех случаев, когда едут только двое, поскольку из алгоритма ясно, как восполнить дефицит очков, ведя машину с большим числом пассажиров. Более того, система применима не только к одному автомобильному товариществу. Вклад каждого члена товарищества будет справедливо учтен, даже если система охватит несколько товариществ в одном учреждении.

Георг Кантор и рождение теории трансфинитных множеств

Насколько велико бесконечное множество?

*Кантор доказал существование иерархии бесконечностей,
каждая из которых «больше» предшествующей.*

*Его теория множеств — один из краеугольных
камней математики*

ДЖОЗЕФ У. ДАУБЕН

ПРИРОДА бесконечности всегда была предметом спора. О том, что она интересовала еще древних мыслителей, свидетельствуют знаменитые парадоксы Зенона Элейского, который доказывал, что движение мыслить невозможно, поскольку движущийся объект проходит бесконечное число точек в конечное время. Разработанное Ньютоном в XVII в. исчисление бесконечно малых позволило по-новому подойти к описанию движения, однако математически строгая формулировка инфинитезимальных идей была предложена лишь спустя два с лишним столетия. Впоследствии проблемы, связанные с бесконечностью, стали рассматриваться в теории множеств, ставшей по существу фундаментом современной математики. Следует отметить, что в ходе своего развития идея бесконечности имела теологический оттенок, порой игравший определенную роль в решении вопроса о приемлемости математических и философских теорий, связанных с понятием бесконечности. Все сказанное имеет отношение к жизни и деятельности немецкого математика Георга Кантора.

Сущность трудов Кантора хорошо известна: разработав то, что он назвал арифметикой трансфинитных чисел, он придал математическое содержание идее актуальной бесконечности. При этом он заложил основы теории абстрактных множеств и внес существенный вклад в основание анализа и в изучение континуума вещественных чисел. Самое замечательное достижение Кантора состояло в доказательстве того, что не все бесконечные множества количественно эквивалентны, т.е. имеют одинаковую мощность, а потому их можно сравнивать друг с другом. Например, множество точек прямой и множество всех рациональных чисел являются бесконечными. Кантор сумел доказать, что мощность первого

множества превосходит мощность второго. Идеи Кантора оказались столь неожиданными и противоречащими интуиции, что знаменитый французский математик Анри Пуанкаре назвал теорию трансфинитных чисел «болезнью», от которой математика должна когда-нибудь излечиться. Леопольд Кронекер — учитель Кантора и один из самых авторитетных математиков Германии — даже напал на Кантора лично, называя его «шарлатаном», «рenegатом» и «растлителем молодежи».

Известно также, что Кантор был подвержен «нервным заболеваниям», участившимся с возрастом и все более ослаблявшим его. Эти расстройства были, по-видимому, симптомами болезни мозга. Недавнее исследование английского историка математики Айвора Граттана-Гинеса, опиравшегося на анализ истории болезни Кантора, хранящейся в психиатрической лечебнице в Галле (ГДР), говорит о том, что Кантор страдал маниакально-депрессивным психозом. Тем не менее для ранних биографов Кантора характерно стремление представить ученого, пытавшегося защитить свою сложную теорию, но все более подверженного длительным нервным расстройствам, несчастной жертвой гонений со стороны современников.

Такие представления искажают истину, сводя к тривиальности действительные интеллектуальные устремления непредвзято мыслящих противников канторовской теории. Они также умаляют силу и широту защиты Кантором своих идей. Сначала он воздерживался от введения трансфинитных чисел, считая, что идею актуальной бесконечности нельзя сформулировать непротиворечиво, а потому ей не место в строгой математике. Однако, по его собственному свидетельству, он вскоре преодолел свое «предубеждение» в от-

ношении трансфинитных чисел, ибо понял, что без них нельзя построить теорию бесконечных множеств. Собственные первоначальные сомнения позволили Кантору предвосхитить оппозицию с разных сторон и вооружиться как философскими и теологическими, так и математическими аргументами. Более того, отстаивая свою теорию, он сумел придать идеям, лежащим в ее основе, значительную силу.

Георг Фердинанд Людвиг Филипп Кантор родился 3 марта 1845 г. в России, в Санкт-Петербурге. Его мать, Мария Анна Бём, происходила из семьи талантливых музыкантов; наиболее известным был ее дядя Жозеф Бём, директор консерватории в Вене и основатель школы скрипачей, откуда вышли многие виртуозы того времени. Его отец Георг Вольдемар Кантор был удачливым коммерсантом и благочестивым лютеранином, передавшим сыну глубокие религиозные убеждения. В своей популярной книге «Люди математики», впервые опубликованной в 1937 г., Э. Белл отмечает, что причиной психических расстройств, которым был подвержен Кантор, является Эдипов комплекс. Однако сохранившиеся письма и другие свидетельства об отношениях Георга с отцом указывают на совершенно противоположное. Отец был чутким человеком, внимательным к своим детям и проявлял особый, но ненавязчивый интерес к воспитанию старшего сына.

Когда Кантор был еще ребенком, семья переехала из России в Германию, и именно там началось его обучение математике. Защитив в 1868 г. диссертацию по теории чисел, он получил степень доктора в Берлинском университете. Два года спустя он занял должность приват-доцента в Университете в Галле — respectableм учреждении, но не столь престижном для ма-

тематиков, как университеты в Гёттингене или Берлине. Один из его коллег в Галле, Генрих Эдуард Гейне, работал в то время над теорией тригонометрических рядов и он побудил Кантора заняться сложной проблемой единственности таких рядов. В 1872 г. в возрасте 27 лет Кантор опубликовал статью, содержащую весьма общее решение этой проблемы, в которой он использовал идеи, выросшие впоследствии в теорию бесконечных множеств.

Проблема, подсказанная Гейне, проистекает из трудов французского мате-

матика Жана Батиста Жозефа Фурье. В 1822 г. Фурье показал, что график любой «достаточно гладкой» кривой (т.е. кривой, имеющей максимум конечное число точек разрыва) может быть представлен всюду на интервале в виде суммы некоторого бесконечного тригонометрического ряда. Другими словами, накладывая друг на друга бесконечное число синусоидальных и косинусоидальных колебаний, каждую точку на этой «достаточно гладкой» кривой, за исключением точек разрыва, можно аппроксимировать с любой требуемой степенью точности [см. ри-

сунок на следующей странице]. Говорят, что такой ряд сходится к кривой или функции, за исключением конечного числа точек, или же сходится «почти всюду». Результат Фурье имел большое значение, поскольку он указывал, что некоторые сложные функции могут быть представлены в виде суммы синусов или косинусов, с которыми легче оперировать математически. Однако, чтобы оправдать такую замену, требовалось доказать, что к функции сходится только один такой тригонометрический ряд. Условия, при которых сходящийся к функции тригоно-



ФОТОГРАФИЯ КАНТОРА И ЕГО ЖЕНЫ; сделана примерно в 1880 г. К этому времени его работы уже получили известность. В одной из них он доказал, что бесконечное множество действительных чисел, представленное континуумом точек на прямой, больше бесконечного множества всех рациональных чисел. Он показал также, что можно определить бесконечные величины, названные трансфинитными

числами, которые описывают такое различие. Через несколько лет после того, как был сделан этот снимок, Кантор испытал сильный приступ маниакально-депрессивного психоза, который в конце концов положил конец его творческому пути в математике. Оригинал этой фотографии находится в частной коллекции Эгберта Шнайдера.

метрический ряд является единственным, и начал исследовать Кантор.

В 1870 г. Кантор доказал, что если функция непрерывна всюду на интервале, то ее представление тригонометрическим рядом единственно*. Его следующий шаг состоял в ослаблении требования непрерывности функции всюду на интервале**. Предположим, например, что график аппроксимируемой функции представляет собой прямую, параллельную оси x , за исключением точки $x = 1/2$, в которой функция принимает значение 0 вместо 1. Кантор показал, что если условие сходимости в точке $x = 1/2$ и нарушается, то все равно существует единственный тригонометрический ряд, который сходится к этой функции в остальных точках. То есть другого тригонометрического ряда, который мог бы аппроксимировать эту функцию, не существует. Далее Кантор легко распространил свой результат на функции, имеющие любое конечное число точек разрыва, которые он назвал исключительными точками***.

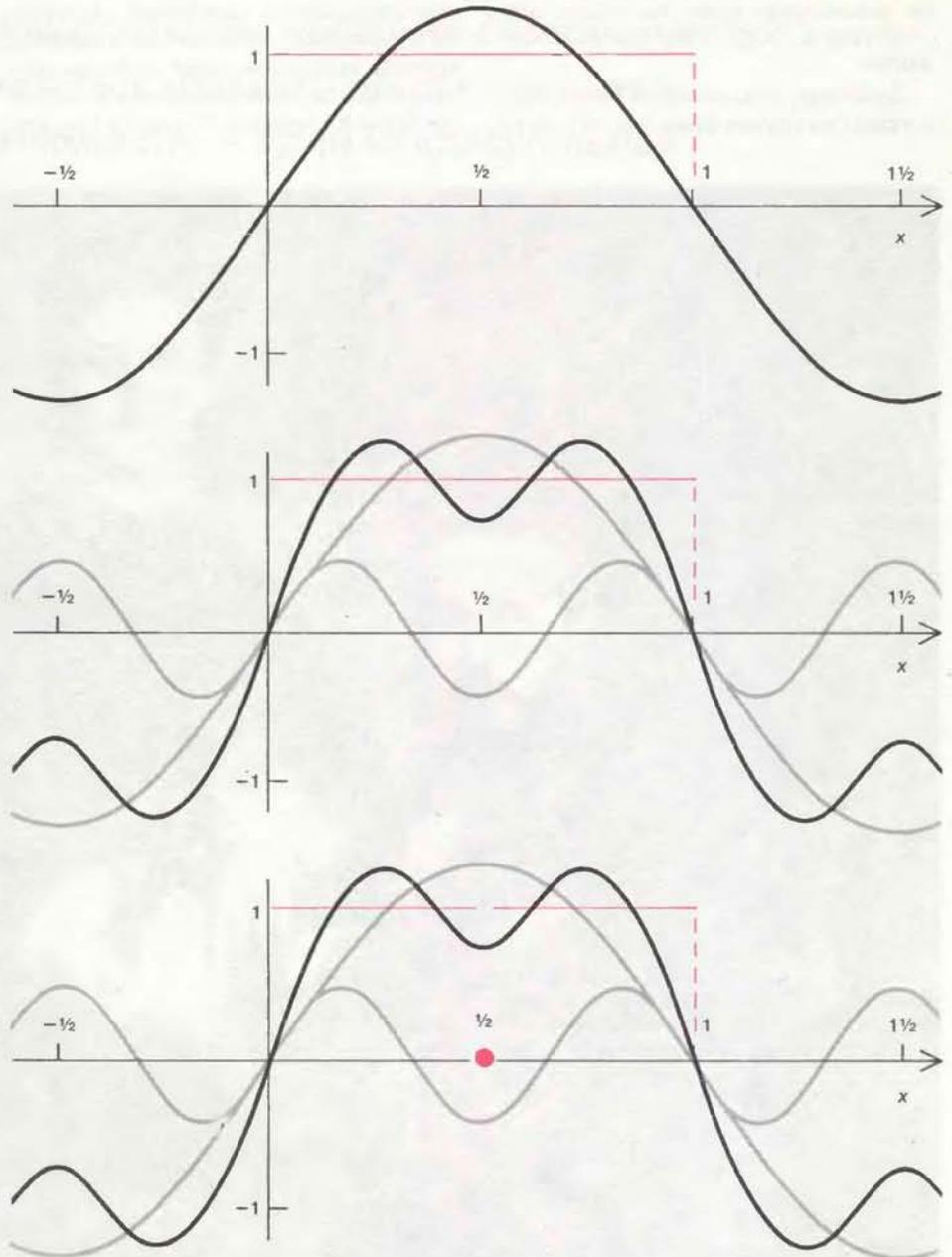
В 1872 г. Кантор публикует работу, представляющую собой важнейшее открытие. Стремясь к более общей формулировке теоремы единственности, он доказал, что если исключительные точки распределены на оси x некоторым специальным образом, то их может быть и бесконечно много. Установить это можно было только на основе точного описания бесконечного множества исключительных точек. Однако для этого, как понимал Кантор, необходим более глубокий анализ континуума точек на оси x . Так, исследуя сходимость тригонометрических рядов, Кантор постепенно начинает сосредотачивать свое внимание на соотношении точек в континууме.

Кантор принял за аксиому, что всякой точке непрерывной линии соответствует некоторое число, которое он назвал действительным числом, чтобы отличить его от «мнимых» чисел, кратных $\sqrt{-1}$. Обратно, каждому дей-

ствительному числу соответствует только одна точка прямой. Следовательно, проблема описания континуума точек прямой эквивалентна проблеме определения действительных чисел и исследованию их свойств. Статья Кантора, опубликованная в 1872 г., имела большое значение еще и потому, что в ней было дано изложение этих

свойств.

Основную трудность в теории действительных чисел представляют такие числа, как π и $\sqrt{2}$, не являющиеся рациональными. (Рациональное число — это такое число, которое можно выразить в виде частного двух целых чисел. Еще в античности было известно, что $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, $\sqrt{5}$ и многие другие корни



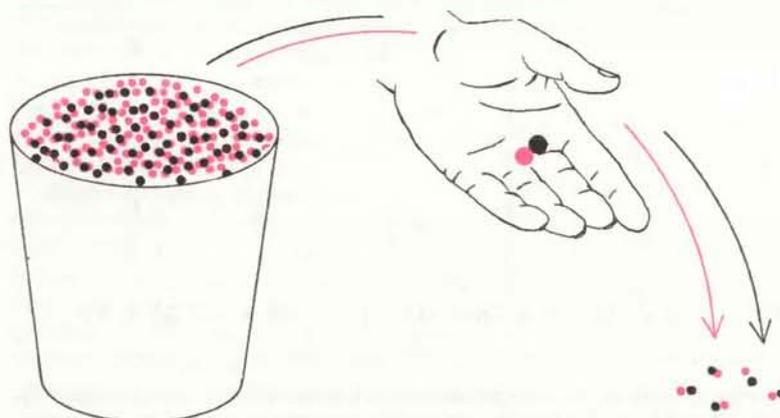
ГЛАДКИЙ НЕПРЕРЫВНЫЙ ГРАФИК, ординаты точек которого зависят от значений соответствующих точек на оси x , можно с любой требуемой точностью аппроксимировать тригонометрическим рядом, т.е. суммой синусов и косинусов. Например, прямая горизонтальная линия, отстоящая на единицу длины вверх от оси x (цветная), может быть аппроксимирована наложением синусоидальных колебаний (серые кривые); изображены две первые стадии аппроксимации (черные кривые наверху и в середине). Тригонометрический, аппроксимирующий график является единственным. Однако, даже если график не непрерывен, его часто можно аппроксимировать единственным тригонометрическим рядом. Например, если ординаты точек графика равны всюду единице, за исключением точки $x = 1/2$, то тригонометрический ряд, сходящийся к непрерывной линии, сходится и к ломаной линии, за исключением точки $x = 1/2$ (внизу). Кантор показал, что график можно аппроксимировать единственным тригонометрическим рядом, даже если число точек, в которых график не непрерывен, бесконечно, при условии, что точки разрыва распределены на оси x некоторым специальным образом.

* Формулировка этого результата Кантора не вполне корректна. Его правильнее описать так: если функция действительного переменного задана сходящимся к ней тригонометрическим рядом в каждой точке, то такое ее представление единственно. Здесь нет речи об условии непрерывности, поскольку произвольная непрерывная функция может привести к расходящемуся тригонометрическому ряду в одной или даже бесконечном множестве точек. — Прим. перев.

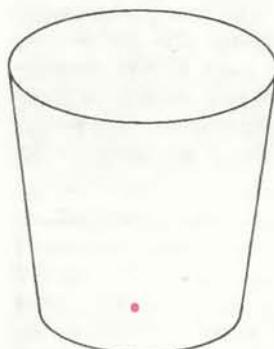
** Кантор ослаблял требование сходимости ряда к значению функции в каждой точке. — Прим. перев.

*** На самом деле у Кантора речь шла не о точках разрыва, а о точках, в которых ряд расходится или не представляет значение функции, и именно такие точки он называл исключительными. — Прим. перев.

являются иррациональными.) Так как правомерность рациональных чисел не вызывала сомнений, Кантор пошел по пути, указанному Карлом Вейерштрассом, одним из его бывших учителей в Берлинском университете. Кантор предположил, что всякое иррациональное число может быть представлено бесконечной последовательностью рациональных чисел. Например, число $\sqrt{2}$ можно представить бесконечной последовательностью рациональных чисел $1; 1,4; 1,41; \dots$. В соответствии с этим все иррациональные числа можно понимать как геометрические точки числовой прямой, т.е. так же как и рациональные числа.



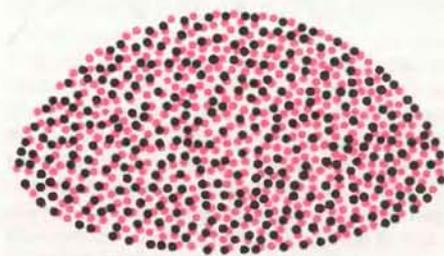
НЕСМОТЯ на преимущества канторовского подхода, некоторые математики приняли его как вызов, поскольку он предполагал существование множеств или последовательностей чисел, имеющих бесконечно много элементов. Философы и математики отвергали концепцию завершенных бесконечностей со времен Аристотеля главным образом вследствие тех логических парадоксов, к которым, как казалось, они приводят. Например, Галилей указывал, что если в математике принять бесконечные завершенные множества, то четных чисел должно быть столько же, сколько четных и нечетных вместе. Всякому четному числу можно сопоставить целое число, равное половине его величины, таким образом налицо взаимно однозначное соответствие между элементами того и другого множества. Некоторые теологи, например Фома Аквинский, также были против идеи завершенной бесконечности, считая ее прямым вызовом единой и абсолютно бесконечной природе бога.



Чтобы избежать подобные возражения, математики стремились проводить четкое различие между бесконечностью, рассматриваемой как завершенная величина, и бесконечностью, рассматриваемой как потенциальная, т.е. представляемой неопределенной суммой или рядом членов, стремящихся к некоторому пределу. Правомерной они считали лишь потенциальную бесконечность. В 1831 г. свое отношение к завершенным бесконечностям Карл Фридрих Гаусс выразил словами, которые Кантор однажды назвал слишком категорическими. В письме Генриху Шумахеру Гаусс писал: «Что касается Вашего доказательства, я прежде всего протестую против применения бесконечной величины как завершенной, в математике это никак не допустимо. Понятие бесконечности есть лишь способ выражения понятия предела».

Говоря о пределах, можно было избежать парадоксов, связанных с актуальными бесконечностями. Например, прибавляя дополнительные цифры к

ДВА МНОЖЕСТВА можно сравнивать по величине, сопоставляя элементы одного множества с элементами другого. Например, чтобы определить, каких шариков в ведре больше: цветных или черных, можно брать их из ведерка парами, состоящими из цветного и черного шариков, до тех пор, пока там не останутся шарики одного цвета. Именно этот остаток и указывает, каких шариков было больше. Такой же принцип Кантор применил для количественного сравнения бесконечных множеств.



десятичному разложению числа π , можно аппроксимировать истинное значение π с возрастающей точностью. Однако Гаусс утверждал, что все члены десятичного разложения числа π не могут быть даны. Действительно, для точного определения π требовалось бы взять бесконечное число членов как что-то целое, другими словами, взять актуально бесконечное множество чисел — операция, которую Гаусс отказывался допускать.

Кантор не был одинок в изучении свойств континуума. В 1872 г., когда появилась его вышеуказанная статья, немецкий математик Рихард Дедекин также опубликовал анализ континуума, основанный на бесконечных множествах. В своей работе Дедекин явно высказал идею, позднее уточненную Кантором: «Прямая бесконечно более богата индивидуумами-точками, чем область... рациональных чисел индивидуумами-числами». Сказанное можно представить следующим образом. Если на отрезке прямой рассмотреть распределение точек, соответствующих рациональным числам, то сколь бы малым ни был этот отрезок,

на нем имеется бесконечно много рациональных точек. Суть идеи Дедекина состояла в том, что, несмотря на плотность рациональных точек на отрезке прямой, на нем все же найдется место, чтобы вставить бесконечное число иррациональных точек. Такая иррациональная точка, как $\sqrt{2}$, попадает между рациональными точками, и таким образом множество рациональных чисел, хотя оно и всюду плотно, все же разрежено, имеет «щели» и не является непрерывным.

Утверждение Дедекина верно отражало суть понятия континуума, за исключением одного важного аспекта. Взяв идеи Дедекина за основу, нельзя установить, насколько бесконечное множество точек континуума превышает бесконечное множество рациональных точек. Великий вклад в решение этого вопроса был сделан Кантором, когда он в 1874 г. опубликовал свою статью «Об одном свойстве совокупности всех действительных алгебраических чисел» в «Журнале чистой и прикладной математики» Августа Леопольда Крелле, называемом также журналом Крелле, — наиболее авто-

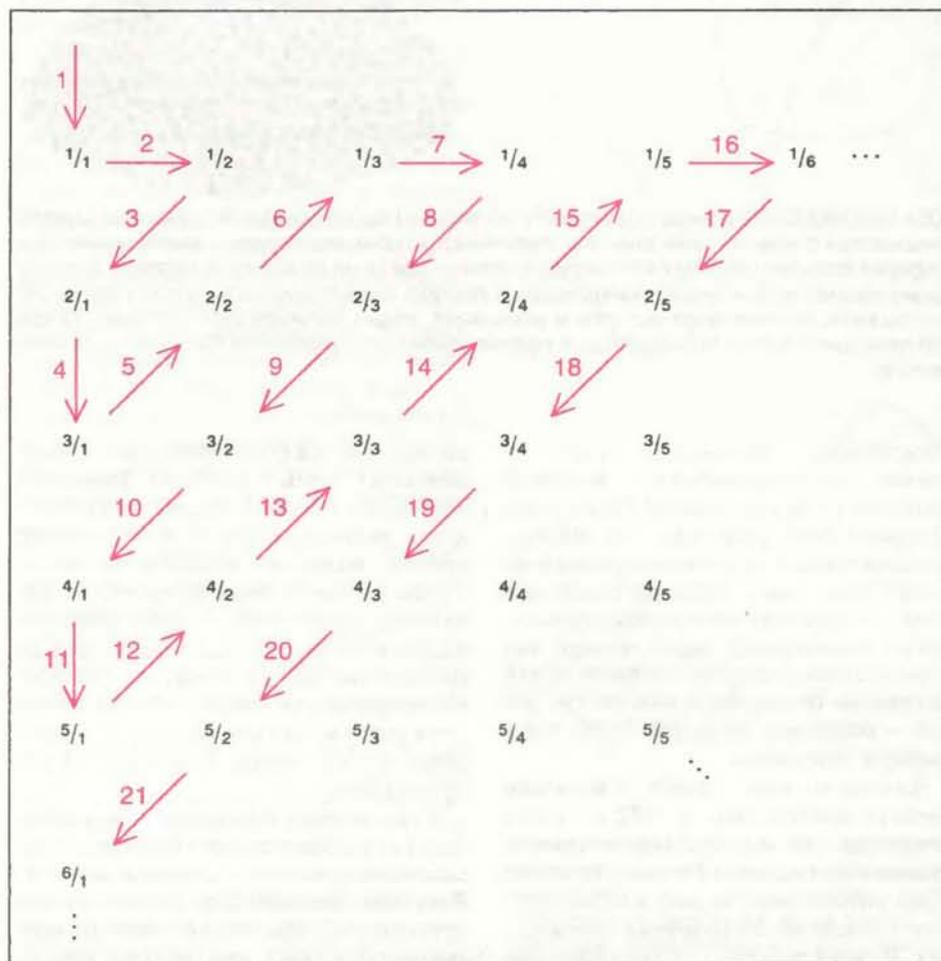
N	1	2	3	4	5	6	...
	↕	↕	↕	↕	↕	↕	
$2N$	2	4	6	8	10	12	...
	↕	↕	↕	↕	↕	↕	
N	1	2	3	4	5	6	...
	↕	↕	↕	↕	↕	↕	
$10^9 N^2$	10^9	4×10^9	9×10^9	16×10^9	25×10^9	36×10^9	...

ЦЕЛЫЕ ЧИСЛА можно одно за другим объединить в пары с четными числами, не исчерпав какого-либо из множеств этих чисел. То есть эти два множества имеют одинаковое число элементов. Многие другие бесконечные множества тоже можно одно за другим сопоставить с целыми числами, т.е. фактически пересчитать. Такие множества называются счетными.

ритетном среди математиков периодическом издании того времени.

личественного сравнения бесконечных множеств. Он назвал два множества эквивалентными, если между элементами этих множеств можно установить взаимно однозначное соответствие. Предположим, у нас имеется ве-

ФАКТИЧЕСКИ Кантор воспользовался указанным Галилеем парадоксом и превратил его в средство ко-



БЕСКОНЕЧНОЕ МНОЖЕСТВО РАЦИОНАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ (т.е. чисел, которые можно представить как частное двух целых чисел) могло бы показаться значительно большим, чем множество целых чисел. Например, между двумя любыми соседними целыми числами, допустим 0 и 1, имеется бесконечно много рациональных чисел. Тем не менее в 1874 г. Кантор показал, что рациональные числа можно одно за другим объединить в пары с целыми числами. Всякое рациональное число можно разместить в квадратной таблице, как показано на рисунке. Тогда каждое из них может быть связано с целым числом путем проведения цветной линии. Таким образом, множество рациональных чисел является счетным.

дерко, заполненное черными и цветными шариками. Каким образом можно сравнить количество черных и цветных шариков? Простейший способ состоит в извлечении шариков из ведерка парами, состоящими из черного и цветного шариков. Если каждый шарик может быть объединен в пару с шариком другого цвета, то два множества эквивалентны. Если нет, то оставшиеся в ведерке шарики показывают, каких шариков было больше.

Используя принцип взаимно однозначного соответствия, Кантор показал, что свойство, которое Галилей рассматривал как парадоксальное, фактически является естественным свойством бесконечных множеств. Множество четных чисел эквивалентно множеству всех целых положительных чисел, четных и нечетных, вместе взятых, поскольку объединение в пары элементов каждого из этих множеств может быть осуществлено без опущения каких-либо элементов рассматриваемых множеств. Кантор также предложил оригинальный способ объединения элементов множества всех рациональных чисел в пары с целыми числами [см. нижний рисунок]. Всякое множество чисел, элементы которого можно расположить один за другим или фактически сосчитать, используя множество целых положительных чисел, Кантор назвал счетным множеством.

При данной плотности рациональных чисел на прямой и относительной «разреженности» целых чисел, может показаться крайне противоречащим интуиции то, что эти два множества оказываются количественно эквивалентными. Однако Кантор пошел еще дальше. Он доказал, что взаимно однозначного соответствия между множеством целых чисел и множеством всех точек на прямой, т.е. множеством действительных чисел, быть не может; одним словом, действительные числа образуют несчетное множество. Кантор дал довольно сложное доказательство этого утверждения в своей статье, опубликованной в 1874 г. Я не буду останавливаться на нем, а изложу основную идею гораздо более простого, но более мощного способа доказательства, предложенного им в 1891 г.

Кантор начал свое доказательство с предположения, что существует взаимно однозначное соответствие между множеством действительных чисел и множеством целых чисел. Последующим рассуждением показывается, что это предположение приводит к противоречию, откуда следует, что первоначальное предположение неверно и такое взаимно однозначное соответствие невозможно. Рассуждение можно упростить, рассматривая только множество действительных чисел, заключенных между 0 и 1. Если это множе-

ство больше множества целых чисел, то множество всех действительных чисел и подавно больше него.

Итак, предположим, что действительные числа, заключенные между 0 и 1, могут быть одно за другим объединены в пары с целыми числами. Установление такого соответствия эквивалентно составлению некоторого перечня действительных чисел, каждое из которых представляется как бесконечная десятичная дробь. Тогда можно определить новое действительное число, не включенное в этот перечень. Берем первую цифру первого десятичного разложения в указанном перечне действительных чисел. Если эта цифра равна 1, то пишем 9 на первом месте после запятой. Если первая цифра в этом перечне не равна 1, то на первом месте определяемого числа пишем 1. Построение нашего нового числа продолжается путем изменения второй цифры второго десятичного разложения в перечне, третьей цифры в третьем десятичном разложении и так далее. Вновь построенное число должно отличаться по крайней мере одним десятичным знаком от каждого действительного числа, содержащегося в перечне, однако оно тем не менее представляет собой некоторое действительное число, расположенное между 0 и 1. Поэтому можно построить некоторое число, не содержащееся в перечне действительных чисел, и таким образом предположение, что все действительные числа можно пересчитать, приводит к противоречию.

В АВГУСТЕ 1874 г. Кантор женился на Валли Гутман. Супруги провели конец лета в горах Гарца, где они встретились с Дедекиндом. Этот период оказался чрезвычайно плодотворным для Кантора. Несколько раньше в одном из своих писем Дедекинду Кантор писал: «Можно ли сопоставить поверхность (например, квадратную площадку, включая ее границы) с отрезком прямой (включающим свои концы) таким образом, чтобы каждой точке поверхности соответствовала одна точка на этом отрезке, и наоборот?» Кантор полагал, что ответ должен быть отрицательным, но это требовало доказательства.

Однако в 1877 г. Кантор сообщает Дедекинду о своем поразительном результате: вопреки мнению, распространенному среди математиков, ему удалось доказать, что взаимно однозначное соответствие между точками прямой и точками плоскости возможно. Доказательство состояло в представлении каждой точки квадрата парой десятичных дробей. Эти десятичные представления «перемешиваются» строго определенным образом, чтобы получить одно десятичное разложение, и эта десятичная дробь сопоставляется

с точкой на отрезке прямой. Весь этот процесс обратим [см. рисунок на с. 83]. Слова Кантора: «Я вижу это, но никак не могу этому поверить!» — говорят о том, насколько этот результат оказался неожиданным для него самого.

Кантор сразу же подготовил рукопись с описанием своего нового открытия, и послал ее в журнал Крелле. Работа эта послужила первым поводом для открытых столкновений между ее автором и Кронекером. Будучи редактором журнала, Кронекер имел право отказать в публикации любой статьи, работа же Кантора настолько шокировала его, что он не преминул этим правом воспользоваться. Несмотря на то что Кантор представил свою рукопись 12 июля, для подготовки ее к публикации ничего не делалось, и она не появилась в журнале в 1877 г. Подозревая вмешательство Кронекера, Кантор пишет Дедекинду письмо, сетуя на неблагоприятное отношение к его рукописи. В письме он говорит также о своем желании забрать ее из редакции. Однако Дедекинд, рассказав Кантору о собственном опыте в подобных делах, убедил его подождать, и оказался прав — статья наконец появилась в томе за 1878 г. Однако Кантор был настолько огорчен этим инцидентом, что отказался впредь публиковаться в журнале Крелле.

ПОЛЕМИКА между Кантором и Кронекером усугублялась личной враждебностью, однако ее причиной было различие во взглядах на обоснование математики. Подобные различия во взглядах и сейчас находят отражение в споре между сторонниками конструктивистской и формальной математики. Кронекер, сторонник конструктивизма, хорошо известен своим высказыванием, резюмирующим сущность его позиции: «Бог создал целые числа; все остальное дело рук человеческих». В этом духе он защищал построение всей математики из целых чисел и их конечных арифметических комбинаций. В начале 1870-х годов он стал отвергать любые предельные построения в традиционном анализе и сопротивлялся всем попыткам определять математические объекты через понятие предела. Так, даже иррациональные числа, которые принимались математиками в течение столетий, должны быть, по его мнению, «изгнаны» из математики, если нельзя найти какого-либо способа их построения, подобного тому, каким из целых чисел строились рациональные числа.

Кантор, написавший две большие статьи под руководством Кронекера в свои студенческие годы в Берлинском университете, хорошо знал эту крайнюю позицию Кронекера и в какой-то мере считал ее оправданной. Она гарантировала максимальную достовер-

1	↔	.1	1	1	1	1	...
2	↔	.3	0	1	0	2	...
3	↔	.4	7	7	1	2	...
4	↔	.6	0	2	0	5	...
5	↔	.6	9	8	9	7	...
⋮							
		.9	1	1	1	1	...

МНОЖЕСТВО ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ЧИСЕЛ, представленное континуумом точек на прямой, не является счетным. Если бы оно было счетным, то действительные числа, скажем между 0 и 1, можно было бы одно за другим объединить в пары с целыми числами. Всякое действительное число в перечне можно представить бесконечным десятичным разложением (такие бесконечные десятичные дроби, как $0,5000\dots$, представим в виде эквивалентной бесконечной дроби $0,4999\dots$). Каков бы ни был перечень таких десятичных дробей, можно построить новую десятичную дробь, которая определяет некоторое действительное число и не содержится в этом перечне. Для этого на первом месте после запятой пишем 9, если первая цифра десятичного разложения первого действительного числа в перечне равна 1; в противном случае пишем 1. Аналогично изменяем вторую десятичную цифру во втором действительном числе, третью десятичную цифру в третьем и т.д. Построенное десятичное разложение представляет некоторое действительное число, расположенное между 0 и 1, но оно должно отличаться по крайней мере одним десятичным знаком от каждого действительного числа, входящего в перечень. Следовательно, предположение, что действительные числа можно объединить в пары с целыми числами, приводит к противоречию, а потому должно быть отброшено. Это доказательство основано на методе, называемом диагональным.

ность и корректность математического доказательства и сдерживала распространение слишком вольных подходов в математике. Тем не менее Кантор считал, что принятие позиции Кронекера означало бы изгнание из математики многих значительных результатов; более того, она обременила бы новаторские исследования в математике стесняющими и в конечном счете бесплодными методологическими предосторожностями.

Определение иррациональных чисел, данное Кантором в статье, опубликованной в 1874 г., было равносильно принятию существования завершенных бесконечных множеств. Кантор занял позицию формальной математи-

ки в вопросе существования иррациональностей и утверждал, что единственным основанием их законности в математике является их формальная и внутренняя непротиворечивость. «При введении новых чисел, — писал он однажды, — от математика требуется только дать им определения, которые позволят... отличать их друг от друга. Как только число удовлетворяет этим условиям, оно может и должно рассматриваться как существующее и реальное в математике».

Эта точка зрения на иррациональные числа оказалась решающей для оправдания Кантором введения трансфинитных чисел. В статье, опубликованной в 1872 г., он определил множества исключительных точек, введя понятие предельной точки. Например, иррациональное число $\sqrt{2}$ представляет собой предельную точку последовательности $1; 1,4; 1,41; \dots$. В более общем случае некоторая точка является предельной, если в множестве имеется бесконечно

много элементов, которые расположены в произвольно малой окрестности этой точки.

Для данного бесконечного множества P Кантор определил производное множество P^1 как множество всех предельных точек P . Аналогично, если P^1 также является бесконечным множеством, то его производное множество P^2 можно определить как множество всех предельных точек множества P^1 . Кантор показал, что отношение включения определяет естественное упорядочение для множеств: оказывается, что всякий элемент множества P^2 является и элементом множества P^1 , и, таким образом, P^2 является подмножеством P^1 ; аналогично P^3 является подмножеством P^2 и так далее.

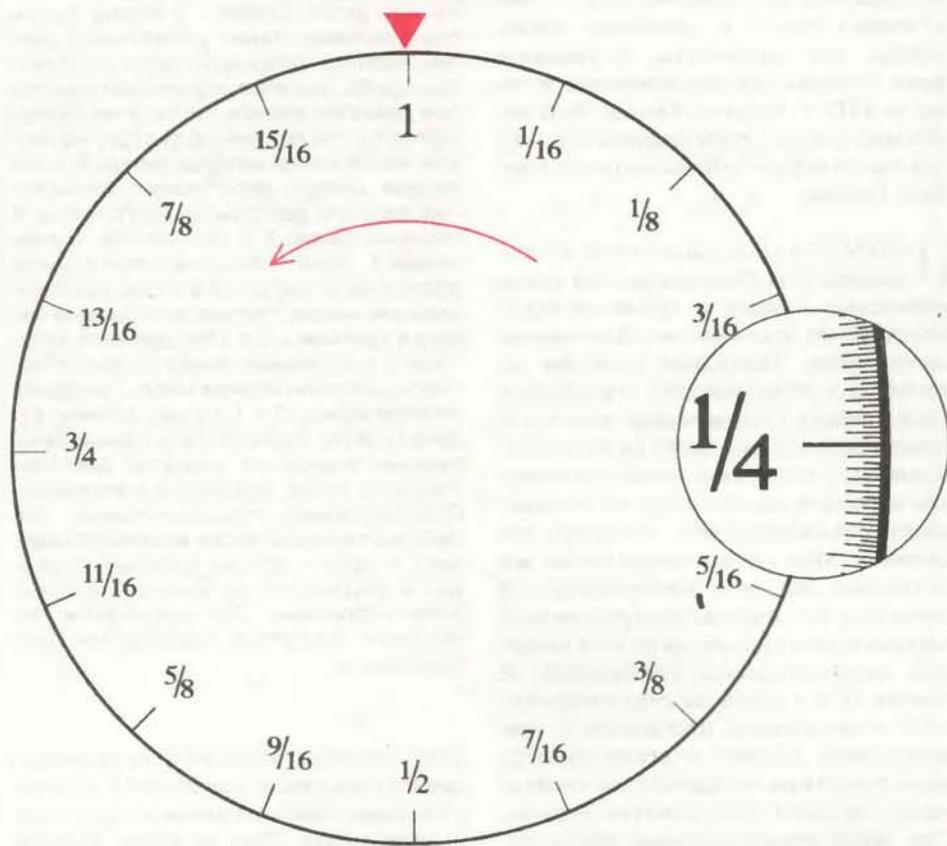
Может оказаться, что для некоторого конечного целого числа n производное множество P^n представляет собой конечное множество. Если это условие выполняется, то бесконечное множество P , порождающее P^n , есть в точно-

сти множество исключительных точек, которое позволяет доказать достаточно общий вариант канторовской теоремы о единственности представления функций тригонометрическими рядами. С другой стороны, может также оказаться, что никакое множество в последовательности P^1, P^2, P^3, \dots не будет конечным. Кантор считал, что в этом случае имеет смысл рассматривать множество точек, которые являются общими для всех производных множеств $P^1, P^2, P^3, \dots, P^n, \dots$. Множество точек, общих всем этим производным множествам, он обозначил через P^∞ ; в 1880 г. он начал называть знак ∞ трансфинитным символом. Более того, если бы P^∞ оказалось бесконечным множеством точек, то тогда можно было бы образовать его производное множество $P^{\infty+1}$, которое могло бы в свою очередь привести к целой последовательности производных множеств $P^{\infty+2}, \dots$.

КАНТОР мог бы добавить, что индексы $\infty, \infty + 1, \infty + 2, \dots$ фактически образуют новый вид чисел, но сначала он не сделал этого. В 1872 г. он говорил об иррациональных числах только языком последовательностей рациональных чисел. Аналогичным образом он первоначально называл символы $\infty, \infty + 1, \infty + 2, \dots$ только средством для обозначения множеств. Но в 1883 г. он объявил их трансфинитными числами, самостоятельным и систематическим обобщением натуральных чисел.

Как указывал Кантор, непосредственным поводом для введения этих чисел было то, что они оказались необходимыми для дальнейшего развития теории множеств и изучения действительных чисел. Тем не менее, чтобы ответить критикам вроде Кронекера, Кантор отстаивал правомерность этих чисел в математике и со своей философской позиции: как только непротиворечивость трансфинитных чисел признана, их уже нельзя отвергать, как и другие принятые, но сразу же поставленные под сомнение числа вроде иррациональных. Формулируя теорию бесконечности, дающую возможность избежать известные математические парадоксы, Кантор верил, что он устранил единственно обоснованное возражение, которое могли выдвинуть математики против узаконивания понятия завершенной бесконечности.

Трансфинитные числа, введенные в конце концов Кантором, широко известны в обозначении, которое он принял для них позже: в виде буквы \aleph (алеф) — первой буквы еврейского алфавита. Этой буквой обозначается мощность, или число элементов бесконечного множества, так что отношения эквивалентности между бесконечными множествами, которые Кантор доказал в 70-х годах, часто выражают



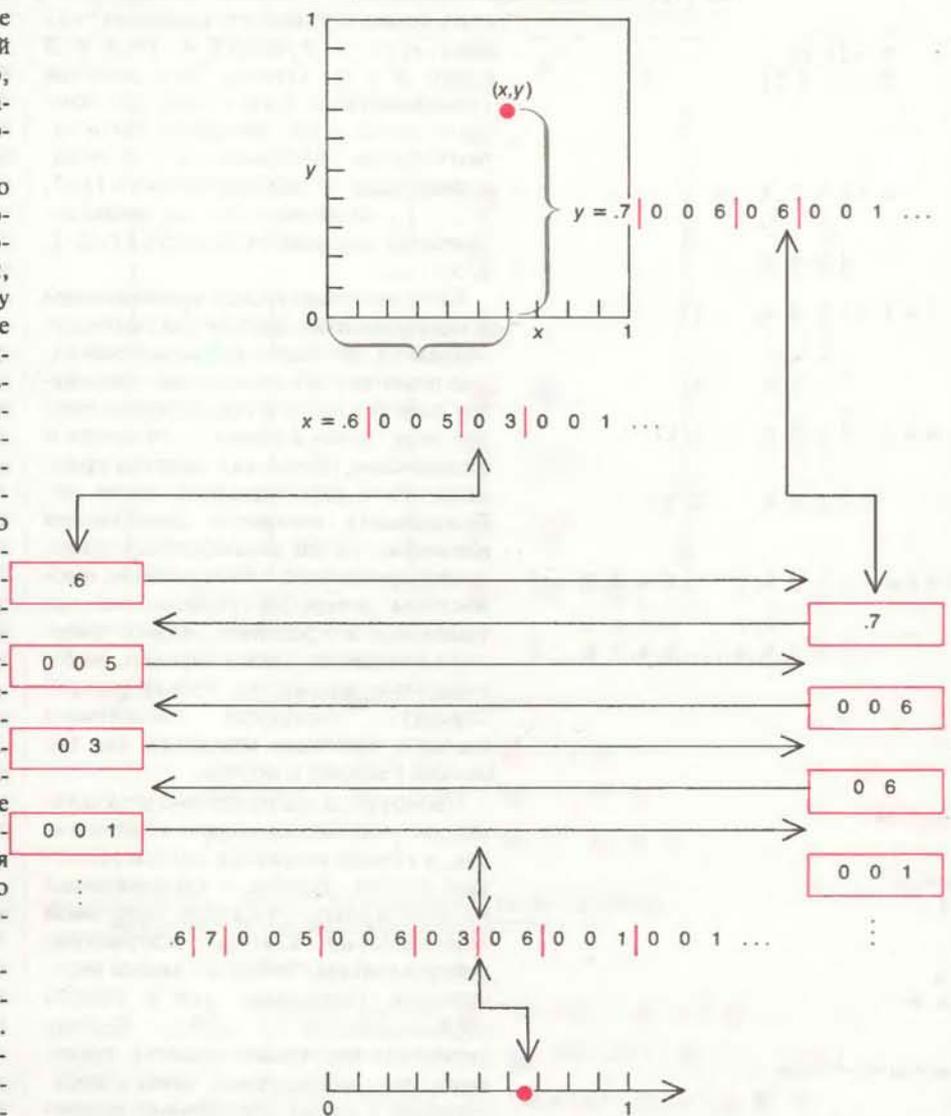
ВЕРОЯТНОСТЬ СЛУЧАЙНОГО ВЫБОРА точки, представляющей рациональное число, из континуума действительных чисел показывает, как множество рациональных чисел сравнивается по величине с множеством действительных чисел. Вероятность есть отношение числа рациональных точек к общему числу точек на некотором интервале. Здесь интервал между 0 и 1 представлен окружностью свободно вращающегося колеса (на этом колесе 0 и 1 отождествляются). Предполагается, что вероятность остановки колеса в любой точке одинакова. Точки, представляющие рациональные числа, бесконечно плотны в том смысле, что вдоль любой сколь угодно короткой дуги между двумя рациональными точками на окружности должно находиться бесконечное число рациональных точек. Несколько таких точек помечено. Тем не менее множество всех точек на окружности бесконечно больше множества рациональных точек: вероятность, что колесо остановится в рациональной точке, равна нулю. Точнее эта вероятность меньше любой сколь угодно малой величины.

через трансфинитные кардинальные числа, алефы. Поэтому значительный исторический интерес представляет то, что первыми трансфинитными числами были не кардинальные числа, а ординальные.

Ординальное число определяется его порядком или положением в некотором перечне. Ординальное число, ассоциируемое с конечным множеством, соответствует кардинальному числу этого множества. Например, всякое множество, состоящее из пяти элементов (т.е. всякое множество, кардинальное число которого равно пяти), можно в некотором роде мыслить как непосредственно следующее за любым множеством из четырех элементов. Другими словами, ординальное число этого множества тоже равно пяти; оно является пятым множеством в перечне множеств. Однако ординальное число бесконечного множества следует отличать от его кардинального числа. Кантор показал, что можно построить бесконечное число бесконечных множеств, имеющих различные ординальные числа, но одно и то же кардинальное число. Фактически Кантор позднее сумел превратить это свойство бесконечных множеств в критерий отличия их от конечных множеств: множество конечно, если его кардинальное и ординальное числа совпадают.

Кантор показал, что ординальное число последовательности конечных множеств возрастающей величины $1, 2, 3, \dots$ получается путем повторного прибавления единицы. Не существует наибольшего ординального числа, ассоциированного с последовательностью конечных множеств, но, так же как возможно определить иррациональное число π в виде предела последовательности рациональных чисел, можно, как считал Кантор, определить новое, трансфинитное ординальное число ω как первое число, следующее за всей последовательностью чисел $1, 2, 3, \dots$. Как только ω определено, становится возможным путем последовательного прибавления единицы порождать другие трансфинитные ординальные числа: $\omega + 1, \omega + 2, \omega + 3, \dots$. Поскольку у этой последовательности не существует наибольшего элемента, то можно представить следующее ординальное число $\omega + \omega$ или 2ω в виде первого ординального числа, следующего за последовательностью $\omega + 1, \omega + 2, \omega + 3, \dots$. Повторяя попеременно эти два принципа порождения, Кантор определил некую иерархию трансфинитных ординальных чисел [см. рисунок на с. 84].

Каким образом можно провести различие, скажем, между ординальными числами ω и $\omega + 1$. Различие определяется порядком элементов в множествах, которым соответствуют ω и $\omega + 1$. Например, множество нату-



МЕЖДУ ТОЧКАМИ ПЛОСКОСТИ И ТОЧКАМИ ПРЯМОЙ можно установить взаимно однозначное соответствие. Каждая точка плоскости представляется парой бесконечных десятичных дробей и эти бесконечные дроби разбиваются на группы. Каждая цифра десятичного разложения, кроме нуля, начинает новую группу. Затем эти группы комбинируются и превращаются в одну бесконечную десятичную дробь, представляющую точку на плоскости. Вся процедура обратима. Аналогичное рассуждение показывает, что число точек любого конечномерного пространства эквивалентно числу точек на линии.

ральных чисел в их известной последовательности $(1, 2, 3, \dots)$ имеет ординальное число ω , представляющее всю последовательность натуральных чисел в ее обычном порядке. Однако множество всех натуральных чисел в перестроенной последовательности $(2, 3, 4, \dots, 1)$ или же множество всех натуральных чисел в последовательности $(10, 30, 40, \dots, 20)$ имеет ординальное число $\omega + 1$. Другими словами, это различие зависит от порядка следования элементов в последовательности и от размещения бесконечно длинных пробелов, помеченных многоточием. Если в конце последовательности находится одно число, то ординальным числом новой последовательности будет $\omega + 1$. Последовательность $(2, 4, 6, \dots, 1, 3, 5, \dots)$ имеет два бесконечных

пробела, и ее ординальное число равно $\omega + \omega$ или 2ω . Отметим, что все эти множества имеют одно и то же число элементов, т.е. между самими этими множествами, а также между каждым из этих множеств и множеством целых положительных чисел можно установить взаимно однозначное соответствие. Поэтому их кардинальные числа одинаковы, хотя их ординальные числа различны.

ОПРЕДЕЛИВ трансфинитные ординальные числа, Кантор приступил к описанию их арифметических свойств. Между трансфинитными и обычными числами следует провести важное различие в отношении свойства коммутативности для сложения и умножения. Для двух обычных чисел A и B свой-

$$\begin{aligned}
 1 &\rightarrow \{1\} \\
 2 &\rightarrow \{1, 2\} \\
 3 &\rightarrow \{1, 2, 3\} \\
 &\vdots \\
 \omega &\rightarrow \{1, 2, 3, \dots\} \\
 &\quad \downarrow \downarrow \downarrow \\
 &\quad \{2, 4, 6, \dots\} \\
 \omega + 1 &\rightarrow \{2, 3, 4, \dots, 1\} \\
 &\quad \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \\
 &\quad \{1, 3, 4, \dots, 2\} \\
 \omega + 2 &\rightarrow \{3, 4, 5, \dots, 1, 2\} \\
 &\quad \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \\
 &\quad \{1, 4, 5, \dots, 2, 3\} \\
 &\vdots \\
 \omega + \omega = 2\omega &\rightarrow \{1, 3, 5, 7, \dots, 2, 4, 6, 8, \dots\} \\
 &\quad \downarrow \\
 &\quad \{1, 2, 5, 6, \dots, 3, 4, 7, 8, \dots\} \\
 &\vdots \\
 2\omega + 1 & \\
 2\omega + 2 & \\
 &\vdots \\
 2\omega + \omega = 3\omega & \\
 &\vdots \\
 \omega \times \omega = \omega^2 & \\
 \omega^2 + 1 & \\
 &\vdots \\
 \omega^2 + \omega & \\
 \omega^2 + \omega + 1 & \\
 &\vdots \\
 \omega^2 + \omega + \omega = \omega^2 + 2\omega & \\
 &\vdots \\
 \omega^2 + \omega \times \omega = 2\omega^2 & \\
 2\omega^2 + 1 & \\
 &\vdots \\
 \omega \times \omega^2 = \omega^3 & \\
 \omega^3 + 1 & \\
 &\vdots \\
 a\omega^n + b\omega^{n-1} + \dots + z & \\
 &\vdots \\
 \omega^{\omega} & \\
 \omega^{\omega} + 1 & \\
 &\vdots \\
 \omega^{\omega} + \omega & \\
 &\vdots \\
 \omega^{\omega} + \omega^{\omega} = 2\omega^{\omega} & \\
 &\vdots \\
 \omega \times \omega^{\omega} = \omega^{\omega+1} & \\
 &\vdots \\
 \omega^{\omega+2} & \\
 &\vdots \\
 \omega^{\omega+\omega} = \omega^{2\omega} & \\
 &\vdots \\
 \omega^{\omega \times \omega} = \omega^{\omega^2} & \\
 &\vdots \\
 \omega^{\omega^{\omega}} & \\
 &\vdots \\
 \omega^{\omega^{\omega^{\omega}}} &
 \end{aligned}$$

ство коммутативности выражает тот факт, что $A + B$ равно $B + A$ и $A \times B$ равно $B \times A$. Однако, что касается трансфинитных чисел, свойство коммутативности уже не может быть гарантировано. Например, $\omega + 2$, представляющее последовательность $(1, 2, 3, \dots, 1, 2)$, не равно $2 + \omega$, представляющему последовательность $(1, 2, 1, 2, 3, \dots)$.

Хотя различие между ординальным и кардинальным числом для конечных множеств не является характерным, оно помогает объяснить, как применение понятия числа к бесконечным множествам может привести к путанице и парадоксам. Поскольку понятия ординального и кардинального числа для бесконечных множеств существенно различны, то при рассмотрении числа, ассоциированного с бесконечным множеством, всякое рассуждение, не учитывающее это различие, может привести к неясности. Таким образом, на бесконечные множества нельзя распространять кажущиеся очевидными свойства конечных множеств, как это делали Галилей и другие.

Несмотря на значительные результаты, полученные Кантором в 1880-х годах, в теории множеств имелся серьезный пробел. Вопрос о кардинальном числе (или мощности в первоначальной терминологии Кантора) континуума действительных чисел оставался нерешенным. Напомним, что в статье, опубликованной в 1883 г., Кантор определил последовательность трансфинитных ординальных чисел в соответствии с двумя принципами порождения. Чтобы ввести естественные подразделения в эту последовательность, он добавил третий принцип. Рассмотрим множество всех конечных целых чисел, которое Кантор назвал первым числовым классом. Его мощность или кардинальное число больше, чем мощность, соответствующая любому подмножеству этого множества. Аналогично, можно рассмотреть и множество всех трансфинитных ординальных чисел, соответствующих счет-

ным бесконечным множествам или, другими словами, множествам, мощность которых равна мощности множества всех целых чисел. Кантор назвал это множество трансфинитных ординальных чисел вторым числовым классом. Оказывается, мощность второго числового класса больше мощности, соответствующей любому из трансфинитных чисел, входящих в это множество. Короче, второй числовой класс представляет собой несчетное множество. Кантор был убежден, что мощность второго числового класса эквивалентна мощности континуума действительных чисел, хотя он так и не сумел доказать это.

Эта догадка известна как гипотеза континуума Кантора и никогда не была доказана. В 1963 г. П. Дж. Коэн из Станфордского университета, опираясь на работу Курта Гёделя и математиков из Института высших исследований, показал, что, хотя эта гипотеза не противоречит аксиомам общепринятой теории множеств, она вместе с тем и не зависит от них. Фактически роль гипотезы континуума в теории множеств такая же, как роль евклидова постулата параллельности в геометрии. При допущении истинности или ложности гипотезы континуума можно построить различные версии теории множеств точно так же, как при допущении истинности или ложности аксиомы параллельности можно строить евклидову или неевклидову геометрию (см. П. Дж. Коэн, Р. Херш «Неканторовская теория множеств», Scientific American, декабрь, 1967 г.*).

Кантору тяжело было сознавать безуспешность своих усилий доказать континуум-гипотезу, что явилось, по видимому, одной из причин стресса. В начале 1884 г. он вроде бы нашел доказательство, но несколько дней спустя убедился в его ошибочности. В течение всего этого периода он испытывал воз-

* Имеется перевод: Природа, 1969, № 4, с. 43—55. — Прим. перев.

ТРАНСФИНИТНЫЕ ОРДИНАЛЬНЫЕ ЧИСЛА определяются их порядком или положением в некотором перечне. Этот перечень порождается в соответствии с двумя принципами. Во-первых, каждое новое ординальное число получается из непосредственно предшествующего ординального числа добавлением одной единицы, в точности так же как если бы мы «считали» за пределами трансфинитного ординального числа ω , т.е. числа, связанного с множеством целых чисел, расположенных в их естественном порядке. Во-вторых, если существует последовательность трансфинитных ординальных чисел, у которой нет наибольшего числа, то новое ординальное число определяется как следующее число, большее всех остальных чисел последовательности. Такие числа помещаются в перечне непосредственно после отметки пропуска. Например, 2ω представляет собой следующее трансфинитное ординальное число, большее всех чисел $\omega, \omega + 1, \omega + 2, \dots$. На рисунке представлены два примера множеств, соответствующих ординальным числам $\omega, \omega + 1, \omega + 2$ и 2ω . Однако всякое бесконечное множество, представляемое ординальным числом этого перечня, имеет одно и то же кардинальное число, а именно \aleph_0 , другими словами, каждое множество содержит одно и то же число элементов.

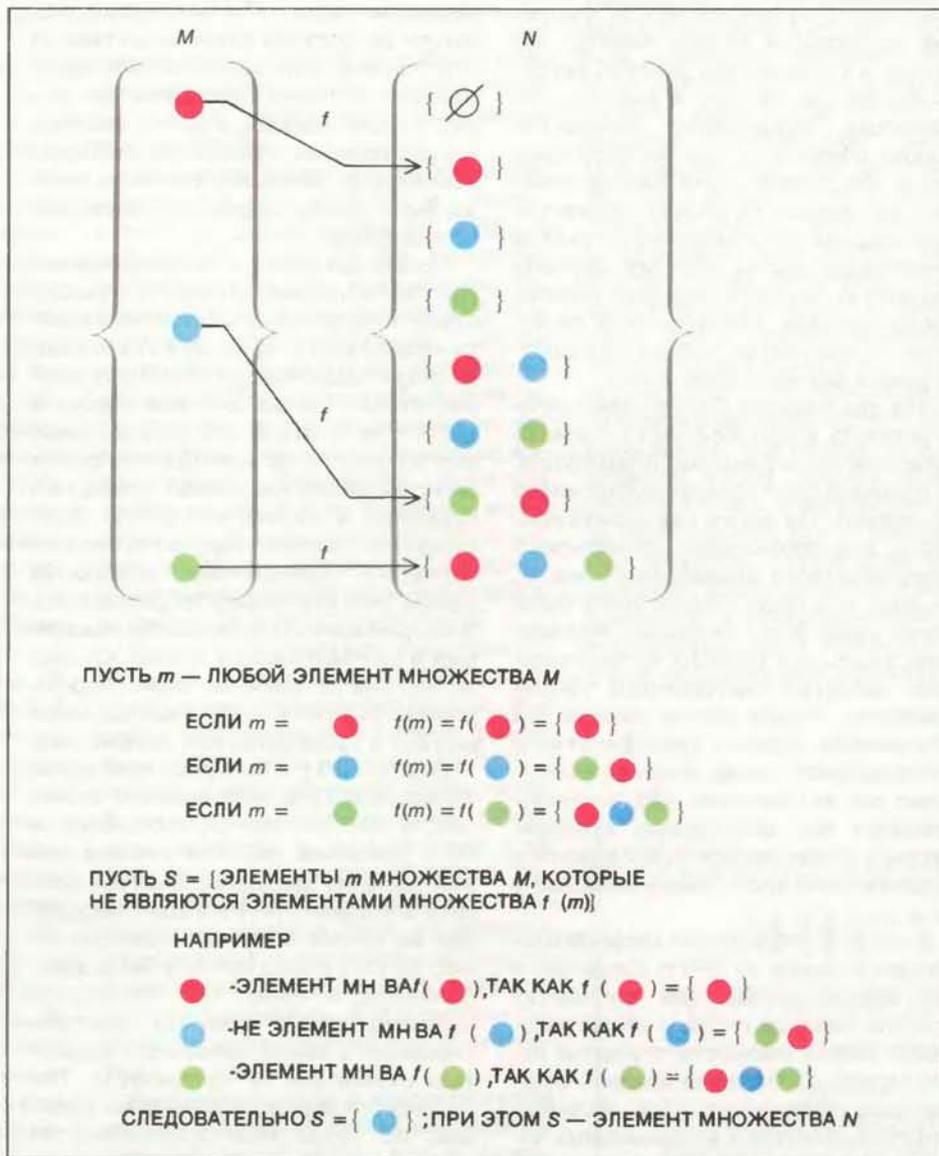
растающую оппозицию и нападки со стороны Кронекера, готовившего, по его утверждению, статью, в которой будет показано, что «результаты современной теории функций и теории множеств не имеют реального значения».

Вскоре после этого, в мае 1884 г., Кантор испытал серьезное нервное расстройство. Осознание неудачи в решении проблемы континуума и нападки Кронекера могли способствовать этому срыву. Однако эти отрицательные факторы, конечно, не были причиной его болезни, которая прогрессировала очень быстро. В конце июня 1884 г. после «выздоровления» и наступления фазы депрессии Кантор жаловался на упадок сил и потерю интереса к занятию математикой. Он довольствовался лишь выполнением незначительных административных обязанностей в университете и не чувствовал себя способным на большее.

ХОТЯ Кантор порой возвращается к математике, его все более увлекают другие интересы. Начав изучать английскую историю и литературу, он становится участником спора, который вели в то время многие ученые, — спора относительно предположения, что автором шекспировских пьес был Френсис Бэкон. Кантор пытался, но безуспешно преподавать философию вместо математики и начал переписываться с некоторыми теологами, проявившими интерес к философским выводам из его теории бесконечности. Эта переписка имела особое значение для Кантора, так как он был убежден, что идея трансфинитных чисел была ниспослана ему богом. Он очень хотел, чтобы его идеи были изучены теологами с целью согласования его концепции бесконечного с церковным учением.

Важно отметить, что Кантор способствовал созданию профессионального объединения — Немецкого математического общества, назначение которого состояло в содействии развитию математики в Германии. Он считал, что его научная карьера пострадала от предубежденного отношения к его трудам, и надеялся, что независимая организация позволит молодым математикам самостоятельно судить о новых, возможно, радикальных идеях и побудит их заняться этими идеями.

Последним элементом теории бесконечных множеств, который оставался еще «недоработанным», был вопрос о природе и статусе трансфинитных кардинальных чисел. Эволюция мыслей Кантора относительно этого предмета любопытна, поскольку трансфинитные кардинальные числа были той завершающей частью его теории, которой нужно было дать строгое определение и присвоить специальный символ. Сейчас трудно с полной ясностью



БЕСКОНЕЧНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МНОЖЕСТВ, каждое из которых больше предшествующего ему в этой последовательности, может быть построена при рассмотрении всех подмножеств любого заданного множества. Канторовский диагональный метод показывает, что, допуская взаимно однозначное соответствие f между множеством M и множеством N всех его подмножеств, мы можем построить подмножество S , не включенное в это однозначное соответствие, каковы бы ни были f . Чтобы понять это построение, рассмотрим конечное множество M , состоящее из красного, голубого и зеленого кружков. Это множество имеет восемь подмножеств (включая пустое множество \emptyset). Пусть S будет определено как множество всех элементов m из M , не являющихся членами подмножества $f(m)$, которым соответствует m . Например, S содержит только голубой кружок. Ввиду того что S является подмножеством множества M , и так как по предположению f определяет взаимно однозначное соответствие, должен существовать некоторый элемент a из M , которому соответствует S , или, другими словами, для которого $f(a)$ совпадает с S . Элемент a либо является элементом из S , либо нет. Если a — элемент S , то он должен быть и элементом множества $f(a)$, так как $f(a)$ равно S ; с другой стороны, если a является элементом из S , то он не может быть элементом множества $f(a)$ по определению S . Значит, a не может быть элементом из S . Однако, опять-таки по определению S , если a не является элементом из S , то a должен быть элементом из $f(a)$, а так как $f(a)$ равно S , то a должен быть и элементом из S . Поэтому, каково бы ни было a , предположение, что множество M можно поставить во взаимно однозначное соответствие с множеством всех его подмножеств, приводит к противоречию, а потому это предположение следует отбросить. Так же доказывается, что, даже если множество бесконечно, множество его подмножеств больше первоначального множества. Бесконечная последовательность все больших бесконечных множеств может быть построена путем образования множества N всех подмножеств какого-либо бесконечного множества M , затем образования множества P всех подмножеств множества N и так далее. В этой последовательности нет наибольшего множества.

представить ту неизвестность, в которой продвигался вперед Кантор. До сих пор я описывал его работы, как если бы он уже пришел к выводу, что мощность бесконечного множества можно определять как кардинальное число. Фактически, хотя Кантор понимал, что именно мощность множества указывает на его эквивалентность (или неэквивалентность) любому другому множеству, он первоначально избегал предположения, что мощность бесконечного множества можно интерпретировать как некоторое число.

Эти два понятия Кантор начал отождествлять в сентябре 1883 г.; однако все еще не было символа, позволяющего отличать одно трансфинитное число от другого. Так как он уже принял символ ω для обозначения наименьшего трансфинитного ординального числа, то ясно, что ординальные числа были значительно более важными, чем кардинальные, для раннего концептуального развития канторовской теории множеств. Решив ввести символ для обозначения первого трансфинитного кардинального числа, Кантор заимствовал его из символов, уже использовавшихся для обозначения трансфинитных чисел: первое трансфинитное кардинальное число было записано в виде \aleph_1 .

Кантор не пользовался алефами в качестве символов до 1893 г. Примерно в это время итальянский математик Джулио Виванти готовил общее изложение теории множеств, и Кантор понимал, что необходимо принять стандартные обозначения. Для обозначения трансфинитных кардинальных чисел он выбрал алефы, считая, что известные греческие и римские алфавиты слишком широко использовались в математике. Выбранная буква κ была доступна для набора в немецких типографиях. Этот выбор Кантор обосновывал еще и тем, что еврейский алеф был одновременно символом числа 1. Поскольку сами трансфинитные кардинальные числа были бесконечными единицами, алеф можно было взять для обозначения нового понятия в математике. Кардинальное число первого числового класса, которое раньше Кантор обозначал через ω , он теперь обозначил через \aleph_0 (алеф-нуль); кардинальное число второго числового класса стало обозначаться символом \aleph_1 (алеф-один).

ПОСЛЕДНИЕ значительные работы Кантора по теории множеств опубликованы в 1895 и 1897 гг. В докладе, прочтенном на первом заседании Немецкого математического общества в 1891 г., он доказал, что кардинальное число любого множества меньше кардинального числа множества всех его подмножеств. (Один из способов доказательства представлен на рисунке, по-

мещенном на с. 85.) Несколько лет спустя он получил такое следствие из этого результата: кардинальное число континуума равно кардинальному числу 2^{\aleph_0} . Он надеялся, что это следствие вскоре приведет к решению проблемы континуума, поскольку ее теперь можно было сформулировать в алгебраической форме: $2^{\aleph_0} = \aleph_1$.

Однако аргументы, использованные Кантором при доказательстве утверждения о кардинальном числе множества подмножеств, привели к существенному иному заключению. Наиболее важное из них сделал Бертран Рассел в 1903 г.: он показал, что рассмотрение всех множеств, не включающих себя в качестве элементов, может привести к парадоксу в теории множеств. Этот вывод Рассела указывал на то, что канторовское определение множества нельзя считать удовлетворительным. Эта проблема стала одной из важнейших в математической логике XX столетия. Тем не менее ни один из канторовских результатов еще не был опровергнут в трансфинитной арифметике.

Еще до 1903 г. Кантор все чаще испытывает приступы маниакальной депрессии, и нам неизвестно, познакомился он с указанной работой Рассела или нет. Болезнь вынудила Кантора просить в Университете в Галле разрешения на отпуск в течение осеннего семестра 1899 г. Его просьба была удовлетворена. В ноябре того же года он направил письмо министру культуры Германии о своем намерении полностью отказаться от профессуры. Поскольку его зарплата оставалась прежней, он готов был согласиться на скромную должность в библиотеке. Письмо заканчивалось требованием, чтобы министр сообщил свой ответ в ближайшие два дня. Если ему не предложат другую работу вместо преподавания, то, писал он, как человек, родившийся в России, он будет пытаться поступить на службу в русский дипломатический корпус.

По-видимому, ответ на просьбу Кантора не последовал, а на службу к императору Николаю II он не поступил. Тем не менее этот случай является характерным в поведении Кантора. Так, например, еще в 1884 г., после первого серьезного приступа болезни он всерьез рассматривал вопрос об отказе от математики ради философии. В конце 1899 г. он был госпитализирован из-за маниакальной депрессии, затем — в зимние семестры 1902 и 1903 гг. и позднее на все более частые и длительные периоды. Умер Кантор от сердечной недостаточности 6 января 1918 г. в психиатрической лечебнице в Галле.

ИМЕЕТСЯ в то же время определенная связь между болезнью Кантора и его научным творчеством. Некоторые документы говорят о том, что бо-

лезнь давала ему передышку от повседневных дел, которую он использовал для развития своих математических идей в уединении госпиталя или в спокойной обстановке дома. Возможно, болезнь также усиливала его веру, что идея трансфинитных чисел была внушена ему богом. После длительной госпитализации в 1908 г. он послал письмо одному из друзей в Гёттингене — математику Грейс Чисхольм Юнг, англичанке по происхождению. Как он писал, его маниакальная депрессия была побуждающим фактором: «Благодаря обстоятельствам судьбы, не только не сломившим меня, но фактически придавшим мне внутренней силы и сделавшим меня более счастливым и восприимчивым к радостям жизни, чем я был в последние годы, я оказался далеко от дома, можно сказать, далеко от мира... В этой длительной изоляции интерес к математике, в частности к теории трансфинитных чисел, не угасал во мне».

В другом письме Кантор выражает убежденность в истинности своей теории в квазирелигиозных терминах: «Моя теория как скала; всякая стрела, направленная в эту скалу, тотчас же отскакивает от нее и устремляется к выпустившему ее. Уверен я в этом потому, что изучил ее со всех сторон за многие годы и рассмотрел все возражения, которые когда-либо делались против трансфинитных чисел, а также потому, что я исследовал ее корни, так сказать, до первой подлинной причины всего сотворенного».

Последующие поколения могли бы отметить эту философию, взять под подозрение его многочисленные ссылки на Фому Аквинского и на отцов церкви, пересмотреть метафизические заявления и полностью упустить из вида глубоко религиозные корни веры Кантора в абсолютную истинность его теории. Однако указанные обстоятельства сыграли свою роль в его решении не отбрасывать трансфинитные числа. Сопrotивление, кажется, даже утвердило его решимость. Стойкость и убежденность Кантора позволили теории трансфинитных множеств пережить годы сомнений и нападков и в конце концов вырасти в грандиозную революционизирующую силу в математике XX столетия*.

* Следует отметить преувеличение автором роли теологических мотивов при создании и защите Кантором теории множеств. Теория множеств создавалась им на математической основе, причем более широкой, чем это раскрыто в публикуемой статье. Теологические мотивы стали появляться у Кантора в основном после того, как на построенную им теорию стали нападать философы и теологи; эти мотивы усиливались с развитием его болезни и отпадали в периоды относительного выздоровления. — *Прим. перев.*

мРНК с «раздвоенным языком»

В ТЕЧЕНИЕ тридцати лет, прошедших с тех пор, как Джеймс Уотсон и Фрэнсис Крик предложили свою знаменитую модель структуры ДНК, представление о работе генетического аппарата клетки все более и более усложнялось. Первоначальная простая догма, гласившая, что «на ДНК синтезируется РНК, а на РНК синтезируется белок», сейчас сменилась сложной схемой со многими промежуточными процессами, которые подчас имеют не меньшее значение, чем основные генетические события. И все же на протяжении всего этого периода «ревизионизма» в молекулярной генетике неприкосновенной оставалась идея о том, что ДНК и РНК — это линейные полимеры. И вот теперь даже это допущение оказалось опровергнутым. В журнале «Proceedings of the National Academy of Sciences» опубликовано сообщение Дж. Уэллеса и Мэри Эдмондс (Питтсбургский университет) об открытии РНК с разветвленной цепью.

Находка Уэллеса и Эдмондс оказалась, так сказать, побочным продуктом большой работы по исследованию процессинга РНК в живых клетках. Известно, что полимерная цепь РНК состоит из нуклеотидных оснований аденина, гуанина, цитозина и урацила. В состав каждого нуклеотида входит остаток сахара из пяти углеродных звеньев, которые принято обозначать цифрами от 1 до 5. Мономеры РНК соединены друг с другом фосфатными группами, каждая из которых связывает 3'-углеродный атом сахарного остатка одного нуклеотида с 5'-углеродом сахарного остатка соседнего нуклеотида. В последовательности нуклеотидов в цепи нуклеиновой кислоты закодирована информация, необходимая для сборки молекул белка в процессе так называемой трансляции. Ей предшествует стадия транскрипции: в ядре клетки на ДНК-матрице осуществляется сборка молекул РНК, которые затем транспортируются в цитоплазму, где происходит трансляция.

Между транскрипцией и трансляцией есть еще несколько важных этапов. В клетках животных они состоят в процессинге: новосинтезированная РНК (ее называют гетерогенной ядерной РНК) превращается в «зрелую» матричную РНК (мРНК), которая далее непосредственно участвует в трансляции. При процессинге с концами гетерогенной ядерной РНК связываются различные компоненты. К одному концу молекулы присоединяется последовательность из 150—200 адениновых нуклеотидов. К другому концу РНК

посредством трех фосфатных групп присоединяется так называемый «кэп» — модифицированный гуаниновый нуклеотид.

Считается, что присоединение последовательности поли(А) и «кэп»-структуры подготавливает РНК к трансляции. Однако в чем конкретно заключается их роль, пока не очень понятно. Уэллес и Эдмондс исследовали строение «кэп»-структуры. «Кэп» можно легко выделить из гетерогенной ядерной РНК с помощью фермента рибонуклеазы, который расщепляет ковалентную связь между соседними нуклеотидами. Химическая структура «кэпа» такова, что он устойчив к рибонуклеазному расщеплению, поэтому при обработке гетерогенной ядерной РНК рибонуклеазой образуется набор нуклеотидов и интактный «кэп».

И «кэп», и нуклеотиды заряжены отрицательно. Однако отрицательный заряд «кэпа» значительно больше, чем заряд отдельного нуклеотида. Благодаря этому «кэп» можно выделить с помощью ионообменной хроматографии — метода, позволяющего разделять молекулы в соответствии с их электрическим зарядом. Уэллес и Эдмондс обработали рибонуклеазой гетерогенную ядерную РНК из раковых клеток HeLa и разделили продукты расщепления с помощью ионообменной хроматографии. Как и ожидалось, были получены мономеры, т.е. нуклеотиды, и «кэп».

Кроме них в смеси оказался еще один продукт, имевший примерно такой же отрицательный заряд, как и «кэп». Сначала Уэллес и Эдмондс решили, что имеют дело с новой, ранее не известной разновидностью «кэп»-структуры. Однако химический анализ выделенного продукта показал, что это вовсе не «кэп». С помощью ряда методов было установлено, что обнаруженный Уэллесом и Эдмондс фрагмент РНК имеет структуру, похожую на развилку дерева с двумя расходящимися ветвями. Нуклеотид в точке разветвления связан с двумя цепями РНК, как и в обычной линейной молекуле, через 3'- и 5'-углеродные атомы, а с аномальной третьей цепью РНК — через 2'-углеродный атом сахарного остатка.

Уэллес и Эдмондс отмечают, что до этого сообщений о разветвленных молекулах РНК в литературе не было. Так как разветвление найдено только в гетерогенной ядерной РНК, но не в «зрелой» мРНК, то не исключено, что оно играет какую-то роль в процессинге РНК. Авторы предположили, что разветвление цепи РНК нужно для одного из основных этапов процессинга. Действительно, известно, что во вновь синтезированной гетерогенной ядер-

ной РНК имеются два типа последовательностей. Последовательности одного типа соответствуют тем частям гена (экзонам), которые кодируют структуру белка. Последовательности второго типа соответствуют некодирующим участкам гена (интронам). При процессинге РНК интроны вырезаются, а концы соседних экзонов соединяются. Рассмотрим участок РНК, состоящий из двух экзонов, разделенных интроном. Допустим, РНК разрезается сначала у одного из концов интрона, тогда освободившийся конец первого экзона может быть перенесен к другому концу интрона, соединенному со вторым экзоном, так что конец первого экзона присоединится к 2'-углеродному атому первого нуклеотида второго экзона. В результате получится разветвленная структура наподобие той, которую обнаружили Уэллес и Эдмондс. Впоследствии интрон может удаляться, а присоединенный экзон — перемещаться из 2'-углеродного атома в свое нормальное 3'-положение.

Издательство
МИР
предлагает:

Н. Прабху

СТОХАСТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ

Перевод с английского

Книга представляет собой развитие предыдущих работ автора, в частности «Методов теории массового обслуживания и управления запасами» (М.: Машиностроение, 1969). Основной упор в книге сделан на изложении фактов, связанных со стохастическими процессами в математических моделях. Доступность изложения сочетается с математической строгостью, каждая глава сопровождается интересными примерами и задачами. Книга может служить учебным пособием.

Для специалистов, занимающихся приложениями теории вероятностей и математической статистики, для аспирантов и студентов университетов.

1984, 9 л. Цена 95 к.



Застежка-молния

Эта всем знакомая деталь одежды имеет 60-летнюю историю. За время своего существования она претерпела немало модификаций. Ее появлению мы обязаны Элайасу Хоу — изобретателю швейной машины

ЛЬЮИС УЭЙНЕР

ЗАСТЕЖКУ-МОЛНИЮ (обычно называемую просто «молнией») можно встретить на многих предметах повседневного обихода — от сумок до брюк и платьев, и не проходит дня, чтобы мы не воспользовались ею. И тем не менее эта, как правило, всегда исправно работающая вещь рассматривается нами как самая заурядная и неприметная. Заглянем ради интереса в несколько наиболее полных энциклопедий. Некоторые из них, в основном последнего издания, содержат очень краткие, буквально отрывочные сведения об интересующем нас предмете, и ни в одной вы не найдете того, что принято называть подробной статьей. С историей застежки-молнии знакомы очень немногие даже из тех, кто ее производит. Будучи связанным в течение многих лет с промышленным производством молний, как изобретатель одного из современных станков для ее изготовления и как инженер-консультант, я думаю, что читателю будет интересно узнать историю этого простого и столь необходимого предмета.

В 1943 г. Ф. Джюветт, председатель фирмы Bell Telephone Laboratories и президент Национальной академии наук, выступая в Нью-Йоркском университете с докладом «Перспективы использования научно-технических достижений», отметил, что «по-настоящему плодотворные идеи» рождаются в умах отдельных людей и что идеи эти предвидеть невозможно. Он сказал: «Чтобы понять невозможность предсказать будущее, даже когда это касается простых вещей, представьте себе, насколько тщетны были бы попытки предвидеть такое изобретение, как застежка-молния, правда, не для того, кто уже имел готовую идею».

Тем, кто имел готовую идею, был Элайас Хоу, чье имя обычно связывают с изобретением швейной машинки. В 1851 г. в США ему был выдан патент на изобретение устройства для автоматического соединения деталей одежды. В описании к изобретению говорится: «... устройство состоит из ряда звеньев [строчек], соединяемых смыкающим шнуром, передвигающимся или скользящим вдоль строчек». Изобретение Хоу во многом определило конструк-

цию современной молнии, но в то время по неизвестным причинам он не стал заниматься массовым производством застежек.

Нам известно другое имя, Уиткома Джадсона, которому обычно приписывают изобретение застежки-молнии. В 1893 г. он получил в США два патента на изобретение автоматической смыкающейся застежки со скользящим ползуном. Неизвестно, то ли потому, что Джадсон видел весьма ограниченную возможность применения своего изобретения, то ли просто он хотел подчеркнуть его конкретное назначение с целью получения патента, но свою первую заявку на изобретение он назвал «Устройство для застегивания и расстегивания обуви». Застежки-молнии тех времен отличались от современных в основном тем, что при застегивании одни ее элементы последовательно накладывались на другие, подобно кнопкам, которые раньше делали на галошах. Застежка Джадсона состояла из ряда отдельных элементов, каждый из которых в свою очередь состоял из двух смыкающихся частей, укреплявшихся на края застегивающихся разрезов. Застегивание производилось вручную, но Джадсон предусмотрел и специальный скользящий ползунок, который обеспечивал смыкание элементов одного за другим.

В 1894 г. Джадсон и Льюис Уолкер организовали компанию по изготовлению универсальных застежек. Патенты Джадсона получили практическое воплощение. Уолкер был юристом и весьма предприимчивым человеком. В 1896 г. компания начала производить один вид застежек, которые назывались универсальными. Торговля шла вяло, отчасти потому, что качество продукции не было удовлетворительным — застежки легко расходились, а их крючки часто цеплялись за одежду.

В 1904 г. компания была реорганизована и получила новое название Automatic Hook and Eye Company. Она наладила производство застежек улучшенной конструкции под названием C-Curity. (На рекламном жаргоне ее называли «Раз — и готово».) Успеху

компании содействовало другое изобретение Джадсона — машины для производства застежек-молний, запатентованной в 1902 г. Раньше такие застежки изготавливались вручную. В 1906 г. в компанию поступил работать инженер Гидеон Сандбек, который за несколько лет существенно улучшил конструкцию застежки.

Над усовершенствованием застежки одновременно работали и другие изобретатели. В 1911 г. Катарина Кин-Маос вместе со своим компаньоном Генри Форстером получили в Швеции патент на изобретение застежки, похожей на современную молнию с металлическими звеньями и не имеющую крючков. Это изобретение намного опередило свое время и не имело успеха. В 1913 г. П. Э. Аронсон, управляющий фирмы Automatic Hook and Eye Company, получил патент на изобретение застежки, которая более всего походила на современную молнию, — она была полностью разъемной и могла разделяться на две половины.

Но спрос на новую застежку продолжал оставаться низким, и компания была на грани банкротства. Она держалась только тем, что помимо застежек производила другую продукцию. Затем в 1917 г. Сандбек получает патент на изобретение металлической застежки-молнии, которая по своей конструкции во всем походила на современную. Изобретатель ее говорил: «Сама жизнь заставила отказаться от крючков». Изобретение было настолько важным для компании, что она переименовала свое название и стала именоваться Hookless Fastener Company (компания по производству застежек без крючков). Уолкер увеличил капиталовложения, вскоре стал президентом компании и оставался им до конца своей жизни. Умер он в 1938 г.

Постепенно дела компании становились все лучше. Очень много застежек, производимых ею в то время, шло на изготовление денежных поясов на молнии, придуманных в 1917 г. одним портным из Нью-Йорка. Эти пояса пользовались большим спросом у моряков во время первой мировой войны. Большая часть из 24 тыс. застежек-молний, которые в 1917 г. произвела

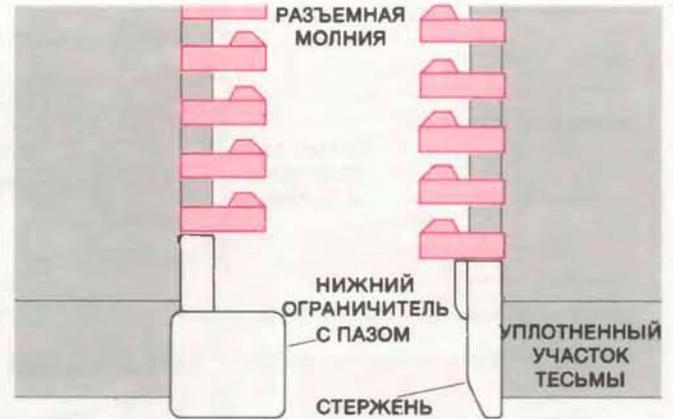
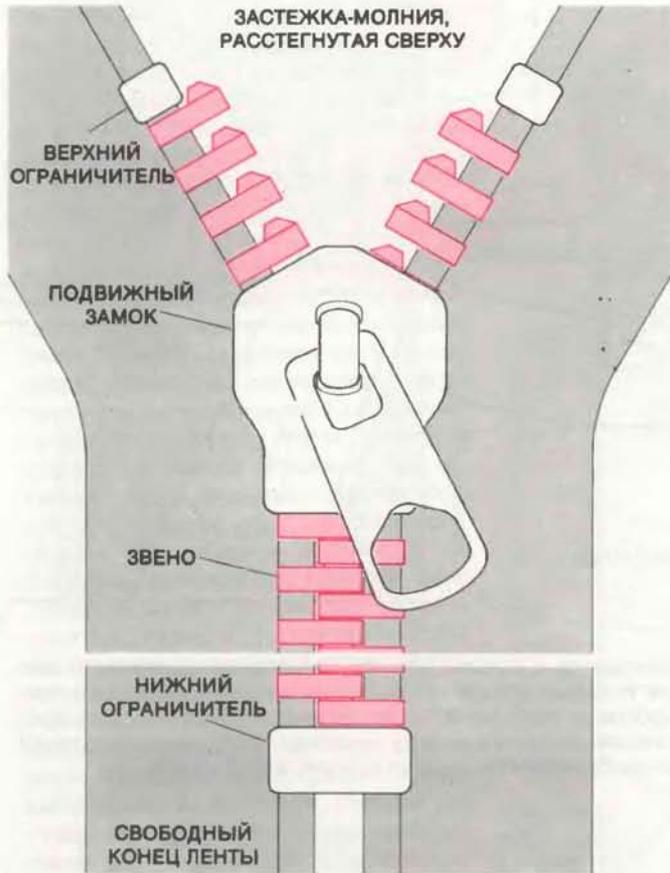
компания, пошла на изготовление этих поясов. В 1918 г. было выпущено 10 тыс. спецкостюмов с застежками-молниями для пилотов морской авиации США.

Вскоре после войны стали выпу-

скаются кисеты для табака и перчатки на молнии. Новая застежка становится популярной. Но, пожалуй, в наибольшей степени способствовала ее распространению компания В. F. Goodrich Company, которая в 1923 г. наладила

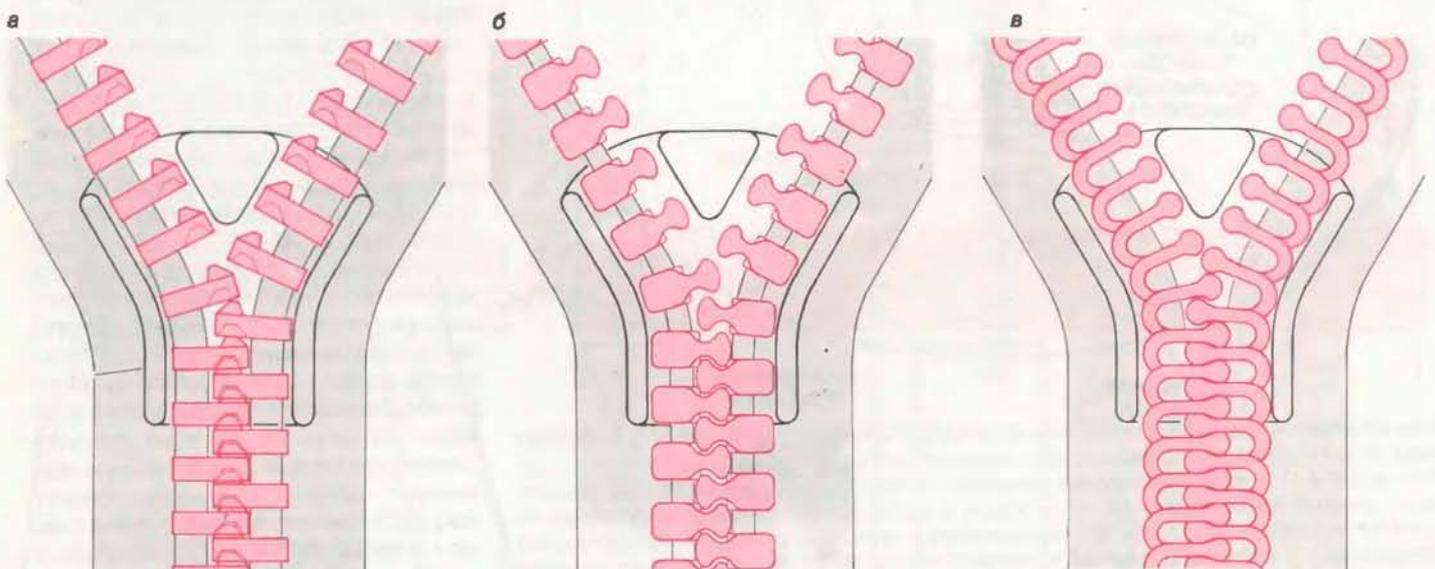
производство галош с застежкой-молнией, дала этой застежке название *zipper* и стала использовать ее изображение в торговом знаке на всей выпускаемой ею резиновой обуви.

Популярность новой застежки росла



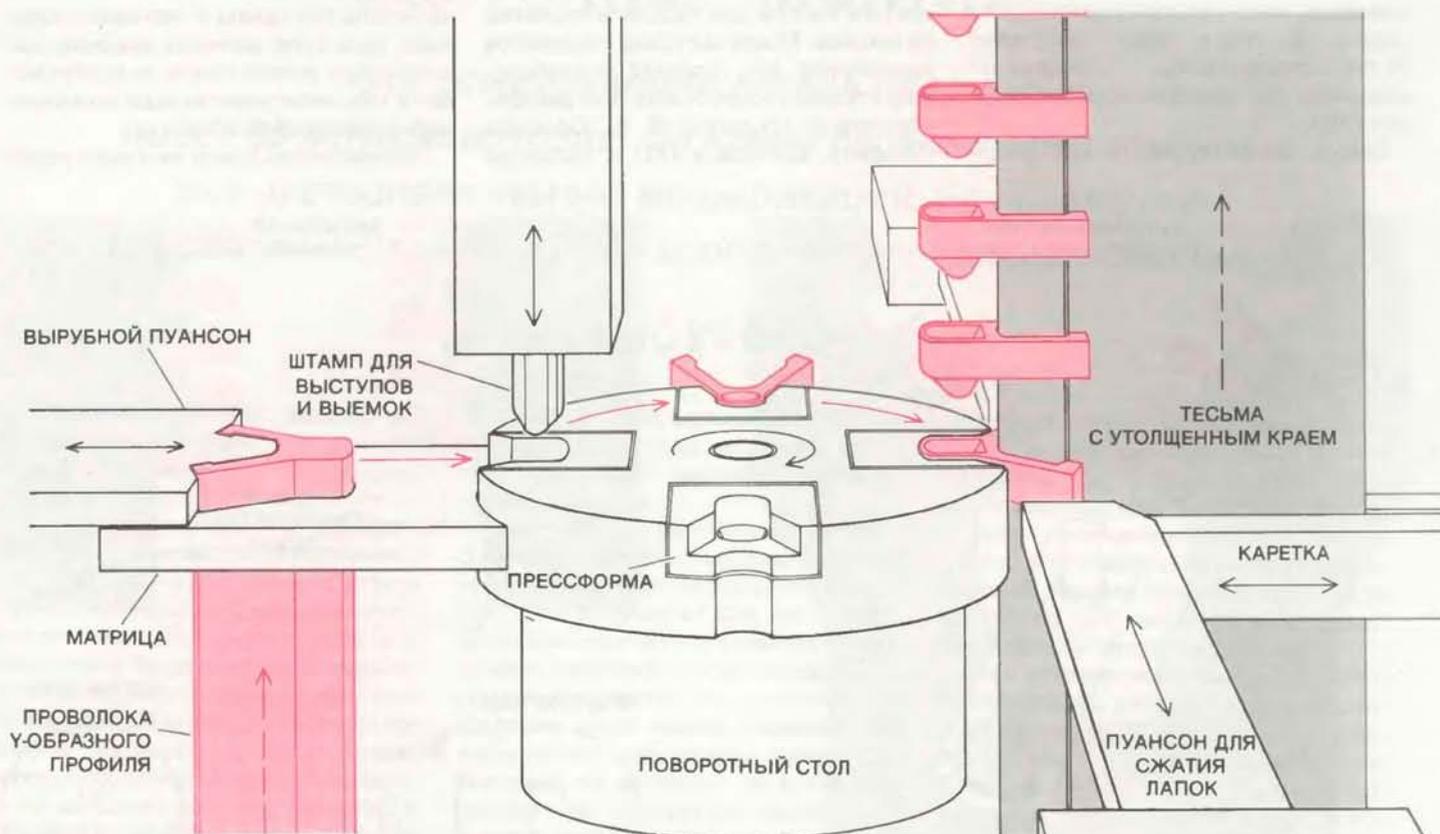
ОСНОВНЫЕ ДЕТАЛИ ДВУХ ТИПОВ ЗАСТЕЖКИ-МОЛНИИ — неразъемной для брюк и разъемной для курток. Звенья иногда называют «ковшиками», так как их форма напоминает ковшик. Звенья закреплены на тесьме, имеющей свобод-

ное поле для вшивания застежки в одежду. Две полосы, соединенные звеньями, называются строчкой. Застежка — это собственно строчка с надетыми на нее подвижным замком и ограничителями.



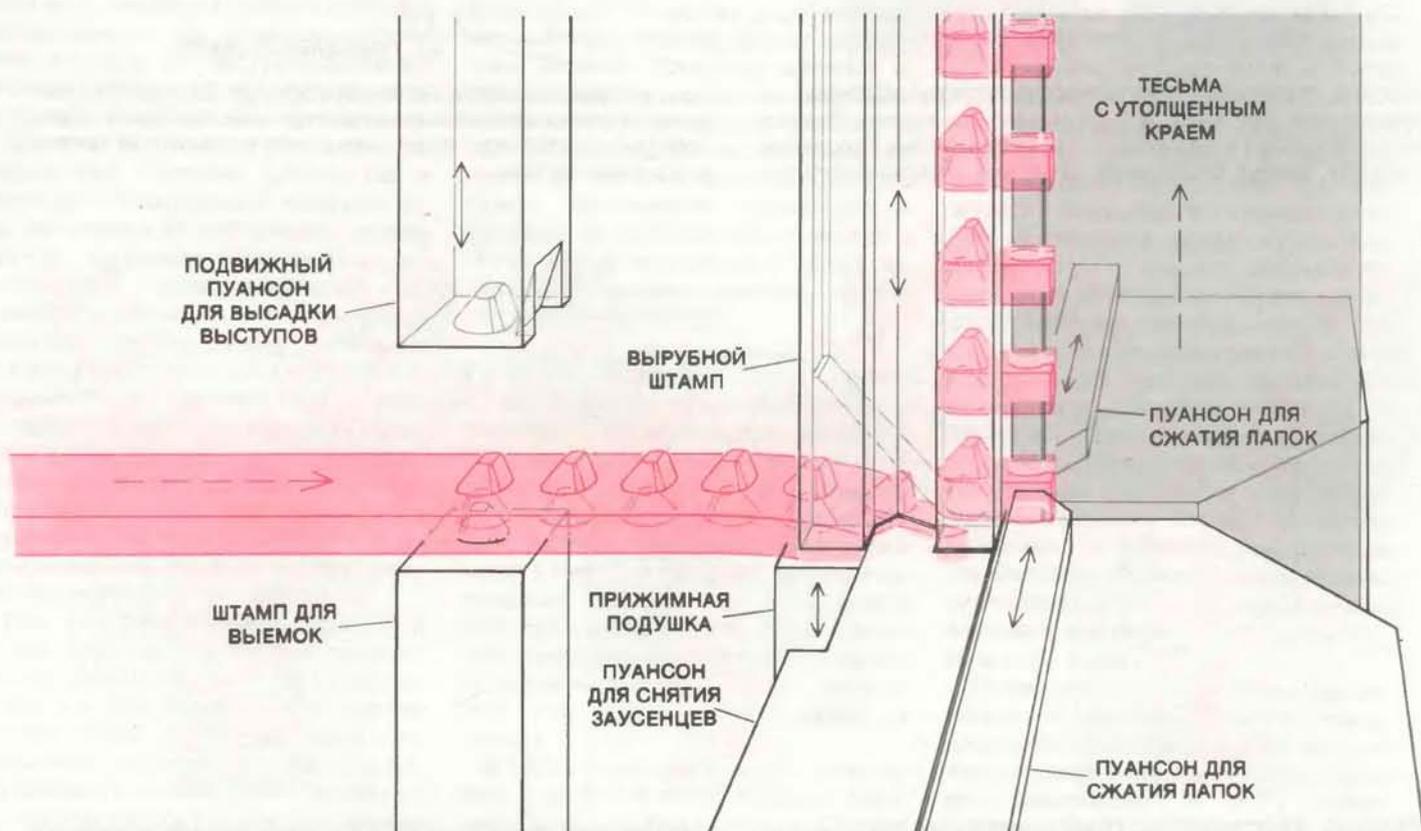
Для большей наглядности передняя стенка корпуса замка снята. В застежке с металлическими звеньями (а) каждое звено имеет полусферический выступ сверху и выемку снизу. При перемещении замка вверх его перемычка (шейка) задает звеньям определенный угол, при котором обеспечивается беспре-

пятственный захват выступов в выемку звеньев противоположных полос; звенья вводятся в зацепление бортиками на задней стенке корпуса замка. При расстегивании молнии перемычка раздвигает звенья. Пластмассовые спирали или звенья (б, в) бывают различной формы, но принцип смыкания и размыкания их один и тот же.



МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРОЧКИ застёжек могут изготавливаться различными способами. Здесь показан один из них. Процесс начинается с подачи проволоки, которой предварительно придали У-образный профиль (слева). Вырубной пуансон отсекает заготовки будущих звеньев. Заготовки

подводятся к штампу для формирования выступов и выемок, который вращается по часовой стрелке. После двух поворотов штампа на 90° заготовка поступает к тесьме, край которой вводится между лапками У-образной заготовки. Лапки сжимаются, тесьма продвигается вверх.



ДРУГОЙ ПРОЦЕСС изготовления металлических застёжек. Заготовки звеньев вырубаются из сплюсненной проволоки, которая подается в машину роликовым механизмом. Подвижный пуансон для высадки выступов расположен напро-

тив стационарного штампа. Вырубной штамп надрезает проволоку, чтобы придать заготовке У-образную форму, и отсекает звено. Лапки сжимаются на утолщении по краю тесьмы. За 1 с машина производит 50 звеньев.

с каждым днем. Дела компании Hookless Fastener Company, которая с 1917 по 1926 г. оставалась единственным ее производителем в США, процветали. Объем продажи ее продукции возрос с 24 тыс. долл. в 1917 г. до 60 млн. долл. в 1934 г. К этому времени компания изменила наименование застежки и стала называть ее *talon* («коготь»), а в 1937 г. сама компания стала называться Talon, Inc. Несколько десятилетий назад производство застежек-молний в США достигло 2,3 млрд. штук в год; затем в результате иностранной конкуренции производство этих изделий несколько снизилось и в 1981 г. составило 1,8 млрд. штук.

Основными элементами металлической застежки-молнии являются звенья, лента (тесьма), ограничители и замок. Звенья укреплены в ряд по краю ленты; каждое звено представляет собой самостоятельную деталь. Лента с набором звеньев называется строчкой. Две металлические одинарные строчки, соединенные вместе, образуют застежку. Нижний ограничитель состоит из нескольких деталей, он ограничивает движение замка и не дает ему соскальзывать со строчки. Застежка смыкается или размыкается с помощью скользящего замка.

Если внимательно посмотреть на звено металлической застежки, можно увидеть небольшой выступ на его верхней стороне, на той части, которая выступает от края ленты. На нижней стороне звена, под выступом, имеется выемка. Такая конструкция звена придает ему форму ковша, поэтому иногда звенья называют ковшиками. Полу-сферический выступ звена заходит в выемку противоположного ему звена на другой строчке. Именно за счет такой геометрии звеньев обе строчки соединяются вместе, когда они смыкаются замком.

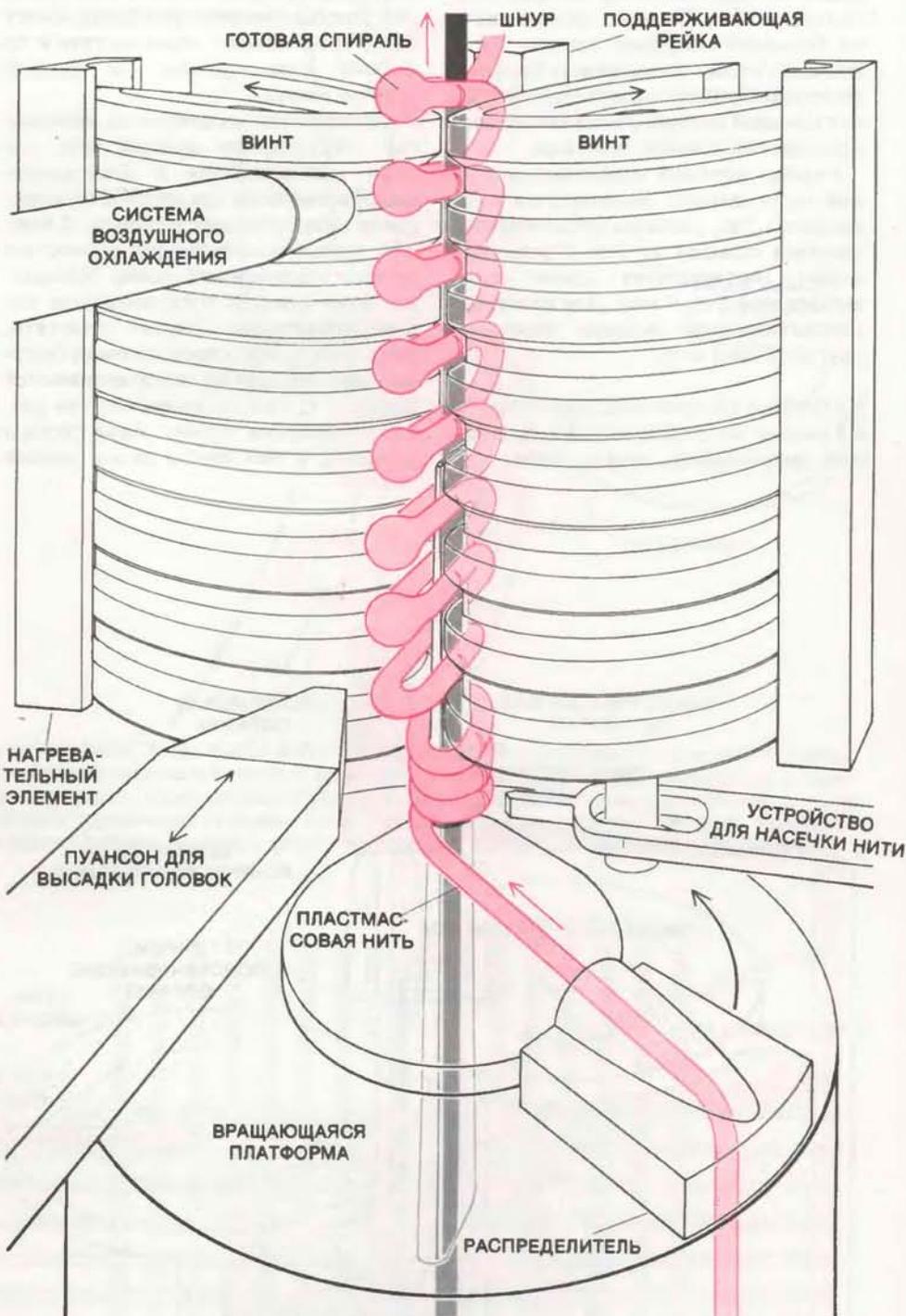
При внимательном рассмотрении замка на его задней стенке можно увидеть два бортика — слева и справа. Если заглянуть внутрь замка сверху, можно увидеть жесткую V-образную перемычку. Во время застегивания внутренняя перемычка и бортики вместе сдвигают звенья противоположных строчек, раздвинутых на определенный угол, обеспечивающий последовательный заход каждого звена между двумя соседними на противоположной строчке. Бортики подвижного замка при его перемещении вверх последовательно соединяют звенья, образуя плотное соединение строчек. При расстегивании бортики раздвигают ковшики под углом, так что звенья противоположных строчек выходят из зацепления и разводятся перемычкой замка.

Раньше застежки-молнии делали только металлическими. После второй мировой войны появились более совершенные виды полимеров и методы их

формовки. Это способствовало появлению разнообразных моделей застежек-молний из пластмассы. Стали выпускаться спиральные, кольцевые, петельные и другие виды застежек. В некоторых моделях строчки соединялись

за счет использования иной геометрии звеньев, отличной от принципа «выступ и выемка», но механизм смыкания и размыкания двух строчек оставался в основном тем же.

Многообразие видов застежек-мол-



МАШИНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПИРАЛИ из нейлоновой или полиэстеровой нити круглого сечения. Две сомкнутые спирали одновременно пришиваются к двум лентам. Здесь показана только часть процесса, которая начинается с подачи нити из распределительного устройства и намотки ее на коническую оправку с помощью вращающейся платформы. Одновременно по центру спирали пропускают шнур; он необходим для пришивания спирали к тесьме. Два винта с подогревом, вращаясь навстречу друг другу, захватывают пластмассовую нить, направляют ее вверх и загибают на ней петли в горизонтальной плоскости. Конец каждой петли сжимается пуансоном, и образуется утолщение (головка). Спираль нагревается до определенной температуры, выдерживается некоторое время, а затем быстро охлаждается. После такой обработки спираль окончательно формируется. Обычно работают два станка рядом — один делает правую спираль, другой — левую, чтобы их можно было соединить.

ний объясняется их различным назначением; для каждого конкретного случая требуется своя конструкция. Например, молния на платье должна быть гибкой, неощутимой для тела; наиболее подходящей для этого случая является пластмассовая молния спирального типа. В то же время молния на большом чемодане должна быть прочной, чтобы выдерживать большие нагрузки. Лучше всего для этого подходят крупные молнии с металлическими или пластмассовыми звеньями.

Размер застежки определяется длиной пары звеньев, находящихся в зацеплении. Так, размеры металлических застежек бывают от 2 до 7 (что примерно соответствует длине пары звеньев от 3,5 до 9 мм). Для пластмассовых застежек размеры несколько другие — от 3 до 9.

В ПРОЦЕССЕ производства застежка-молния изготавливается в виде одной непрерывной ленты, затем она

разрезается на отдельные молнии нужной длины, и к ним прикрепляются замки и ограничители, соответствующие назначению застежки. Молния для теплой куртки, например, имеет ограничители сверху на каждой строчке и разъемный ограничитель внизу. Молния, предназначенная для брюк, имеет внизу неразъемный ограничитель и по одному ограничителю на каждой строчке сверху.

Остановимся подробнее на технологии изготовления молний двух типов — металлических и пластмассовых. Рассмотрим три способа изготовления металлических застежек. В каждом случае используются полностью автоматизированные станки. Несколько таких станков обслуживаются одним оператором. Следует отметить, что в двух из этих способов очень быстро один за другим изготавливаются звенья и тут же насаживаются на разматывающую тесьму. Край тесьмы утолщен, с тем чтобы лапки звеньев

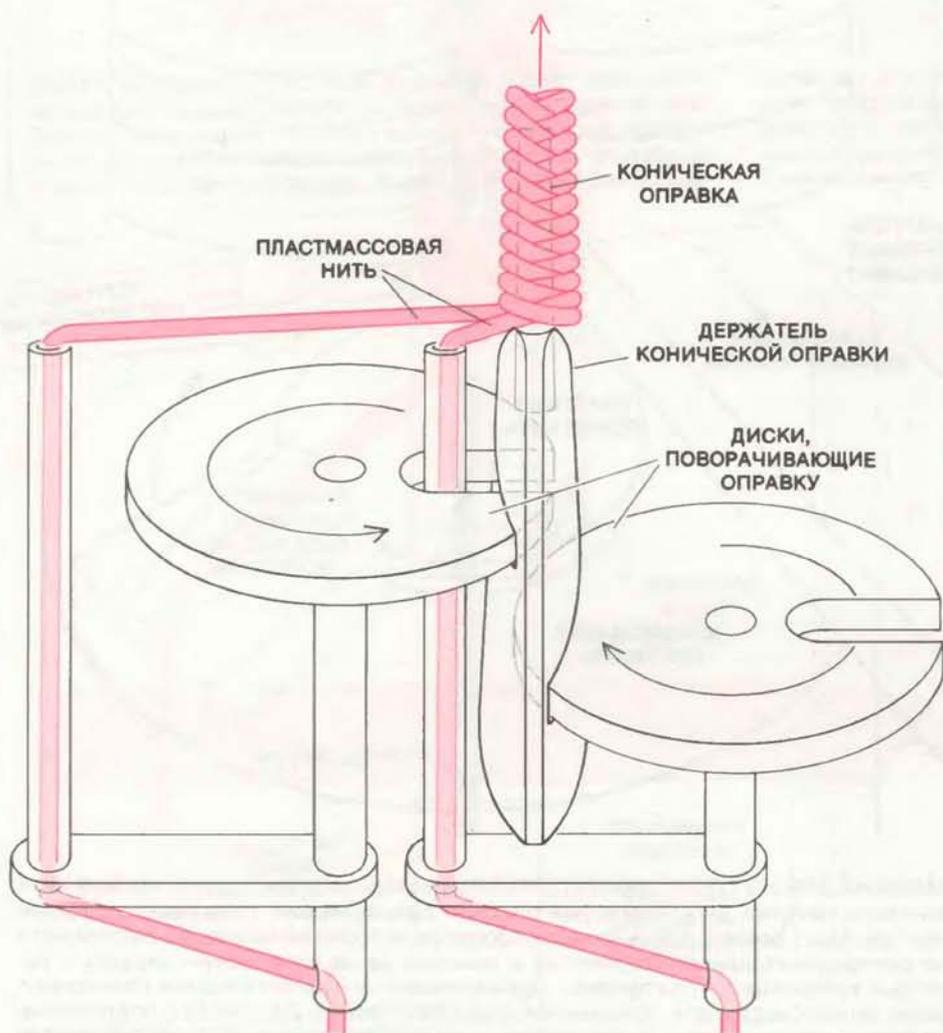
прочнее прижимались к ней.

В первом способе используется проволока круглого сечения из латуни, алюминия или сплава серебра и никеля. Проволоку прокатывают на прокатном стане и пропускают через ряд валков, получая плющенку Y-образного профиля, которая затем разрезается на отдельные детали. Каждая такая деталь — это и есть звено. Концы его верхней раздвоенной части — лапки, которые зажимаются на утолщенном краю тесьмы.

Профилированная проволока поступает в автомат, где отрубается Y-образная заготовка, которая подается в один из четырех ковочных штампов формования, установленных на поворотном столе. Пуансон опускается на заготовку и формирует в ней углубление; одновременно с другой стороны заготовки образуется полусферический выступ. Стол попеременно поворачивается на 90°, и каждый раз новая заготовка вставляется в один из штампов. Через два поворота стола заготовка подводится к тесьме. Утолщенный край тесьмы вводится в вилку заготовки, и ее лапки сжимаются. Затем лента перемещается на расстояние, примерно равное двойной толщине звена плюс 10% этой толщины. Это перемещение ленты рассчитано так, чтобы между двумя соседними звеньями расстояние было достаточное для третьего звена — с противоположной стороны, — которое войдет в этот зазор при застегивании молнии.

Описанный метод изготовления металлических молний не нов, ему почти 60 лет. Используемые в этом методе машины являются прямыми потомками первого станка-автомата для производства строчек, который был изобретен в 1923 г. Сандбеком. До того как появился этот станок, звенья для застежек-молний, как правило, штамповали поштучно. Их загружали в барабан и обкатывали, чтобы обточить острые кромки, затем наносили гальваническое покрытие и вручную вставляли в обойму зажимного устройства. После заполнения обоймы обвязанный ниткой край ленты продевался между лапками звеньев. Затем лапки сжимали прессом с механическим приводом. Позднее ручные операции механизировали, но все же процесс оставался непроизводительным и не обеспечивал требуемой надежности изделий. Кроме того, он был неэкономичным: при сжатии лапок 40% звеньев браковалось. Автомат Сандбека для изготовления строчек не давал брака, и его применение сразу обеспечило колоссальный успех. Технология изготовления звеньев молний из проволоки круглого сечения не является производительной и поэтому в настоящее время используется редко.

Второй процесс основан на изобрете-

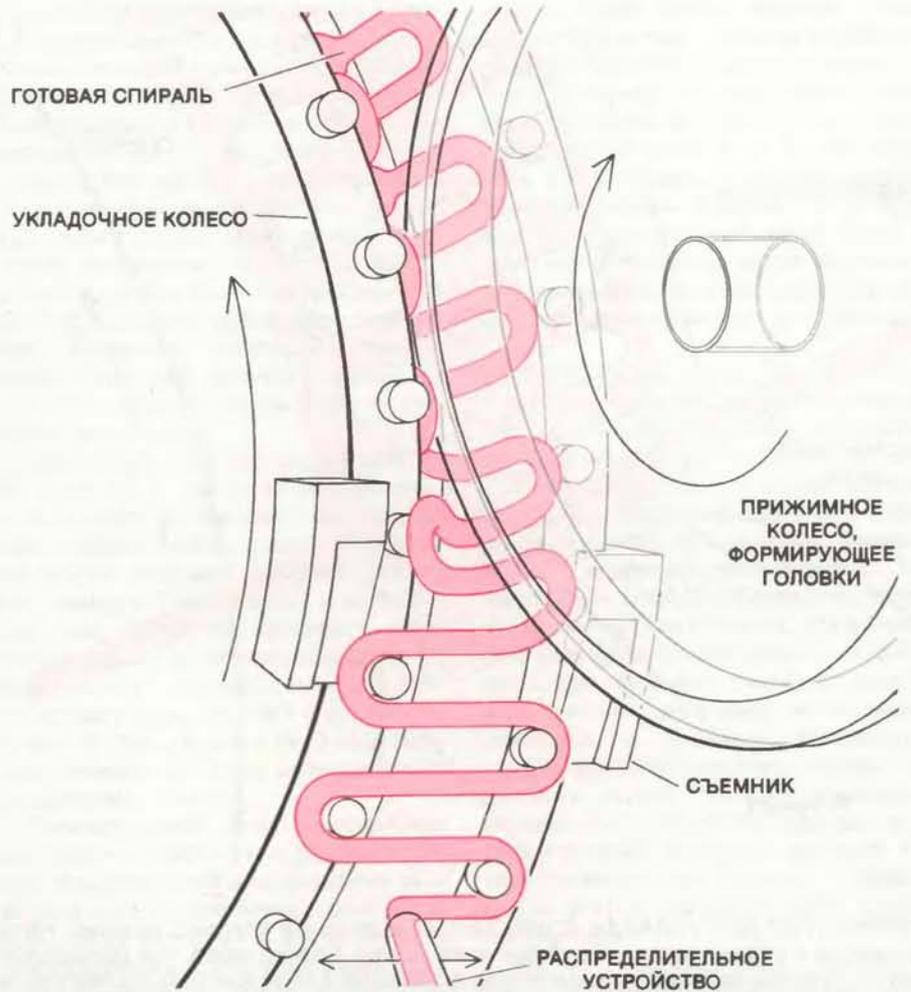


МАШИНА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПИРАЛЕЙ сразу из двух жил пластмассовых нитей, наматываемых на одну оправку. Нити могут иметь разный профиль. Они наматываются в противоположных направлениях. Готовые спирали снимаются с оправки, проходят термообработку и после этого пришиваются к тесьме. Такой процесс изготовления спиралей весьма экономичен.

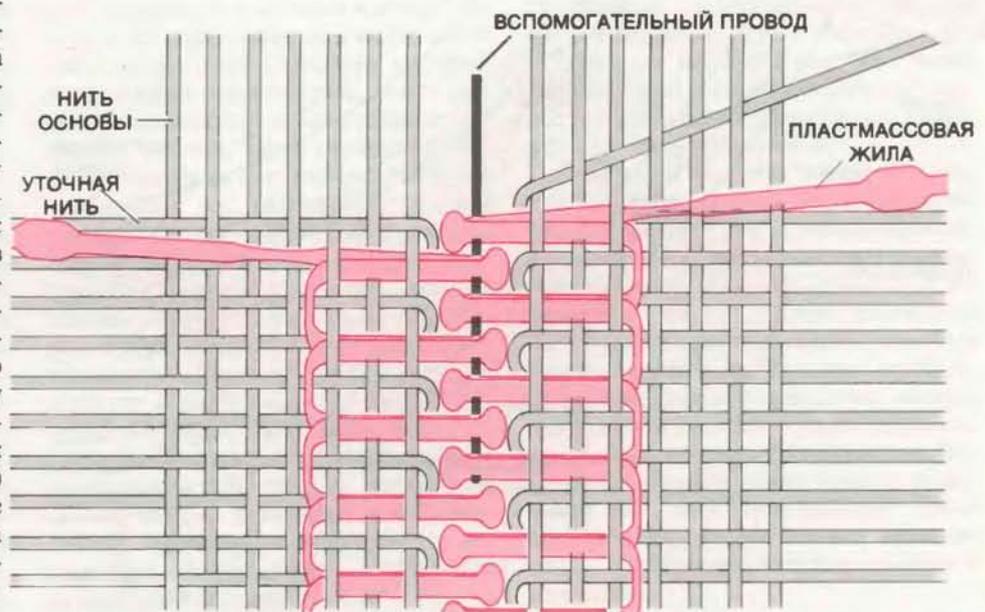
нии Ф. Ульриха, инженера фирмы Conmar Products Corporation. В 1940 г. он сконструировал машину, в которой используется не круглая, а плоская проволока. Два ролика подают проволоку в машину, в которой имеются два пуансона. Один из них стационарный и служит для выдавливания в проволоке выемки, другой подвижный, он подводится к первому и обжимает выступ на противоположной стороне. Далее вырубной штамп надрезает проволоку с двух сторон и отламывает от нее звено. Но, до того как звено полностью сформируется, его лапки будут сжаты вокруг утолщенного края тесьмы. Лучшие конструкции машин такого типа имеют высокую производительность. За одну секунду они изготавливают до 50 звеньев.

При третьем способе, в основу которого положено изобретение Г. Джонсона, запатентованное им в 1932 г., звенья изготавливаются не штамповкой, а литьем, причем отливаются они непосредственно на ленте. Лента движется через открытую литейную пресс-форму, состоящую из двух частей и имеющую несколько полостей, соответствующих форме звеньев. Когда литейная форма закрывается, в нее под давлением подается расплавленный цинк. Литейная форма охлаждается водой, и, когда жидкий металл затвердевает, она открывается. Лента с наплавленными звеньями переходит на следующую операцию, где с них удаляется облой.

После того как строчка готова, независимо от способа изготовления она проходит ряд операций чистовой обработки. Обе строчки соединяются в длинную цепь специальным устройством, напоминающим скользящий замок на обычной застежке-молнии. Эта цепь пропускается через валки, которые сжимают ее до требуемой толщины, а затем она обрабатывается металлическими щетками, которые удаляют заусенцы. После этого строчка опускается в раствор крахмала, отжимается с помощью валиков и высушивается в горячей камере. В результате этих операций она выпрямляется. На последней операции звенья покрывают тонким слоем расплавленного воска. Это обеспечивает плавность хода замка у новой молнии. (Когда молния разрабатывается в процессе эксплуатации, замок будет плавно двигаться уже без воска.) Бесконечная строчка, прошедшая все описанные операции, наматывается на бобину; теперь она готова для изготовления застежек.

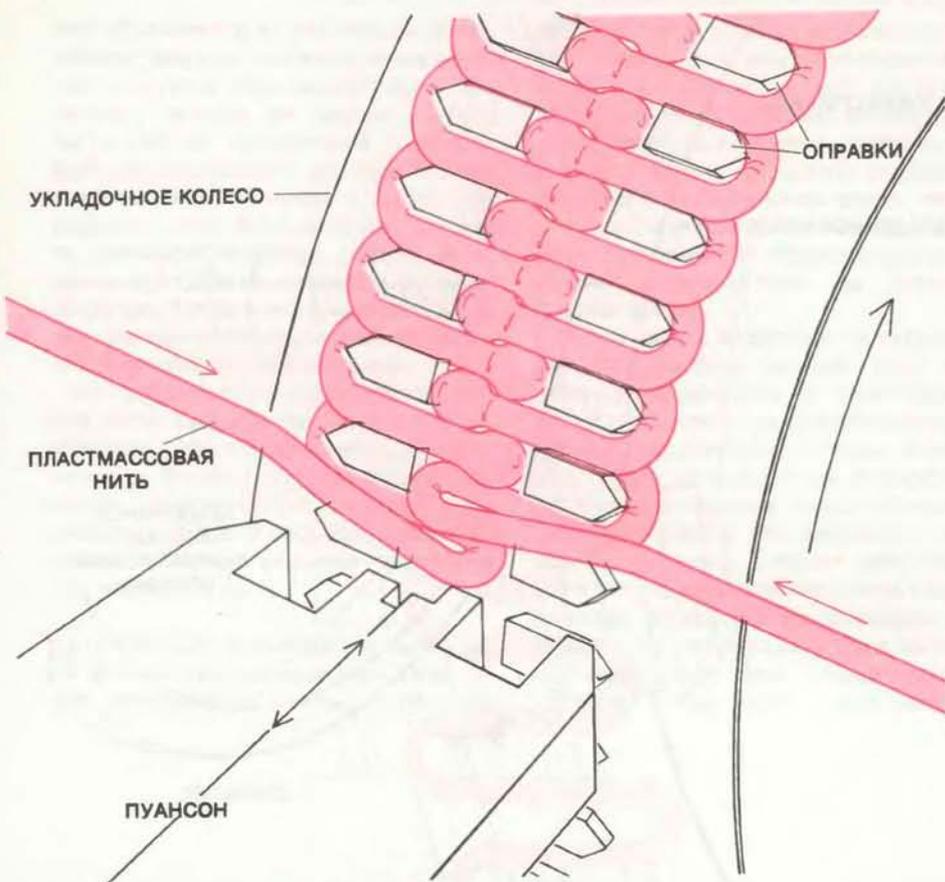


ПЛАСТМАССОВАЯ ЖИЛА КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ укладывается спиралью в виде лесенки с помощью двух колес. Распределительное устройство и укладочное колесо обеспечивают укладку провода петлями между штифтами. Второе колесо сдавливает спираль, придавая ей U-образную форму. Спираль проходит термообработку и на ней делаются головки. Затем она пришивается к тесьме.

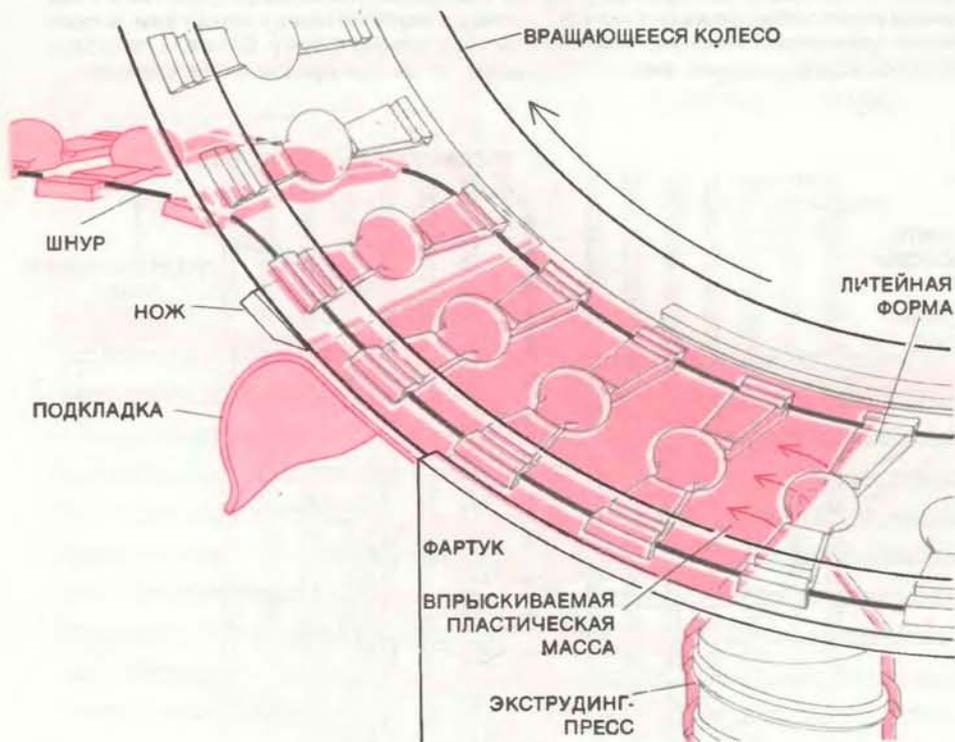


СПЛЕТЕНИЕ ПЛАСТМАССОВЫХ НИТЕЙ с нитями ткани. Два челнока подают нити ткани, а два других — пластмассовую нить. Вспомогательный провод пропускается через строчку и по мере сплетения он выдвигается из нее. Такой способ производства застежек обеспечивает наилучшее их качество. Процесс малопродуктивен, так как в каждый данный момент работает только один челнок. Технология сплетения в США не используется, но молнии, изготовленные этим способом, импортируются в страну в большом количестве.

ПЛАСТМАССОВЫЕ застежки-молнии современного образца впервые появились в Западной Германии после второй мировой войны. Немецкие фабрики по производству застежек-молний и оборудование были уничтожены во



УСТРОЙСТВО ДЛЯ УКЛАДКИ СПИРАЛЕЙ из двух нитей круглого сечения. Нити подаются с разных сторон на укладочное колесо в узкий зазор, где образуются петли. Пуансон вдавливает нити между оправками в виде фигурных штифтов на колесе и спрессовывает конец петли в утолщение.



ЛИТЬЕ ПЛАСТМАССОВЫХ ЗВЕНЬЕВ производится на вращающемся колесе, на котором имеются одинаковые полости, соответствующие форме звеньев. Два шнура подаются на каждый ряд звеньев. Звенья нанизываются на шнуры и с их помощью готовые изделия снимаются с машины. Полурастопленная масса заполняет полости, где она остается до затвердевания. Облой снимается ножом.

время войны, а то, что сохранилось, — устарело. В период восстановления промышленности и было налажено производство пластмассовых застежек.

Первым предприятием, приступившим к выпуску этой продукции, была западногерманская фирма Opti-Werk GmbH. И вновь, как прежде, производству нового типа молний предшествовал ряд изобретений. Среди многих изобретателей были два американца — А. Хансон, который в 1942 г. запатентовал метод пришивания пластмассовых колец к тесьме, и Н. Уол, получивший в 1951 г. патент на метод скручивания двух пластмассовых профилированных нитей на одной оправке. Вслед за этим Дж. Рурман и его коллеги запатентовали в Западной Германии конструкцию петельчатой строчки молнии. А. Герлаху и его партнерам и независимо от них фирме William Prym-Werke были выданы патенты на изобретение пластмассовой нити зубчатого профиля, которую можно вплетать в тесьму. Еще один заслуживающий внимания патент был выдан в 1968 г. австралийскому изобретателю Е. Куксону и его соавторам на разработанную ими систему непрерывного наплавления звеньев для пластмассовых застежек. Машина для навивания спирали из двух пластмассовых нитей круглого сечения, которая сгибает их в петли и производит термообработку для окончательного формирования, была изобретена в США в 1969 г.

Пластмассовые спирали на строчке делаются из полиэстера или нейлона. Они имеют разнообразную форму, иногда в виде меандра. В большинстве современных застежек-молний спирали вшиты в тесьму или вплетены в нее, за исключением случая, когда зубцы изготовлены методом непосредственного наплавления. Полиэстер, как и нейлон, плавится при температуре выше 204°C, и поэтому одежду с молниями из этих материалов можно гладить горячим утюгом.

Рассмотрим принцип работы двух машин для изготовления пластмассовых застежек. Одна из них скручивает пластмассовую нить круглого сечения на оправке. Основными конструктивными элементами машины являются стационарная конусная оправка и неподвижная система подачи вспомогательного шнура. Обе они укреплены на выступающем стержне. (Шнур проходит в вертикальном направлении через спираль; с его помощью она прикреплается к тесьме.) Вращающаяся шпуля разматывает пластмассовую нить, и шнур выходит из конуса. Другие важные элементы машины — два подогреваемых винта, резец и пуансон для вытяжки головок.

Пластмассовая нить поступает с вра-

шающейся шпули, проходит через два вращающихся диска и подается в распределитель, который наматывает нить на оправку. Одновременно шнур подтягивается через выступающий стержень и сквозь вырез в оправке и поднимается по центру спирали. Но шнур используется не всегда. С каждым оборотом распределительного устройства спираль продвигается вверх по оправке. Как только спираль поднимается на один шаг, нить надрезается сбоку резцом для образования сгиба в нужном месте; надрезы на спирали, кроме того, способствуют лучшему ее пришиванию к ленте.

Два винта вращаются в противоположных направлениях к спирали с насечками, захватывают ее и протягивают вверх. Через определенные интервалы нить сгибается в горизонтальной плоскости, образуя петли. Позади спирали расположена рейка, которая удерживает спираль в нужном положении. Винты подогреваются, чтобы придать пластичность материалу спирали. Петли втянутой в рабочее пространство нити сдавливаются, так что на их концах образуются утолщения, называемые головками. На выходе из рабочего пространства спираль охлаждается воздушной струей. Часто вместо винтов используют шестерни, которые протягивают нить и придают ей нужную форму. Окончательную форму спираль приобретает после индукционного нагрева.

У застежки спирального типа спирали на двух строчках должны быть противонаправленными. Поэтому спирали изготавливают на двух машинах — с намоткой в левую и правую сторону. Обычно в производственных условиях они расположены рядом, и обе спирали тут же можно соединить вместе. Собранный двойная спираль пришивается к тесьме.

Для получения пластмассовых звеньев методом непрерывного литья применяют карусельное устройство, вдоль которого по периферии расположены полости (литьевые формы), соответствующие форме звеньев. К каждому ряду звеньев подводится два шнура. Они придерживают заготовки в ряду и помогают снять готовую партию с колеса. Отлитые детали помещаются в лоток до затвердевания, а затем ножом с них удаляется облой. На гибочной машине заготовкам придают нужную форму, и тут же они подвергаются термообработке, в результате которой фиксируется форма готовых изделий. После этого звенья готовы, чтобы пришивать их к ленте.

Пластмассовая цепочка проходит отделочные операции. Ее погружают в раствор крахмала, обжимают на роликовом прессе, высушивают и гладят. Готовая строчка наматывается на бину.

НЕОТЪЕМЛОЙ деталью застежки-молнии является подвижный замок. Корпус замка и ручка, за которую передвигается замок, изготавливают либо штамповкой из мягкой стали, либо литьем из цинка. Как правило, на металлические застежки устанавливают штампованные замки, а на пластмассовые ставят литые. Замок на пластмассовой застежке внутри должен быть с ребрами, чтобы при застегивании спирали придавалось правильное положение. Поскольку ребристую поверхность на штампе получить трудно, на пластмассовые застежки и устанавливают литые замки.

Для защиты от коррозии детали замка покрывают латуной или цинком. Исключение составляют так называемые автоматические замки. Они имеют внутри пружинку, которая удерживает замок в нужном месте и не позволяет ему сползать; пружинку желательно делать из нержавеющей стали. Замок часто покрывают эмалью, чтобы ее цвет гармонировал с цветом цепочки. Корпус, ручка и (в автоматических замках) пружинка собираются на специальных станках.

Окончательный этап изготовления застежки-молнии — это сборка строчек, ограничителей и подвижного замка (или двух замков для молний, которые можно застегивать и расстегивать сверху и снизу). Сборочные станки для металлических и пластмассовых застежек отличаются друг от друга, но принцип их работы в основном одинаков. Как правило, сборка начинается с подачи непрерывной строчки, намотанной на бабине. Пара кольцевых съемников сматывает с бабины строчку и направляет ее сначала в захват, который на определенных участках снимает звенья и одновременно прикрепляет нижний ограничитель; лента разрезается в середине освобожденного от звеньев участка, часть свободной ленты останется на готовой застежке, она необходима для вшивания молнии в одежду. (Такой свободный промежуток можно сделать и в процессе изготовления строчки, пропустив в определенном месте установку звеньев.) Далее строчка передается на машину, которая вставляет замок через имеющийся зазор в ряду звеньев и закрепляет верхний ограничитель. Последняя операция — разрезание: строчка режется по середине в тех местах, где сняты звенья. Иногда некоторые из перечисленных операций в производстве совмещают. В результате получают отдельные застежки-молнии, готовые к дальнейшему использованию в одежде, сумках и других изделиях.

Процесс изготовления разъемных молний несколько отличается от рассмотренного. Хлопчатобумажная лента на нейлоновой основе прожигается в середине зазора, и через свободные

концы устанавливают верхние и нижние ограничители. Строчка разделяется на две половины. Замок одевается на ту же половину, что и нижний ограничитель с пазом. Вставка нижнего ограничителя укрепляется на другой половине. Когда молния полностью расстегивается, вставка вынимается из паза нижнего ограничителя через замок и застежка разделяется на две половины, а нижний ограничитель с пазом не позволяет замку соскочить со строчки.

ТРУДНО представить, что у такого простого изделия, как застежка-молния, могут быть какие-либо перспективы в отношении улучшения ее конструкции. И все же это представление ошибочно. Имеются некоторые соображения по поводу совершенствования молний, особенно пластмассовых. Одно из них — это разработка и производство молний как больших, так и меньших размеров по сравнению с существующими. Большие застежки можно использовать, например, на ширмах, которыми в больших помещениях удобно было бы отделять секции для деловых встреч. Совсем маленькие молнии могли бы найти применение в миниатюрных изделиях, которых теперь становится все больше, — например на футлярах небольших радиоприемников.

Другое перспективное направление — производство недорогих молний. Их можно было бы использовать на дешевой бумажной одежде или других предметах обихода, рассчитанных на разовое пользование. Можно предвидеть появление застежек-молний повышенной прочности, герметичных и в то же время достаточно гибких, чтобы их можно было использовать на костюмах для космонавтов. Если такие молнии появятся, производители товаров широкого потребления не замедлят найти им применение.

И наконец, имеется такая область, где уже давно ведется поиск специальных материалов для застежек-молний. Речь идет о хирургии, которая испытывает потребность в герметичных и химически инертных молниях. Они могли бы заменять временные швы, которые накладываются на разрезы, требующие последующего вскрытия, скажем для доступа к ответственному органам, таким, как сердечный стимулятор. Некоторые хирурги высказывают желание наладить производство таких изделий; их разработка и изготовление — задача специалистов-медиков и инженеров.

Наука вокруг нас

Поляризованный свет помогает увидеть распределение напряжений в деформируемых материалах

ДЖИРЛ УОЛКЕР

ИЗВЕСТНО, к каким убыткам приводит разрушение материалов, вызванное механическими напряжениями. Предупредить разрушение зачастую удается путем предварительного испытания на прочность опытных образцов деталей, изготовленных из того или иного материала. В этих испытаниях образец доводится до разрушения, при этом определяются величины разрушающих напряжений. В условиях же эксплуатации идентичных деталей необходимо следить, чтобы эти величины не достигались. Но можно поступить иначе — изготовить модель детали из прозрачной пластмассы или другого сходного (изотропного) материала и исследовать ее поляризационно-оптическим методом, позволяющим получить картину распределения напряжений в детали.

Недавно Ф. Сьюферт из Кливленда показал мне, как он исследует напряжения в разных деталях поляризационно-оптическим методом. Сначала изготавливается модель детали из пластмассы лексан или туффак толщиной около 3,5 мм. Если деталь большая, то исследуется ее уменьшенная модель. Модель закрепляется в деревянной рамке и подвергается действию сил, имитирующих напряжения в реальной детали. Усилия создаются резиновыми жгутами или металлическими винтами. Последние предпочтительней, поскольку их можно затягивать медленно, тем самым легче контролировать прикладываемую силу.

Модель помещается перед поляризационным светофильтром и освещается 200-ваттной лампой, закрытой матовым стеклом. Между моделью и фотоаппаратом (зеркальным, с одним объективом, 35-миллиметровая пленка) устанавливается длинная бленда, сделанная из картона. На объектив надевается телеконвертер Виватар 2X без линз. Телеконвертер служит тубусом, отдаляющим объектив от фотоаппарата; вместо него можно взять любой другой подходящий тубус. Съемка производится 135-миллиметровым телеобъективом с относительным отверстием 1:2,5. На объектив насаживаются второй поляризационный светофильтр и слабый синий светофильтр (марки 80A). Фотоаппарат неподвижно закрепляется на столике от штатива-

треножника, прикрепленном к фанерной доске.

Перед съемкой первый поляризационный фильтр поворачивают так, чтобы его ось поляризации была под углом 45° к вертикали. Затем пластмассовую модель устанавливают перед фильтром и включают лампу. Выполняя съемку, смотря в видоискатель, поворачивают второй поляризационный фильтр (на объективе), пока на изображении модели не наложится четкая картина полос. Фотографирование производится нажатием на проводочный тросик, при этом также включается электронная лампа-вспышка, установленная рядом с осветительной лампой. Дополнительная подсветка необходима для получения качественного снимка.

Сьюферт пользуется цветной негативной пленкой Фуджи (ASA 100). Цветные полосы на полученных снимках выявляют распределение напряжений в пластмассовых моделях. При этом четко выделяются области максимальных напряжений, т.е. те участки, где разрушение материала наиболее вероятно.

Первый поляризационный фильтр в системе Сьюферта поляризует свет. Пройдя через деформированную модель, поляризованный свет несет в себе информацию о напряжениях в ней. Второй поляризационный фильтр (насадка на объективе), «расшифровывая» эту информацию, делает видимой картину распределения напряжений. На верхней иллюстрации на стр. 99 изображен очень малый тонкий элемент нагруженной модели, исследуемой поляризационно-оптическим методом. По периметру этого элемента приложены (перпендикулярно) растягивающие усилия. Кроме того, выделенный элемент испытывает напряжения сдвига, так как материал, находящийся по разные стороны от него, стремится к сдвигу в противоположных направлениях.

Таким образом характер напряжений в произвольно выбранном элементе. Картина упростится, если выделить иначе ориентированный квадратный элемент в данной области. Новый элемент отличается тем, что имеет две важные оси, называемые осями главных напряжений. Преимущество такого выбора

элемента в том, что на его границах нет напряжений сдвига. Имеются только напряжения, перпендикулярные его краям. Ориентация осей главных напряжений и выявляется на снимках нагруженной модели, сделанных в поляризованном свете.

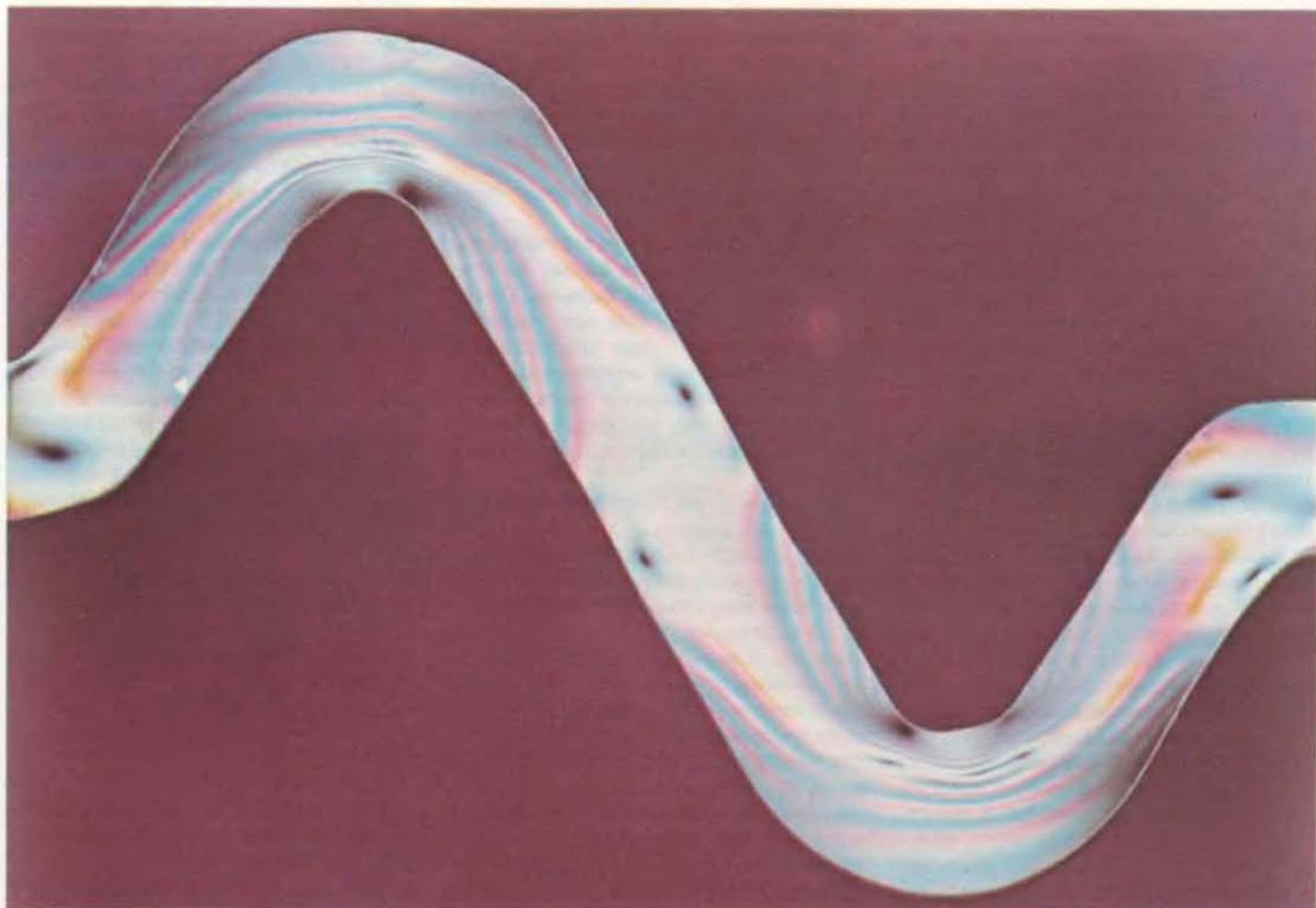
Чтобы понять метод, используемый Сьюфертом, необходимо уяснить себе природу поляризованного света. Согласно классической физике, свет — это электромагнитные волны. Особенность этих волн в том, что мы не можем видеть волновое движение. Иное дело — волны на воде; это явление, зрительно воспринимаемое как колебания поверхности воды, кажется нам понятным. В световой же волне мы имеем дело с колебаниями незримых и неосознаваемых электрических и магнитных полей.

Поляризация света определяется электрическими составляющими волны. Электрическое поле в данной точке можно представить вектором определенной длины и направления (см. средний рисунок на стр. 99). Такое представление облегчает анализ поведения заряженной частицы, помещенной в данную точку. С помощью векторов можно также описать световую волну.

Средний рисунок на стр. 99 — это как бы моментальные снимки световой волны. На этом рисунке векторы указывают величину и направление электрического поля в точках вдоль луча, который показывает направление распространения света. Выделим одну из этих точек. На первом моментальном снимке вектор в этой точке направлен вверх. На положительно заряженную частицу в этой точке действовала бы направленная вверх сила, пропорциональная длине вектора.

Свет продолжает распространяться вправо и после того, как сделан первый моментальный снимок. Электрическое поле в выбранной точке быстро изменяется, буквально со скоростью света. Изменения позволяют проследить второй моментальный снимок. Электрический вектор в рассматриваемой точке теперь направлен вниз. Поскольку длина его уменьшилась, то и электрическое поле в этой точке также уменьшилось. На положительно заряженную частицу в этой точке теперь действовала бы сила, направленная вниз и пропорциональная длине вектора.

По мере распространения волны электрические векторы колеблются, периодически изменяясь по величине и направлению. Следует, однако, понимать, что векторы не есть нечто вещественное. Они не торчат во все стороны из луча, как колючки на стебле розы. Векторы — это воображаемые направленные отрезки, в данном случае исходящие из точек, принадлежащих лучу.



Две пластмассовые модели Сьюферта, подвергнутые действию сил сжатия.

Хотя электрические векторы существуют лишь в воображении, без них, пожалуй, нельзя уяснить, что такое поляризация света. На двух рассмотренных выше моментальных снимках световой волны электрические векторы лежат в плоскости страницы. В световых волнах, испускаемых большинством источников света, колебания не упорядочены — они совершаются в различных плоскостях. Векторы, конечно, перпендикулярны световому лучу, но в плоскости, перпендикулярной ему, они могут быть направлены как угодно. Такой свет называется неполяризованным.

После прохождения света через поляризационный фильтр колебания векторов происходят только в одной плоскости. Такой свет называется плоскополяризованным (или линейно-поляризованным). Если на фильтр падает неполяризованный свет электролампы, то электрические векторы света, прошедшего через фильтр, параллельны одной оси и лежат в плоскости, перпендикулярной лучу. Направление этой оси есть направление поляризации света. Если ось вертикальна, говорят, что свет вертикально-поляризован.

Поляризационные фильтры действуют по принципу исключения. В фильтре имеются молекулярные цепи, которые можно представить себе как длинные параллельные друг другу поглотители. Когда на них падает свет, электрические векторы, параллельные им, «исключаются», перпендикулярные векторы «пропускаются».

Например, если длинные молекулы фильтра вытянуты горизонтально (параллельно оси x), то исключаются только горизонтальные составляющие электрических векторов световой волны. На нижнем рисунке на стр. 99 четыре вектора условно представлен неполяризованный свет. Фильтр не пропускает колебания в горизонтальной плоскости, но пропускает в верти-

кальной. В результате получается вертикально-поляризованный свет.

Ориентация молекул в фильтре не указывается изготовителем. Вместо этого фильтр характеризуется осью поляризации, перпендикулярной молекулам. Эта воображаемая ось параллельна плоскости поляризации прошедшего света.

Предположим, что луч вертикально-поляризованного света падает на второй поляризационный фильтр. Пройдет он через него или нет, зависит от направления оси поляризации фильтра. Если она вертикальна, т.е. параллельна плоскости поляризации падающего света, то фильтр пропустит его. Если же горизонтальна, свет не пройдет.

Когда свет, распространяющийся в воздухе со скоростью $3 \cdot 10^8$ м/с, падает в какой-либо прозрачный материал, его скорость уменьшается. Связано это с тем, что свет взаимодействует с молекулами, встречающимися на его пути. Каждый раз, когда на его пути оказывается молекула, она поглощает свет и через определенный момент вновь испускает его. В промежутках между молекулами скорость света равна $3 \cdot 10^8$ м/с, т.е. его скорости в вакууме. Но поскольку он время от времени задерживается молекулами, в материале он проходит то же самое расстояние дольше, чем в вакууме. Поэтому в материале он распространяется медленнее.

Это явление получило косвенную количественную оценку еще тогда, когда о молекулах ничего не было известно. Чтобы как-то систематизировать данные о нем, всякому прозрачному веществу приписали определенное число, называемое показателем преломления. В стекле с показателем преломления 1,6 свет распространяется медленнее, чем в стекле с показателем преломления 1,5. (В обоих случаях фактическое время прохождения света через стекло

невероятно мало, так что разница не имеет практического значения.)

В 1816 г. Д. Брюстер обнаружил, что показатель преломления дает возможность судить о напряжениях в прозрачном веществе. Он установил, что если создавать напряжения в тонкой стеклянной пластинке, освещаемой плоскополяризованным светом, то показатель преломления зависит от ориентации плоскости поляризации.

Представим себе вертикальную стеклянную пластинку, равномерно сжимаемую силами, приложенными сверху и снизу, так что оси главных напряжений — это вертикаль и горизонталь. Когда свет, падающий на стекло, вертикально-поляризован, для него показатель преломления меньше, чем для горизонтально-поляризованного света, и он распространяется быстрее. Если же к этой стеклянной пластинке приложены сверху и снизу растягивающие усилия, то наблюдается обратная картина. Материал, в котором скорость распространения света зависит от ориентации плоскости поляризации, называется двулучепреломляющим или просто двупреломляющим.

Покажем на простом примере, как явление двойного лучепреломления помогает исследовать напряжения в прозрачных материалах. Вертикально установленную пластмассовую пластинку равномерно сожмем, так чтобы осями главных напряжений были вертикаль и горизонталь. Взаимодействие поляризованного света с пластинкой зависит от того, совпадает ли первоначальное направление поляризации света с одной из этих осей. Такого совпадения можно добиться, если освещать пластмассовую пластинку через поляризационный фильтр с вертикальной осью поляризации. По другую сторону пластинки поставим другой поляризационный фильтр — с горизонтальной осью. Первый фильтр часто называют

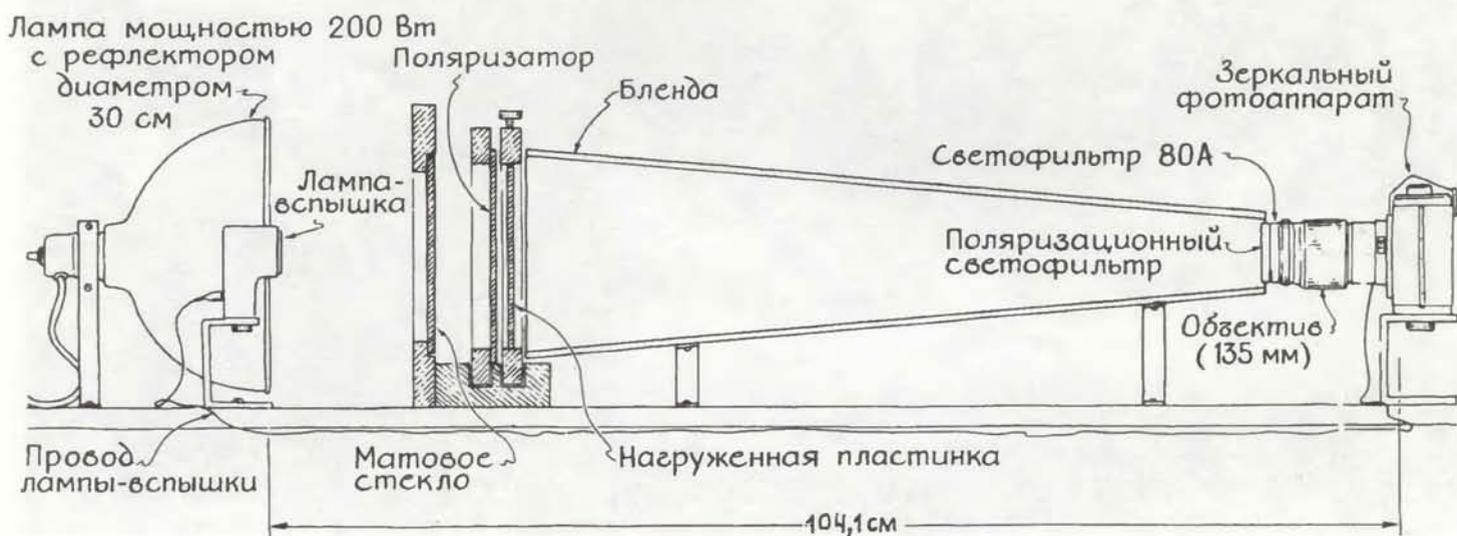


Схема установки, используемой Сьюфертом.

поляризатором, а второй — анализатором; при таком соотношении осей поляризатор и анализатор называются скрещенными.

Скорость прохождения света через пластмассовую пластинку зависит от возникших в ней напряжений. На выходе из пластинки свет по-прежнему вертикально-поляризован, и анализатор его не пропускает. Наблюдатель, глядя через анализатор, видит темное поле. В нашем примере свет не будет проходить через анализатор, если он поляризован в плоскости, параллельной какой-либо оси главных напряжений, поскольку поляризатор и анализатор скрещены.

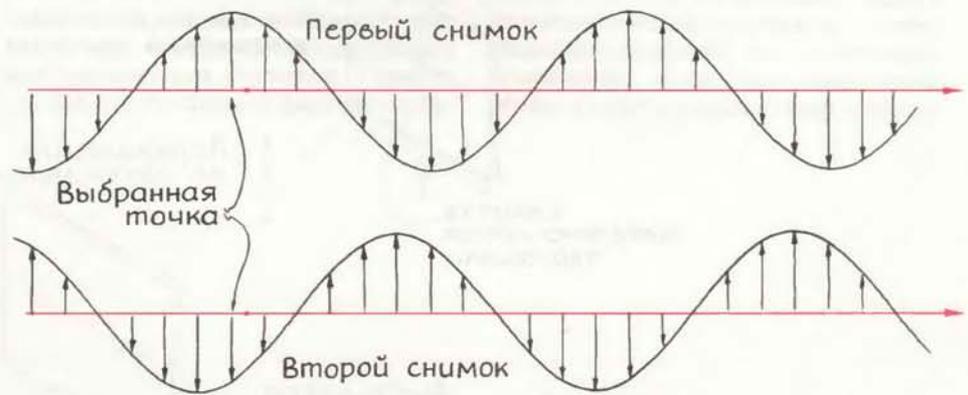
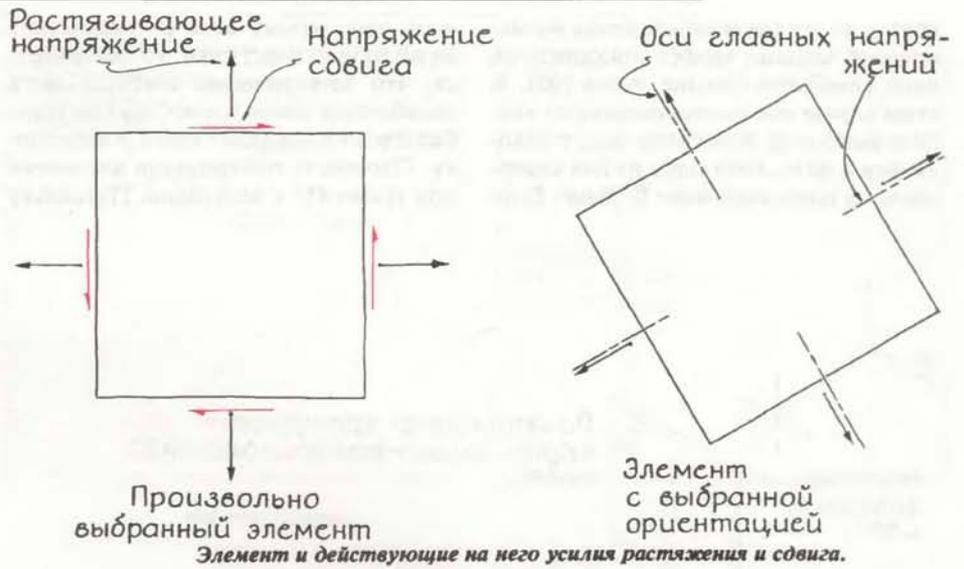
Повернем оба фильтра на 45° в одном и том же направлении. Теперь на пластинку падает свет, плоскость поляризации которого составляет угол 45° с вертикалью. В этом случае необходимо учитывать две составляющие, параллельные осям главных напряжений. Эти две составляющие проходят через пластинку с разными скоростями, поскольку показатели преломления вдоль двух осей неодинаковы.

На выходе из пластинки составляющие вновь объединяются (рекомбинируют), при этом направление поляризации света может оказаться иным. Пройдет свет через анализатор или нет, это зависит от того, как изменилась поляризация.

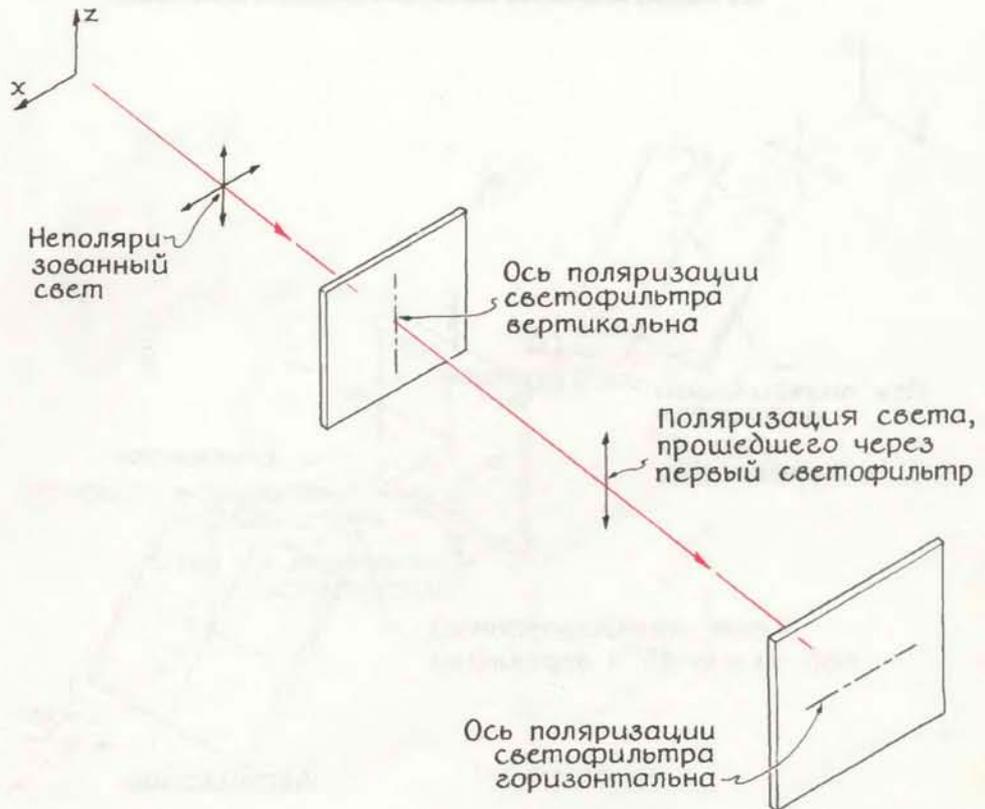
Чтобы определить изменение поляризации, необходимо знать, на сколько пластинка изменяет длину волны света. Предположим, что свет имеет одну длину волны. При переходе света из воздуха в прозрачный материал его длина волны уменьшается. Чем больше показатель преломления материала, тем в большей степени уменьшается длина волны.

Поскольку в нагруженной пластмассовой пластинке каждой оси главных напряжений соответствует свой показатель преломления, уменьшение длины волны зависит от поляризации света. Если свет вертикально-поляризован, то его длина волны делится на показатель преломления, соответствующий вертикальной оси главных напряжений. Если он горизонтально-поляризован, то длина волны делится на показатель преломления, соответствующий горизонтальной оси. Если же плоскость поляризации проходит между двумя осями, то приходится рассматривать обе составляющие. Длина волны вертикальной составляющей уменьшается на одну величину, а горизонтальной — на другую.

Проходя через пластинку с разной длиной волны, две составляющие совершают за время прохождения разное число колебаний. Например, составляющая, поляризованная параллельно вертикальной оси главных напряжений, может совершить 1000 колебаний;



Моментальные снимки электрических векторов в луче света.



Действие скрещенных поляризационных светофильтров.

другая же составляющая, длина волны которой меньше, может совершить на одно колебание больше, всего 1001. В этом случае обе составляющие на входе и выходе из пластинки будут находиться в фазе, хотя одна из них совершила на одно колебание больше. Если

вычислить сумму двух составляющих на выходе из пластинки, то оказывается, что электрические векторы света колеблются точно так же, как они колебались до вхождения света в пластинку. Плоскость поляризации наклонена под углом 45° к вертикали. Поскольку

поляризационные фильтры скрещены, свет, падающий на анализатор, гасится.

Если же одна составляющая отличается от другой на половину колебания, то плоскость поляризации повернется на 90° . Эта плоскость параллельна поляризационной оси анализатора, и свет пройдет через него.

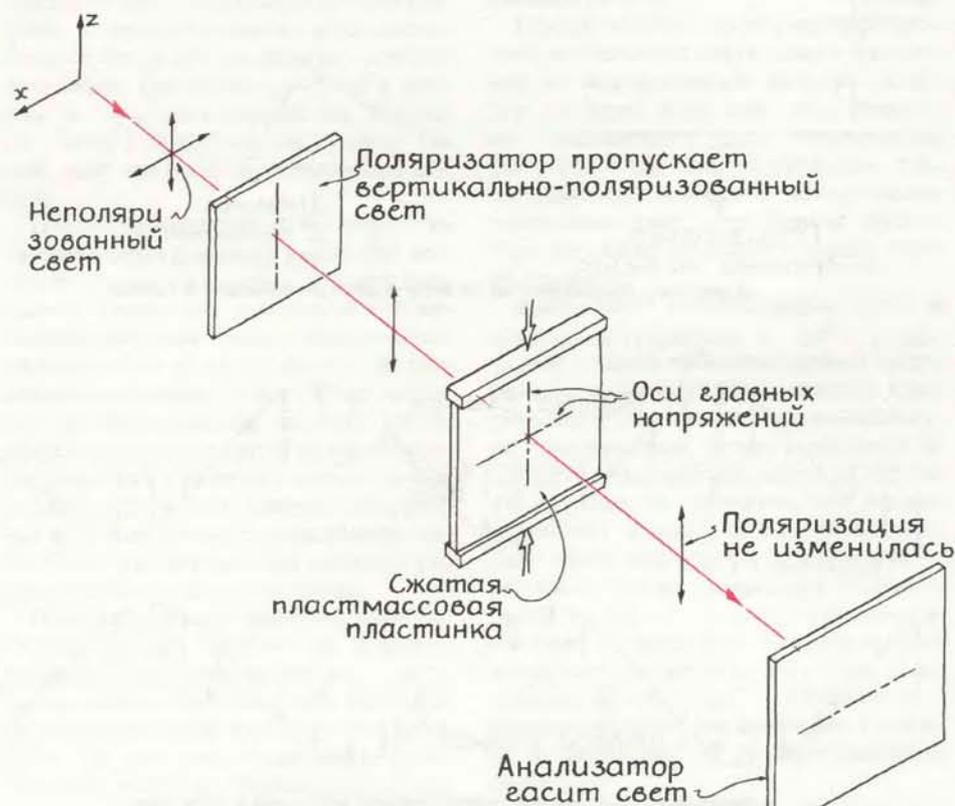
Возможны также и промежуточные варианты. В этом случае электрический вектор меняется таким образом, что его конец описывает эллипс, поэтому составляющие не дают плоскополяризованного света и ось поляризации непрерывно вращается вокруг светового луча. Свет с вращающимся электрическим вектором называется *эллиптически-поляризованным*. (В частном случае, когда длина электрического вектора при вращении не меняется, свет называется *поляризованным по кругу*.) Эллиптически-поляризованный свет частично пропускается анализатором. Через него проходит та составляющая, которая параллельна поляризационной оси анализатора, другие же составляющие гасятся.

Суть всего сказанного в следующем: то, что наблюдатель увидит через анализатор, зависит от угла между плоскостью поляризации и какой-нибудь осью главных напряжений. При совпадении поляризации с одной из осей анализатор не пропустит света. Если из пластинки выходит свет с неизменной поляризацией, не совпадающей с одной из указанных осей, то анализатор также не пропустит его. Во всех других случаях какая-то часть света будет проходить через анализатор.

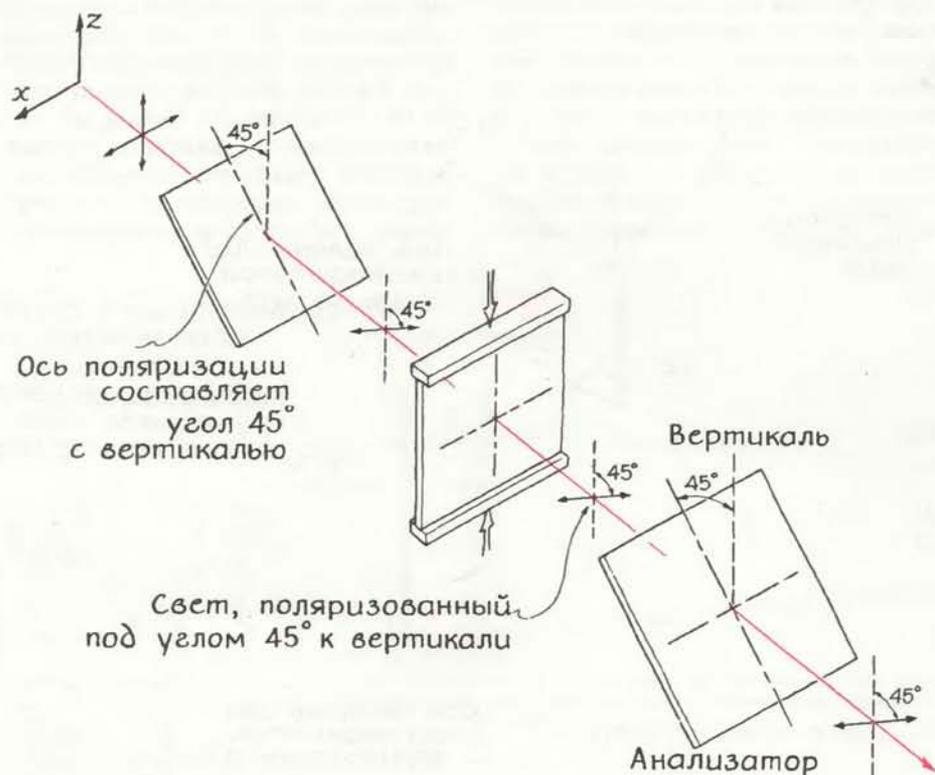
Мы рассмотрели простейший случай, когда напряжения однородны и оси главных напряжений в любой точке пластмассовой пластинки совпадают с вертикалью и горизонталью. Если же пластинку подвергнуть действию неравномерных напряжений, то в каждой ее точке будут ориентированы по-разному. Цель поляризационно-оптического метода исследования состоит в определении их ориентации. Результаты позволяют указать сечение, в котором разрушение наиболее вероятно. Когда в пластинке имеется сложное распределение напряжений, то при наблюдении ее через анализатор в ней заметен рисунок из темных и светлых линий, называемых полосами.

Темным полосам соответствуют точки, свет из которых не проходит через анализатор. Этот свет либо поляризован параллельно одной из осей главных напряжений, либо имеет составляющие (параллельные обеим осям главных напряжений в данной точке), которые при рекомбинации дают свет с той же поляризацией, что и на входе в пластинку. В обоих случаях анализатор гасит свет.

Свет, поляризованный параллельно



Ось главных напряжений параллельна плоскости поляризации.



Плоскость поляризации составляет угол 45° с вертикалью.

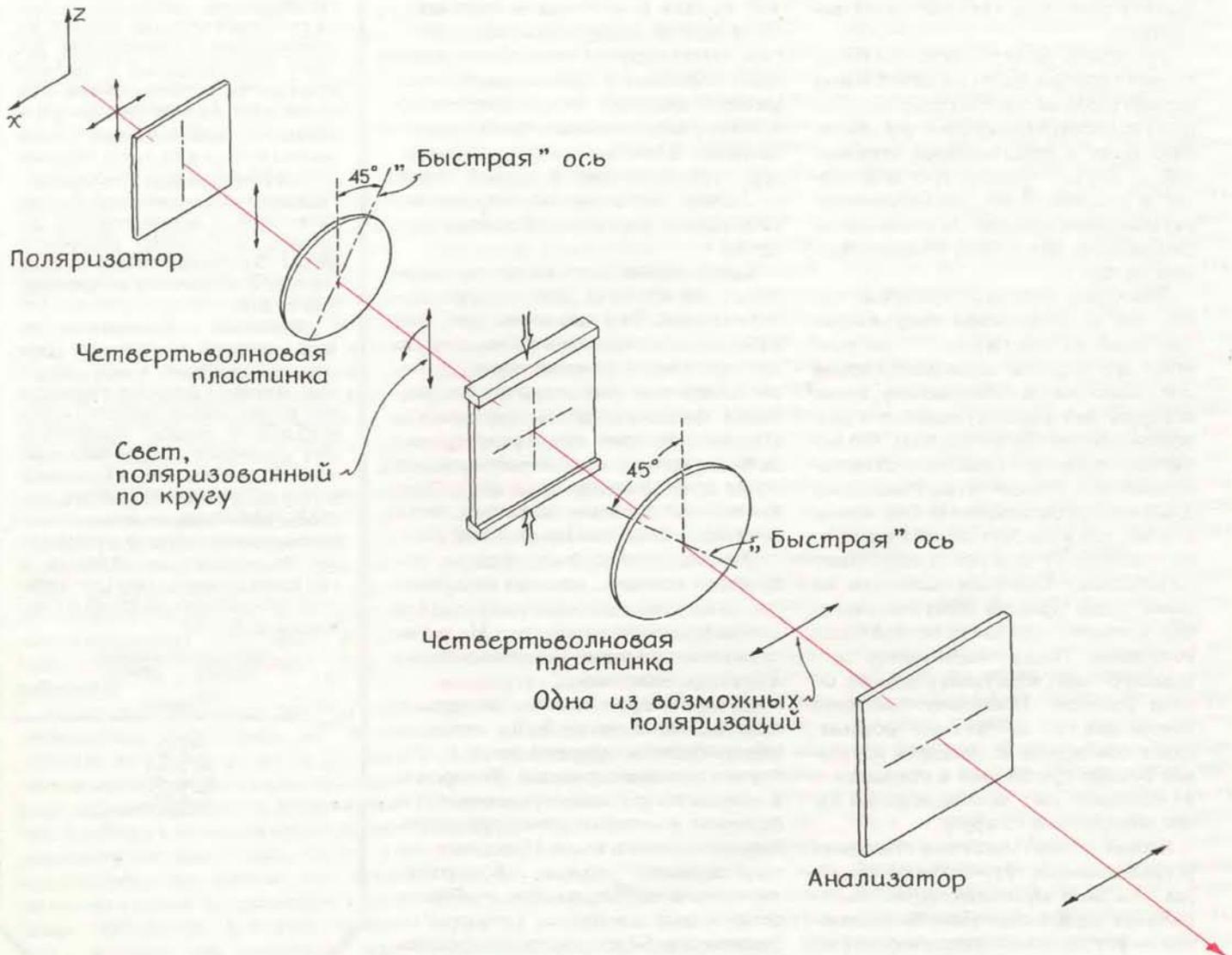


Анализ изоклин.

одной из осей главных напряжений, обычно дает бóльшую часть полос. Полосы называются изоклинами. Система изоклин выявляет ориентацию осей главных напряжений в нагруженной пластинке.

Чтобы получить распределение осей главных напряжений, пластинка фотографируется через анализатор при какой-либо определенной ориентации поляризационных фильтров. Предположим, что ось первого фильтра верти-

кальна, а второго — горизонтальна. Таким образом, на пластинку падает вертикально-поляризованный свет. Изоκлины на снимке, сделанном через анализатор, позволяют определить точки, в которых одна из осей главных



Отделение изоклин от изохром.

напряжений вертикальна. (Поскольку две оси главных напряжений образуют прямой угол, другая ось горизонтальна.) Систему изоклин переносят на бумагу и в нескольких точках проводят оси главных напряжений.

Затем фильтры поворачивают, скажем на 10° , и делают другой снимок. Новые изоклины добавляют к перенесенным ранее на бумагу и в них тоже в нескольких точках проводят оси главных напряжений. После того как сделано еще несколько снимков, получается диаграмма, показывающая, как ориентированы оси главных напряжений в разных точках пластинки.

На диаграмме проводят линии, соединяющие точки, в которых напряжения одинаковы. Линии эти, вероятно, будут искривленными. В результате получается приблизительная картина линий главных напряжений.

Темные полосы, обусловленные комбинацией двух составляющих света, называются изохромами. Их можно использовать для определения величины главных напряжений, выявленных с помощью изоклин. Трудность, однако, состоит в том, что изохромы маскируются изоклинами. Поэтому их сначала требуется «отделить» от последних.

Это можно сделать, поместив на пути света еще два фильтра, называемых четвертьволновыми пластинками. Одна из них устанавливается между поляризатором и пластмассовой пластинкой, а другая — между этой пластинкой и анализатором. Четвертьволновая пластинка превращает плоскополяризованный свет в свет, поляризованный по кругу.

Пластинка действует примерно так же, как и исследуемая нагруженная пластинка из пластмассы. У нее имеются две взаимно перпендикулярные оси («быстрая» и «медленная»), вдоль которых свет распространяется с разной скоростью. Предположим, что поляризатор дает вертикально-поляризованный свет. Первая четвертьволновая пластинка устанавливается так, чтобы ее «быстрая» ось составляла угол 45° с вертикалью. Тогда у света, падающего на пластинку, будут составляющие по обеим осям. Проходя через пластинку, они успевают совершить разное число колебаний. Поляризация света, прошедшего через пластинку, зависит от этой разницы. Поскольку пластинка рассчитана так, чтобы одна составляющая совершила на четверть колебания больше другой (чем и объясняется их название), свет на выходе из нее будет поляризован по кругу.

Вторая четвертьволновая пластинка устанавливается так, чтобы ее «быстрая» ось была перпендикулярна «быстрой» оси первой пластинки. Ее назначение — устранить четвертьволновую разность, которую приобрели две со-

ставляющие света благодаря первой пластинке. Таким образом, когда поляризованный по кругу свет проходит через нагруженную пластмассовую пластинку, поляризация не может быть строго параллельной какой-либо оси главных напряжений. Поэтому изоклины не образуются и через анализатор видна лишь система изохром.

Преимущество такой картины в том, что полосы на ней связаны с определенными значениями напряжений в нагруженной пластинке. В каждой ее точке поляризация света определяется разностью главных напряжений. От этой разности и зависит, будет ли данная точка принадлежать темной или светлой полосе. В принципе по изохромам можно рассчитать напряжения в любой точке пластинки.

Поскольку картина изохром зависит от уменьшения длины волны двух составляющих света, проходящих через пластмассовую пластинку в любой точке, она зависит и от длины волны света, падающего на пластинку. В случае белого света каждый цвет спектра дает свою картину. Свет того или иного цвета, выходящий из данной точки пластинки, может быть поляризован так же, как и до входа в пластинку. Этот свет не пропускается анализатором. Однако другие цвета, проходящие через пластинку в той же самой точке, немного изменяют свою поляризацию и потому лишь частично гасятся анализатором. Поэтому наблюдатель видит, что пластинка в данной точке окрашена. Точки одного и того же цвета образуют картину окрашенных изохром.

Какой именно цвет увидит наблюдатель в той или иной точке, трудно сказать заранее. Это зависит от того, как изменяется поляризация разных цветов спектра. Имеет значение также цветовое восприятие у наблюдателя или цветовая чувствительность фотопленки. Предсказать цвет тем труднее, чем больше разности напряжений в каждой точке пластмассовой пластинки. При достаточно больших разностях цвета начинают «смешиваться» в белый свет.

Снимки, сделанные Сьюфертом, получены в условиях, когда на нагруженную пластмассовую пластинку падает плоскополяризованный свет. На снимках имеются и черно-белые изоклины, и цветные изохромы.

На стр. 97 представлены два снимка пластмассовых деталей, по которым можно судить о напряжениях в их вогнутых и выпуклых частях. Изохромы в этих частях сгущаются, что говорит о быстром изменении разностей напряжений от точки к точке. Поскольку модели сжимаются силами, действующими слева и справа, вогнутые области испытывают сжатие, а выпуклые — растяжение. Более ровное распределение цвета в неискривленных частях об-

разца указывает на то, что напряжения здесь распределены относительно равномерно.

Поляризационные светофильтры и четвертьволновые пластинки для фотосъемки подобного рода можно приобрести у фирмы Edmund Scientific Co. или Jeryco, Inc.

Издательство МИР предлагает:

С. Шерп ЭЛЕКТРОННЫЕ ДИСПЛЕИ

Перевод с английского

В предлагаемой монографии рассматриваются принципы работы, схемы, конструкции и характеристики дисплеев, проводится всесторонний анализ их преимуществ и недостатков, даются рекомендации о целесообразности использования дисплеев для решения тех или иных задач. К достоинствам книги можно отнести то, что в ней обобщен обширный фактический материал, опубликованный в многочисленных периодических изданиях и отчетах различных фирм. Это делает книгу весьма полезной в научном и прикладном плане.

Книга не претендует на исчерпывающее освещение всех рассматриваемых в ней вопросов. Автор стремился провести как можно более широкий сравнительный анализ существующих и перспективных дисплеев, а также систем и оборудования, в которых они используются, чтобы дать специалистам достоверную информацию о возможности конкретных образцов и тем самым помочь при составлении технических заданий на новые разработки.

1982, 624 страницы
с иллюстрациями.

Цена 3 р.



Книги

Человек и приматы;
воспоминания Хидэки Юкавы;
альбом аэрофотоснимков;
биологические минералы

ФИЛИП MORRISON

Р. Т. Пассингхэм. ЧЕЛОВЕК И ПРИМАТЫ
THE HUMAN PRIMATE, by R. T. Passingham. W. H. Freeman and Company (\$ 19.95)

«ЕСЛИ когда-нибудь обезьяны научатся читать, я надеюсь, из этой книги они узнают, как стать людьми». Так пишет ее автор, невропатолог и психолог из Оксфорда, специалист по приматам. В его фундаментальном и в то же время изящно написанном обзоре читатель найдет ответы на многие «вечные» вопросы. Что есть человек? В чем его уникальность? Чем он отличается от своих сородичей — обезьян? Книга хорошо документирована, рассуждения автора построены не просто на гипотезах и предположениях, а на результатах современных экспериментальных данных. И все-таки многие проблемы еще ждут своего исследователя.

Один из графиков отчетливо демонстрирует, сколь роковыми могут оказаться биологические различия (конечно, если речь идет о видовых особенностях, а не о половом диморфизме). На рисунке показано развитие мозга у человека и у шимпанзе. На том участке, который соответствует изменениям мозга у эмбриона вскоре после зачатия, обе кривые круто поднимаются вверх, причем почти параллельно, и через некоторое время достигают пологого участка. Затем, незадолго до рождения, у шимпанзе рост мозга явно замедляется, а у человека нет; более того, на протяжении последующих двух лет развитие мозга ребенка продолжается с той же скоростью, что и во внутриутробный период. Так формируется одно из ключевых отличий: мозг взрослого человека втрое больше, чем у шимпанзе.

Автор не пренебрегает таким ориентировочным показателем, как абсолютный вес мозга (отчасти потому, что он пользуется им в своих собственных экспериментальных исследованиях). Вообще-то вес мозга прямо пропорционален весу животного, но у нас и у человекообразных обезьян мозг относительно крупнее по сравнению с низшими обезьянами, а у этих последних — крупнее, чем у остальных мле-

копитающих. Приматы — мудрый народец. Кстати сказать, морские млекопитающие тоже; правда, почему это так, мы пока не знаем — ясно лишь, что странные тела у них совершенно иное.

У человека мозг устроен так же, как у приматов. Зависимость объема неокортекса (т.е. серого вещества) от объема всего мозга одна и та же во всех группах — от лемура до венца творения *Homo sapiens*. Конечно, у нас в мозгу побольше серого вещества, но только потому, что и весь мозг больше — ведь, чем он крупнее, тем больше и объем неокортекса. Число клеток в цилиндрическом кусочке коры на данной площади одинаково у всех млекопитающих. У животных с крупным мозгом плотность нервных клеток меньше, что дает место многочисленным связям между ними, но зато кортикальные слои толще. Даже у наших предков, австралопитеков, живших около 2 млн. лет назад, объем мозга был в среднем больше, чем у современных шимпанзе, хотя у отдельных шимпанзе этот показатель и превосходит среднее значение для ископаемых гоминид. Лишь когда дело касается таких тонких процессов, как контроль над речью и функциональная асимметрия полушарий, можно говорить о том, что деятельность мозга у шимпанзе и у человека различается сильнее, чем кажется поначалу. У низших обезьян удаление одного из полушарий мозга практически не отражается на способности решать даже очень сложные задачи.

Дальнейший сравнительно-анатомический анализ человека и антропоморфных обезьян, по существу, только подтверждает глубокое сходство. Так, у человека и у шимпанзе весьма сходно восприятие окружающего мира. И те и другие не очень хорошо чувствуют запахи и не воспринимают высокочастотные звуковые колебания, зато обладают хорошо развитым осязанием, различают цвета при дневном свете, оценивают расстояние и глубину с помощью стереоскопического зрения. Подобно людям, шимпанзе способны узнать себя в зеркале, понять, что изображено на фотографии. Они могут классифицировать окружающие их

предметы. Шимпанзе и орангутаны без труда с первого же раза выберут тот из двух предметов, который соответствует показанному им образцу. У шимпанзе прекрасно развиты ловкость и точность движений рук. Вообще-то все обезьяны Старого Света характеризуются хорошо развитыми хватательными способностями, но шимпанзе так ловко обращается с предметами, что может приготовить чай или включить свет. Без сомнения, мы это делаем гораздо лучше, и уж конечно, шимпанзе никогда не научится играть на фортепьяно. Прямохождение — еще одно очко в нашу пользу. Представители семейства гоминид стали ходить на двух ногах очень давно — 3 млн. лет назад, а возможно и еще раньше. В книге воспроизводится фотография самки шимпанзе, которая, набрав в руки бананов, передвигается на двух ногах. Обезьяна оценила преимущества такой походки, хотя самое большее, на что она способна, — это пробежать метров пятьдесят.

Тщательный, сделанный на современном уровне анализ сравнительно-анатомических данных занимает около трети книги. Остальная ее часть посвящена обсуждению интеллектуальных способностей обезьян и человека и сопоставлению внутривидовых социальных отношений. На основании многочисленных тестов среди млекопитающих по уровню интеллекта выделяют обезьян. Они оказались самыми умными (даже если допустить, что исследователи, будучи сами приматами, из родственных чувств относились к ним с особым пристрастием; дельфины тоже умные животные, но самая большая похвала по отношению к ним — это то, что их можно сравнить с некоторыми обезьянами). Молодой орангутан по кличке Абанг научился откалывать пластинки от куска кремня и перерезать ими веревку, которой была привязана крышка ящика с едой. Правда, никто не утверждает, что Абанг, подобно палеолитическому человеку, додумался до этого сам: обезьяна просто подражала исследователям, которые демонстрировали перед ней цепочку последовательных действий.

В природе шимпанзе нередко пользуются примитивными орудиями: палками, камнями, веточками, листьями — т.е. предметами, которые есть под рукой. С их помощью они копают, колят, раскалывают, исследуют, собирают воду, роются, подгребают, достают, бросают, сбивают и т.д. У других низших и высших обезьян также наблюдали случаи употребления такого рода орудий. Изготовление орудий, т.е. та или иная обработка либо модификация предметов, а не просто манипуляция готовыми предметами, нередко наблюдается у человекообразных обезьян, живущих в неволе, и иногда,

хотя и в меньшей степени, у их диких сородичей. Можно привести много примеров использования орудий у шимпанзе. Однако не стоит забывать, что подобная деятельность есть даже у птиц; например, голубая сойка отрывает и мнет полоски бумаги, чтобы придвинуть хлебные шарики к краю клетки. Пожалуй, здесь важнее подражание, свойственное, к примеру, японским макакам и еще более характерное для шимпанзе. И опять-таки оно встречается у птиц. Особого внимания заслуживают привычки в общественном поведении. Скажем, позы при обыскивании, распространенные в одной группе шимпанзе, мы никогда не увидим в другой, хотя и обитающей по соседству и в сходных условиях.

В течение столетий считалось, что язык — это тот рубикон, за которым достигается человеческая сущность. Автор приводит таблицу распознаваемых звуков, которые издают шимпанзе в природе. Их 13, в том числе смех, уханье как знак одобрения, вопль «враа», звучащий при виде человека, другого хищника или мертвого сородича. Запас «слов» разнообразен, но это, конечно, далеко не язык. Пассингхэм склонен серьезно относиться к экспериментам последних лет по обучению шимпанзе языку жестов или символов, хотя и ясно, что проблема еще не решена. Дети, учась говорить, активно стремятся к этому, они прямо-таки жаждут слов и общения, а обезьяны, даже если допустить, что они вообще на это способны, усваивают простейшие правила только при долгом и терпеливом «натаскивании».

Несомненно, человеческая культура связана с коллективным опытом, а не с индивидуальным. Моногамия не есть прерогатива человеческого общества. 90% видов птиц моногамны. У многих приматов образуются устойчивые пары, однако никакой закономерности в распространении такого типа отношений среди видов обезьян, видимо, нет. Парочка обезьянок тити с любовно переплетенными пушистыми хвостами — чудесный пример счастливого супружества, — пожалуй, даже более удачный его символ, чем голубиное гнездышко. Тити, как правило, делят растительную пищу между взрослыми и молодыми членами семейства. Дележка мяса, которое иногда удается добыть на охоте, встречается и у шимпанзе. Однако для этих обезьян более характерны группы, построенные по принципу полового доминирования, а не на основе родственных связей. Вот почему одаривание мясной пищей можно рассматривать скорее как пример, так сказать, терпимого отношения к попрошайкам, нежели ритуализованный дележ. Судя по археологическим данным в стадах гоминид, живших около 1,5 млн. лет назад, на некоторых сто-

янках раздел мяса уже происходил. Какова бы ни была наименьшая социальная ячейка, лежавшая в основе сообщества древних гоминид, мы можем предположить, что у них оба пола в большей степени зависели друг от друга в «экономическом» отношении, чем у современных шимпанзе.

В социальной организации животных важную роль играет кооперация, с одной стороны, и конкуренция — с другой. Между группами обезьян иногда происходят столкновения и потасовки, но только человек ведет длительные целенаправленные военные действия. Тщательный анализ материала со всей очевидностью показывает, что воинственность человека не имеет ничего общего ни с «врожденной агрессивностью», как рассматривает ее известный этолог К. Лоренц, ни с «территориальным императивом», ни с системой иерархического доминирования. Дело не в том, что «внутри каждого из нас сидит зверь». Среди приматов воюет только человек, потому что только он способен на это: люди так умны, что уже не дают себе труда подумать о собственном благе. Автор подробно анализирует в исторической перспективе как генетические, так и социальные аспекты поведения и приходит к выводу, что пока какие бы то ни было окончательные выводы преждевременны в силу отсутствия веских доказательств. Поведение зависит и от природных задатков, и от характера воспитания. Людям сейчас была бы близка такая формулировка: история движется как насильственным, так и мирным путем. Однако если учесть, что мирный ход развития человеческого общества на протяжении длительного доисторического периода, судя по всему, не сопровождался заметными генетическими изменениями, то трудно отдать предпочтение социобиологическим объяснениям человеческой природы.

Какие эволюционные задачи стоят перед шимпанзе в будущем? Автор считает, что их мозг будет совершенствоваться в соответствии с тенденциями развития приматов до тех пор, пока они не приобретут способности формулировать и произносить вслух суждения об окружающем мире без побудительного стимула извне. Тогда возникнет новая социальная структура, неведомая нам культура, и человекообразные обезьяны встанут на существование иной путь эволюционного развития. Пожалуй, можно в основном представить, каков будет этот путь. В течение десяти миллионов лет изменения были связаны более с увеличением размеров мозга, нежели с качественной перестройкой его структуры, при этом был пересечен принципиальный рубеж и развился новый, мощный способ умственной деятельности. «Вполне вероятно впрочем, что если перед шим-

панзе и откроется возможность стать человеком, то здравомыслящая обезьяна при одном взгляде на человеческое общество откажется от этой перспективы».

Хидэки Юкава. «ТАБИБИТО» («СТРАНИК»)

HIDEKI YUKAWA: "TABIBITO" (THE TRAVELER). World Scientific Publishing Co., Singapore (\$33)

ХИДЭКИ Огава родился в 1907 г. в одном из районов старого Токио. «Моя память не сохранила ни дома, где я родился, ни окружавшего его сада, весной наполнявшего воздух ароматом цветущей сливы. Лишь по рассказам матери я знаю о самой ранней поре моего детства, и, вероятно, поэтому она представляется мне необычайно прекрасной». Так начинается свои воспоминания пятидесятилетний японский физик, первым из ученых стран Восточной Азии удостоенный Нобелевской премии (1949 г.) и известный всему миру под именем Хидэки Юкава. (Следуя японскому обычаю, он после свадьбы принял фамилию жены, поскольку у нее не было брата — продолжателя рода.) Воспоминания посвящены главным образом детским и юношеским годам и заканчиваются ноябрем 1934 г., когда автор, в то время молодой преподаватель теоретической физики в университете в Осаке, уступая, по его словам, настояниям жены («Ты должен написать статью на английском и показать ее миру»), в короткий срок закончил и опубликовал свою знаменитую статью. Эта работа положила начало физике промежуточных частиц.

Знакомясь с историей семьи Огавы, мы явственно ощущаем дух обновления, охвативший Японию после незавершенной буржуазной революции 1867—1868 гг. В то время как дед Хидэки обучал детей феодального клана Танабе древним конфуцианским канонам, его отец, решивший посвятить себя науке, уже примкнул к движению за распространение европейских знаний и стал студентом Токийского университета. Научные интересы молодого человека определились самым неожиданным образом. Неподалеку от своих родных мест, близ Нагои, он увидел разрушения, вызванные землетрясением в 1891 г. Зрелище катастрофы потрясло юношу и пробудило в нем интерес к геологии. Впоследствии Огава стал известным геологом. После длительного пребывания в Китае в составе экспедиции, организованной на государственные средства с целью изучения минералов этой страны (незадолго до того, как Япония развязала войну с Китаем), отец Хидэки становится преподавателем университета в Киото, а в дальнейшем — его деканом. В этом городе и прошло детство Хидэки, двух

его сестер и четырех братьев (один из братьев погиб во время второй мировой войны, остальные стали известными учеными).

Мальчик рос застенчивым и замкнутым. Любимым его занятием было чтение книг. Математические способности Хидэки обнаружались довольно рано. Однажды старший брат показал ему в учебнике формулу вычисления суммы арифметической прогрессии. Оказалось, однако, что Хидэки, в то время еще не знакомый с основами алгебры, уже придумал собственный способ вычисления этой суммы, который он продемонстрировал брату. Свидетелем этого была мать, и в награду Хидэки получил ее одобрительную улыбку. Отец, не подозревая о редких способностях сына, собирался дать ему обычное техническое образование; лишь благодаря настоятельным просьбам матери Хидэки и вмешательству директора школы он изменил свое решение и отдал сына в университет.

Читатель становится свидетелем того, как мировая культура начинает постепенно проникать в прежде изолированную от остального мира страну. Перед нами Япония, уже открытая новым веяниям, но все еще в тисках старых традиций. Приезжает Эйнштейн, и весь Киото — кроме Хидэки — стремится увидеть и услышать его. Необычайно популярны Достоевский и де Милль*; даже школьное прозвище Хидэки, казавшегося сверстникам несколько странным, заимствовано у Толстого и соответствует образу Иванушки-дурачка. Однако дома мальчика по-прежнему заставляют заучивать древние китайские иероглифы, смысла которых он не понимает. Он прекрасно играет в бейсбол, но плавает в традиционном японском стиле (на выносливость, без учета дистанции). В школьных спектаклях на сюжеты, заимствованные из национальной истории, Хидэки не принимает участия: его семья против таких вольностей.

В школе Хидэки увлекается математикой. Однако после того, как преподаватель отверг его способ доказательства одной из теорем лишь потому, что он отличался от приведенного на уроке, Хидэки решил, что «наука эта не для него». Так как он был плохим чертежником, карьера инженера была для него закрыта. Отец сделал попытку заинтересовать его геологией, но мальчик, обладая прекрасным логическим мышлением, не проявляет склонности к наукам, требующим прежде всего наблюдения и запоминания. Он так и не смог прочитать до конца учебник на английском языке, который отец оты-

скал для него в своей библиотеке. Выбор юноше помогли сделать две случайно попавшие в его руки книги немецких ученых Рейха и Планка по квантовой теории: Хидэки принимает решение посвятить себя физике.

Перед нами фотография: приглашенный профессор Отто Лапорт из Мичигана в окружении студентов физического факультета университета в Киото, в числе которых Хидэки и его лучший друг Синитиро Томонага, получивший Нобелевскую премию через несколько лет после Юкавы. В университете Хидэки захвачен «духом Копенгагена», которым проникнуты лекции по квантовой механике по-отечески доброжелательного Йошио Нисины.

Далее следует описание свадьбы Хидэки и Суми Юкавы, брак которых, по традиции задуманный родителями, оказался прочным и счастливым. Молодой физик, уже получивший степень доктора философии, по рекомендации Хидецугу Яги (изобретателя антенны, носящей его имя) получает место преподавателя в недавно открытом университете в Осаке. Однако особых лекторских способностей Юкава не проявил: ему с трудом удавалось завладеть вниманием аудитории, а его тихий монотонный голос навевал на слушателей сон.

В этот период Юкава полностью поглощен идеей создания теории ядерных сил. Первая научная работа Юкавы была посвящена проблеме магнитного взаимодействия между электроном и ядром, но оказалось, что в решении этой проблемы его уже опередил Ферми. Далее Юкава делает попытку объяснить природу ядерных сил на основе механизма переноса ядерного взаимодействия электроном и нейтрино. Но и на этот раз Ферми опережает исследователей из Осаки. Однако Юкава продолжает работать над решением проблемы ядерных сил.

Однажды Хидэки был вынужден оставаться в течение нескольких дней в своем новом загородном доме в 15 км от шумных улиц Осаки. Осенний шторм, повалив множество деревьев, сделал дорогу в город непроезжей. В те дни Суми родила второго ребенка, с которым было много хлопот. В одну из бессонных ночей Хидэки приходит в голову новая идея: короткодействующие ядерные взаимодействия происходят в результате обмена еще не известными частицами. Масса этих частиц должна в 200—300 раз превышать массу электрона. Юкава рассказал о своей идее коллегам. «Если такая заряженная частица существует, она должна оставлять след в камере Вильсона», — заметил один из них. «Да, — ответил Юкава, — и эту частицу можно попытаться обнаружить в космических лучах».

Через несколько лет ученым удалось

обнаружить эту частицу, которая была названа пи-мезоном. А простое уравнение Юкавы послужило толчком к возникновению нового направления в физике элементарных частиц — мезонной динамики.

Предисловие к воспоминаниям Юкавы, написанное Брауном из Северо-Западного университета, дает общую картину развития физики в Японии в описываемый период. Книга выпущена в свет на английском языке новым сингапурским издательством, специализирующимся на сравнительно недорогом издании научной литературы главным образом для студентов в странах Восточной Азии.

Автор настоящей рецензии лично знаком с Хидэки и Суми Юкавой; первая встреча произошла в 1945 г. в Японии, война для которой окончилась столь трагично. Молодой американский физик, носивший тогда форму офицера оккупационных войск, со смешанным чувством триумфа и вины переступил порог их дома в Киото, где ему был оказан теплый прием. Устроенная в честь гостя традиционная чайная церемония ознаменовала наступление мира.

Бернард Стоунхауз. БРИТАНИЯ: ВИД СВЕРХУ

BRITAIN FROM THE AIR, by Bernard Stonehouse. Crown Publishers, Inc. (\$30)

Уильям Гарнетт. НЕОБЫЧНЫЙ ПЕЙЗАЖ: АМЕРИКА С ВОЗДУХА

THE EXTRAORDINARY LANDSCAPE: AERIAL PHOTOGRAPHS OF AMERICA, by William Garnett. New York Graphic Society, Little, Brown and Company (\$60)

ФОТОГРАФИЯ допотопного биплана, с которого производились первые аэрофотосъемки, напоминает о том, что рождение компании Aero-films, Ltd. относится к началу нашего столетия. С тех пор ею была собрана не имеющая себе равных коллекция аэрофотоснимков Британских островов. Из этого поистине необъятного архива Стоунхауз, опытный пилот и известный специалист в области экологии, отобрал для данного альбома лучшие цветные снимки, сделанные в основном за последние десять лет. Каждая фотография снабжена кратким комментарием, кроме того, к альбому приложена карта Великобритании, на которой обозначены места съемки от острова Джерси на юге до Шотландского нагорья на севере. В среднем семь из каждых восьми снимков дают возможность увидеть с высоты птичьего полета то, что создано трудом человека; остальное — пейзажи, дело рук природы.

Перед нами серия снимков знаменитых мостов в Великобритании, подлинных памятников в истории инже-

* Сесиль де Милль (1881—1959) — американский кинорежиссер, создатель «психологических» фильмов. — *Прим. перев.*

нерного искусства. Эту серию открывает отлитый из чугуна мост в Ковлбрукдейле — шедевр Абрахама Дерби*. Построенный около 200 лет назад, он до сих пор связывает берега неширокого голубого Северна. Первый из современных висячих мостов, спроектированный Томасом Телфордом, как бы парит над проливом Менаи-Стрейт в Северном Уэльсе; правда, огромная железная цепь, до недавнего времени несшая всю нагрузку, заменена теперь стальными тросами. В расположенном неподалеку местечке Конуи на гранитном мысу по соседству с очаровательным замком XIII в. находятся три замечательных памятника Викторианской эпохи: другой висячий мост Телфорда и два металлических путепровода, построенных по проекту Роберта Стефенсона**. Внутри каждого из них проходит по одной колее железной дороги.

А вот цепной мост через Эйвон ниже Бристола, сооруженный Изамбаром Брюнелем*** из старых цепей. Рядом с железнодорожным мостом через залив Ферт-оф-Форт в Шотландии на том же снимке едва различим в тумане построенный неподалеку изысканный современный висячий мост, по которому проходит автострада. Берега Северна в широком устье реки соединяет еще один висячий мост.

Фотография из следующей серии уводит нас в глубь веков. Четыре тысячи лет назад племена, обитавшие на территории современного графства Норфолк, изготавливали кремневые орудия труда. Сырье для этого производства добывалось тут же. На поле у Грайм-Грейвз повсюду видны заросшие растительностью отвалы и засыпанные землей меловые карьеры глубиной около 6 м, в которых древние рудокопы добывали кремний кирками из оленьего рога. Немногим позже был построен металлический комплекс в Эйвбери (неподалеку от знаменитого Стоунхенджа), на Солсберийской равнине. Только с самолета можно полностью охватить взглядом эти гигантские концентрические круги, внутри которых расположилась сама деревня Эйвбери. И только с воздуха видна целиком гигантская фигура «богини — дикой лошади» в Беркшир-Даунз, контуры которой намечены полосой белого известняка, там где удален по-

крывавший его дерн. На этом же снимке видны остатки укрепления эпохи железа. О периоде римского господства в Британии напоминает каменная крепость в Хаустедсе. Здесь проходил знаменитый вал Адриана*, а в крепости размещался отряд легионеров.

Интересны также снимки известных университетских городов страны. Здесь и Оксфорд, величественно раскинувшийся вокруг здания Библиотеки Радклиффа с его большим куполом; и Кембридж, в центре которого видна капелла Кингз-Колледж (фотография сделана с противоположной стороны реки Кем); и Итон-Колледж, окруженный знаменитыми площадками для игр. Далее следуют индустриальные пейзажи: металлургические заводы, шахтерские городки, огромная тепловая электростанция, которую клубы пара, поднимающиеся из восьми градирен, делают достойной кисти Тернера. Составитель не обошел вниманием и типичные для его страны картины: домики в английском стиле, площадки для крикета, толпы болельщиков, покидающих стадион «Уэмбли» после окончания финального матча. Один из снимков запечатлел нагромождение машин в результате столкновения в туманный день на одном из участков крупной автострады.

Среди картин природы особенно хороши снимки знаменитых меловых скал Альбиона, вознесенных на сотни метров над зелеными лугами. Однако все снимки превосходит по мастерству фотография Пула**: силуэты кораблей, барж и мостов на фоне позолоченной заходящим солнцем Темзы. Этот снимок мог бы послужить отличной иллюстрацией к любой из книг Конрада.

Для Уильяма Гарнетта, автора второй книги, аэрофотосъемка не ремесло, а искусство. На небольшом самолете он один налетал миллионы километров, сделал множество снимков. Больше всего его привлекают красоты природы. Лишь изредка на его фотографиях запечатлены одинокие фигуры людей, что придает им сходство с пейзажами китайских живописцев. О присутствии человека говорят и распаханное поля с их хорошо заметными контурами борозд.

Фотографии, собранные в этом альбоме (который можно смело назвать шедевром американского книгопечатания), делятся на две большие группы, не уступающие друг другу по мастерству. К первой относятся обычные пейзажи. Возьмем хотя бы фотографии из

вержения вулкана Бейкер — конус газа на фоне ледников — или более чем стакилометровой старицы реки Миссисипи, сверкающей в лучах заходящего солнца (Гарнетт снимает с высоты от 30 метров до 6 километров). Другая группа — это снимки, представляющие собой игру форм и красок, которые напоминают полотно художника-абстракциониста. Стоит взглянуть, например, на пучки коричневых выгоревших на солнце водорослей, плывущих по синей поверхности моря, или на выветренную скалу, кажущуюся необычной скульптурой, или на причудливую игру света на снежных склонах. Фотограф находит самые неожиданные объекты для подобных съемок: иногда это облака, иногда прибой, где волны разбиваются о невидимый берег, иногда рисовые чеки Калифорнии, отсвечивающие небесной синью и разделенные золотящимися на солнце насыпями.

В предисловии Гарнетт рассказывает о своей тридцатилетней работе в воздухе, работе нелегкой и зачастую опасной. Он благодарит самолетостроителей, которые «спроектировали . . . и создали машину, не боящуюся сильнейших бурь и очень послушную в управлении». Альбом открывается фотографией серебристого Cessna 170 в полете (снимок сделан сыном Гарнетта). На последней странице автор поместил фотографию, изображающую «тень от самолета на облаке в окружении радуги» как символ союза техники и искусства в одной из профессий, воплотившей в жизнь самые дерзновенные мечты человечества.

БИОМИНЕРАЛИЗАЦИЯ И БИОГЕННАЯ АККУМУЛЯЦИЯ МЕТАЛЛОВ: БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ. Под редакцией П. Уэстбрёка и Э. У. Де Джонга

BIOMINERALIZATION AND BIOLOGICAL METAL ACCUMULATION: BIOLOGICAL AND GEOLOGICAL PERSPECTIVES, edited by P. Westbroek and E. W. De Jong. D. Reidel Publishing Company. Distributed in the U.S. and Canada by Kluwer Boston, Inc., 190 Old Derby Street, Hingham, Mass. 02043 (\$69.50)

МНОГИЕ представители животного царства — будь то обладатели твердых раковин или колючих иголок, острых зубов или прочных костей — самым тесным образом связаны с сырым царством минералов. А если вспомнить еще и про яичную скорлупу, про камни в почках, про мельчайшие отолиты, которые играют важную роль в органах равновесия самых разнообразных животных, то картина получится еще более впечатляющей. Процессу биогенного обызвествления в различных его аспектах посвящена примерно половина статей книги — всестороннего отчета о работе между-

* Абрахам Дерби (1750—1791) — английский промышленник, построил мост из литых чугунных деталей на р. Северн (1779 г.). — *Прим. перев.*

** Роберт Стефенсон — английский инженер, сын изобретателя паровоза Дж. Стефенсона. — *Прим. перев.*

*** Изамбар Брюнель (1806—1859) — знаменитый английский инженер, построивший 25 железных дорог, 125 мостов, длиннейший для своего времени туннель и ряд крупных пароходов. — *Прим. перев.*

* Вал Адриана — стена, построенная римлянами для защиты своих владений в Британии в 76—138 г. Названа в честь императора Адриана. Длина стены свыше 100 км. — *Прим. перев.*

** Пул — участок р. Темзы ниже Лондонского моста, куда могут заходить морские суда. — *Прим. перев.*

народного научного конгресса, который состоялся в Нидерландах всего год назад. Перечисленные выше примеры убедительно показывают, как велика роль обзвещения в современной нам живой природе: из усвоенных ионов кальция организмы создают необходимые им кристаллические вещества.

Тема в общем-то не нова. В самом деле, было уже четыре таких междисциплинарных конгресса, на которые собирались не только биологи, но и геологи и химики. Однако на этот раз круг проблем был гораздо шире. Примерно треть докладов была посвящена аккумуляции минеральных веществ, помимо кальция, а в связи с глобальными аспектами древнейшего союза минералов и живых организмов обсуждались вопросы, более близкие к тектонике плит, нежели к загадкам электронной микроскопии или химии полисахаридов.

У современных живых организмов в настоящее время известно около 40 различных минералов, образующихся в норме, и еще почти 20 появляющихся при различных патологических состояниях (например, доломит в мочевом пузыре у далматских догов; как видим, эти собаки примечательны не только оригинальной пятнистой мастью). Кристаллики, из которых состоят человеческие кости, в основном образуются гидроксилапатитом, т.е. фосфатом кальция; раковины моллюсков сложены из карбоната кальция в той или иной кристаллической модификации. В живой природе распространены также пирит, галенит, флюорит, барит, гипс и магнетит. Бесспорно, в ряде случаев взаимоотношения между живым организмом и минералом опосредованы: например, организм просто стимулирует рост минерала неким псевдонеорганическим путем — так сказать, со стороны.

Еще чаще бывает, что рост кристаллов в той или иной мере связан с пока еще слабо изученными комплексами особых органических макрополимеров, которые определяют характер минеральной фазы, ее кристаллографическую ориентировку и общий облик. У диатомовых водорослей и радиолярий мельчайшие шарики опаловидного кремнезема каким-то образом группируются в своеобразные удивительно красивые и высоко упорядоченные скелетные структуры, причем ажурное сооружение из опала формируется, как по матрице, по каркасу из органического вещества.

Живые существа — искусные строители защитных поверхностных слоев, играющих исключительно важную роль во влиянии на рост кристаллов. Есть данные, что некоторые органические соединения специфически препятствуют возникновению начальных

центров кристаллизации и тем самым эффективно подавляют рост кристаллов, причем даже *in vitro*. На электронных микрофотографиях, сделанных с разрешением порядка размеров атомов, видно, что в мельчайших частицах кальцита во внутреннем ухе крыс отдельные кристаллиты ориентированы так, что создают такую же дифракционную картину, как и единый кристалл, хотя на самом деле здесь происходит упорядоченное наложение дифракционных картин от нескольких очень маленьких кристаллов. Впрочем, взаимоотношения между макромолекулами и микрокристаллами пока что остаются неясными.

Современные приливно-отливные отмели дают довольно точное представление об условиях на Земле в раннем докембрии, когда жизнь еще не оторвалась от прибрежной полосы и не шагнула на сушу. Ныне у сине-зеленых водорослей есть куда более опасные соперники в борьбе за существование, чем в те времена, но даже и они не мешают некоторым колониальным видам этих водорослей произрастать на просоленных морских побережьях по всему миру — от Багамских островов до западной Австралии. В одной из статей сборника приводятся интересные данные о формировании и развитии сплошных подстилок из сине-зеленых водорослей. Окаменевшие остатки этих растений заполняют всю приливно-отливную полосу. Со временем формируются корки из карбоната кальция, очень похожие на строматолиты, возраст которых достигает 1 — 2 млрд. лет и даже больше. Процесс, благодаря которому сохранялась структура живого организма, в то же время убивал его. Как видим, и в ту далекую эпоху связь между живой и неживой природой, хотя и самая тесная, была весьма противоречивой.

В жизни Земли по сути два основных круговорота. Глубоко в недрах планеты вследствие гравитации и радиоактивного распада выделяется тепло, которое вызывает медленное, грандиозное движение вещества; благодаря этому возникают горные цепи, появляются и вновь исчезают моря и океаны, а огромные массы расплавленной породы выделяют газы, уходящие во внешние слои земного шара. В то же время на поверхности Земли имеется тонкая оболочка жизни, существующая за счет энергии Солнца и чрезвычайно активная химически. Биосфера эволюционирует: ее сложность и активность на протяжении всей истории планеты постоянно возрастали. Особую, причем двоякую, роль играет в органических процессах очень простое по составу вещество — двуокись углерода. С одной стороны, оно служит исходным материалом для фотосинтеза, т.е. образования органических соединений из не-

органических, что и создает, собственно, углеродную жизнь. С другой стороны, этот компонент воздуха наиболее важен в смысле регулирования температуры на поверхности Земли (имеется в виду парниковый эффект, т.е. удержание в пределах атмосферы энергии инфракрасного излучения).

Для жизни требуется достаточное количество двуокиси углерода, но в то же время переизбыток ее губителен для живых существ. Большая часть углерода в поверхностных слоях Земли заключена в известковых осадках водоемов различного геологического возраста. Если бы этого не было, парниковый эффект был бы столь силен, что Земля превратилась бы во вторую Венеру, став такой же раскаленной. Однако в течение 4 млрд. лет необходимое равновесие каким-то образом поддерживалось. Сыграла ли здесь роль некая сложная обратная связь внутри самой биосферы? Или же баланс создавался слепой геологической стихией? «Термостат» планеты обеспечивает условия для существования жизни, даже несмотря на то что Солнце, эволюционируя к стадии красного гиганта, медленно, но неуклонно увеличивает свою светимость.

Возможно, частью механизма поддержания теплового равновесия является поглощение двуокиси углерода кальцием в процессе выветривания полевых шпатов в вышедших на поверхность кристаллических породах. В жарком климате выветривание ускоряется, свободной двуокиси углерода становится меньше и в результате наступает похолодание — вот пример замкнутой обратной связи, совершенно не зависимой от живой природы. Однако совсем остыть Земля не может: горячие газы просачиваются из недр даже сквозь обледенелую поверхность, а вот выветривание под толщей ледяного покрова приостанавливается. Но, может быть, интенсивность выветривания определяется тем, что благодаря бурному развитию жизни в почвах жарких и солнечных областей двуокись углерода достигает горных пород? Так что же — закономерная эволюция или счастливое стечение обстоятельств? Гея или Плутон?

Этот объемистый сборник содержит несколько необычайно любопытных статей. В одном из сообщений описаны эксперименты с современными цианобактериями из реки Чарлз, результаты которых говорят о том, что древнейшие золотоносные руды южноафриканской провинции Витватерсранд, возможно, образовались при участии микробов. Так, может быть, вечно манящее золото — тоже биоминерал, скопления которого обязаны своим появлением деятельности водорослей?

Издательство МИР предлагает:

Э. Гааль, Г. Медьешу,
Л. Верецкеи
ЭЛЕКТРОФОРЕЗ
В РАЗДЕЛЕНИИ
БИОЛОГИЧЕСКИХ
МАКРОМОЛЕКУЛ

Перевод с английского

Развитие современной биологии в значительной мере обзано новым методом исследования. Среди них важнейшую роль играет метод электрофореза, получивший в последнее время необычайно широкое распространение. Электрофорез позволяет быстро и эффективно разделять сложные смеси макромолекул.

В монографии известных венгерских специалистов последовательно рассмотрены теоретические и методические основы электрофореза, зональный электрофорез, электрофорез в гелях, новые виды электрофореза (изоэлектрическое фокусирование и изотахофорез), выявление и количественное определение молекул на электрофореграммах, техника и особенности электрофоретического разделения белков, нуклеиновых кислот и гликозаминогликанов. Подробно описаны также многочисленные варианты иммуноэлектрофореза. В целом книга представляет собой фундаментальное руководство по электрофорезу, рассчитанное на специалистов различного профиля.

В первую очередь издание предназначено для биологов всех специальностей, пользующихся в своей работе методами современной биохимии, для врачей-лаборантов, а также для студентов университетов, медицинских, педагогических и сельскохозяйственных институтов.

1982, 448 стр. Цена 3 р. 20 к.

Заказы на эту книгу направляйте по адресу: 129820 Москва, И-110, ГСП, 1-й Рижский пер., д.2, издательство «Мир», отдел распространения и рекламы. Книга будет выслана наложенным платежом.



Микробиология в океане

ИССЛЕДОВАНИЯ последних лет показывают, что мельчайшие формы растительной жизни играют важнейшую роль в экологическом равновесии океана. У. Ли и его коллеги, сотрудники лаборатории экологии моря Института океанографии (г. Бедфорд, провинция Новая Шотландия, Канада), ежедневно в течение шести дней отбирали пробы воды в двух районах тропической части Тихого океана и пропускали их через различные фильтры. Целью работы было исследование пикопланктона — организмов, которые имеют вес порядка 10^{-12} г. Такие клетки проходят через фильтры с порами диаметром 1 мкм и задерживаются на фильтрах с порами диаметром 0,2 мкм.

Оказалось, что в этих организмах содержится до 90% всего хлорофилла, присутствующего в пробах океанской воды. Стало быть, многие из них — растительные клетки, в то время как ранее считалось, что пикопланктон в основном состоит из гетеротрофных (т.е. не способных к фотосинтезу) бактерий. С помощью специального приема, когда хлорофилл флуоресцирует под микроскопом оранжевым или красным светом, подсчитано, что в 1 мл воды, взятой с поверхности океана (поверхностным в данном случае считали слой воды не глубже 50 м), содержится до 1,5 млн. пикопланктонных растительных клеток.

В дальнейших экспериментах, результаты которых опубликованы в журнале «Science», были получены доказательства того, что на долю океанских пикопланктонных растений приходится существенная часть общего количества углерода, фиксируемого путем фотосинтеза. Так, более 70% общей выявляемой активности рибулозодифосфаткарбоксилазы сосредоточено в пикопланктоне. Этот фермент свойствен тем организмам, которые в процессе фотосинтеза превращают неорганический углерод (двуокись углерода) в органический. Клетки, прошедшие через микронный фильтр, помещали в среду, в которой источник неорганического углерода содержал радиоактивный изотоп ^{14}C . На свету они накапливали радиоактивный углерод гораздо быстрее, чем в темноте.

Эти эксперименты подтверждают ту точку зрения, что в экологической системе океана наибольшая нагрузка в смысле оборота веществ лежит на самых мелких организмах. Предполагают, что в океане во множестве обитают еще более крохотные, чем пикопланктон, существа, по размерам близ-

кие к вирусам. Однако пока что о таких формах жизни по существу ничего не известно.

Межгалактическое облако

ХОЛОДНЫЕ облака нейтрального атомарного водорода занимают особое место в современных астрономических исследованиях. Они были обнаружены по радиоизлучению на длине волны 21 см; результаты этих наблюдений показывают, что в подобных облаках сосредоточена примерно пятая часть массы типичной спиральной галактики. Поэтому они являются прекрасными индикаторами спиральной структуры галактик. Несколько месяцев назад группа ученых из Корнеллского университета в составе Е. Терзана, С. Шнайдера, Дж. Хелова и Э. Солпетера применила радиотелескоп в Аресибо (Пуэрто-Рико) для поиска облаков нейтрального водорода в других галактиках. В январе этого года они направили телескоп на участок неба между двумя небольшими группами галактик в созвездии Льва. Предполагалось провести только калибровку приборов путем измерения уровня фона на длине волны 21 см при условии, что телескоп направлен на «пустой» участок неба. Однако в межгалактическом пространстве было зарегистрировано радиоизлучение огромного облака нейтрального атомарного водорода.

Обнаруженное межгалактическое облако находится на расстоянии 10 Мпс от Земли [1 мегапарсек (Мпс) составляет примерно 3,26 млн. световых лет]. Его протяженность равна по меньшей мере 100 кпс (килопарсекам), что приблизительно в три раза больше диаметра нашей Галактики. Масса атомарного водорода в нем составляет примерно миллиард солнечных масс. На оптических изображениях данного участка неба между двумя группами галактик не найдено никаких признаков звезд, а это говорит о том, что в межгалактическом облаке концентрация водорода всего один атом на $10^3 - 10^4 \text{ см}^3$. Чтобы облако могло породить звезды в результате сжатия под действием одних только сил гравитации, концентрация его компонентов должна находиться в пределах от 10^4 до 10^6 атомов на 1 см^3 .

Характерной особенностью обнаруженного облака является то, что его западный край удаляется от Солнечной системы быстрее, чем восточный. Разность скоростей составляет примерно 80 км/с и свидетельствует о том, что облако вращается. Подобное вращение может быть устойчивым лишь при условии, что облако удерживается от

распада гравитационным притяжением ненаблюдаемого вещества массой примерно 10^{11} масс Солнца, т.е. в 100 раз больше массы обнаруженного водорода. Если это действительно так, то масса всего облака должна быть равна массе типичной галактики.

Восприятие цвета

ПОСЛЕДНИЕ наиболее важные данные о деятельности головного мозга, обеспечивающей зрительное восприятие, получены главным образом с помощью микроэлектродов, которые вводят непосредственно в мозг. Было обнаружено, что в нервных клетках сетчатки, коры мозга и наружного колленчатого тела (так называют группу клеток, которая занимает промежуточное положение между сетчаткой и корой мозга) характер ответа зависит от распределения светлого и темного в поле зрения. Однако о нейронных механизмах, обеспечивающих восприятие цвета, долгое время практически ничего не было известно. Недавно появились сообщения об исследованиях, многие проясняющих в этом отношении. С одной стороны, получены новые данные с помощью микроэлектродного метода, а с другой — у людей в особых условиях проанализировали цветовые ощущения. Сделанные открытия укрепляют исследователей во мнении, что мозг анализирует окружающее, выполняя несколько операций одновременно, т.е., прежде чем создается единое осознанное ощущение от увиденного, зрительная информация обрабатывается в нескольких более или менее независимых каналах, после чего интегрируется.

Некоторые из одновременных операций, которые мозг производит со зрительной информацией, были выявлены еще в 50—60-е годы. Тогда Хьюбел и Визел (Гарвардская медицинская школа) изучали у кошек физиологические свойства нервных клеток зрительной коры — той части коры мозга, которая получает информацию от сетчатки через наружное колленчатое тело. Они обнаружили, что клетки с самыми простыми свойствами отвечали на зрительный стимул (небольшую полосу света) с наибольшей силой (т.е. их электрическая активность менялась максимально) тогда, когда животному предъявляли стимул в определенной ориентации и он попадал в определенную часть поля зрения. Если полосу увеличивали или изменяли ее ориентацию, такая клетка отвечала слабее или даже полностью затормаживалась. По всей видимости, клетка отвечала на изменение освещенности разных участков поля зрения по-разному. Во многих

случаях получалось, что в «рецептивном поле» клетки (т.е. в той области поля зрения, к которой чувствительна данная клетка) есть в центре некий «оп»-участок и на периферии «офф»-участок. У других клеток зрительной коры рецептивные поля сложнее. Эти клетки отвечают наилучшим образом на прерывистые полосы света в определенных местах и ориентациях. От наружного колленчатого тела зрительная информация передается по нервным волокнам к клеткам определенного слоя зрительной коры, который обозначают слой 4с. Для клеток слоя 4с существенна локализация участка в поле зрения, но не ориентация стимула. Они связаны, однако, с клетками 2-го и 3-го слоев коры таким образом, что клетки этих слоев в результате чувствительны к ориентации стимула. Клетки в слоях 2 и 3 в свою очередь связаны с клетками 5-го и 6-го слоев, так что рецептивные поля многих клеток этих глубоких слоев коры еще более сложные. По характеру возбуждения клеток можно судить о том, как мозг анализирует форму объекта или по крайней мере такие его признаки, как края и углы. Но как мозг видит цвет, оставалось загадкой. Одновременно с исследованиями Хьюбела и Визела Э. Лэнд и его коллеги из Polaroid Corporation разработали «ретинексную» теорию цветового зрения. Лэнд заметил, что, когда наблюдатель видит какой-либо пейзаж или другую зрительную сцену, восприятие цветов не зависит от того, как сцена освещена — залита ли она, например, ярким солнечным светом или находится в глубокой тени. Более того, даже при искусственном освещении, т.е. в довольно узком диапазоне длин волн, часто сохраняется все богатство восприятия цветов. Лэнд сделал вывод, что цвет объекта для наблюдателя не просто определяется длиной волны света, а представляет собой результат вычислений, выполненных мозгом.

Известно, что в сетчатке есть три различных типа клеток-колбочек, т.е. рецепторов, чувствительных к цвету. Одни колбочки наиболее чувствительны к коротковолновой части спектра, другие — к средним длинам волн, а третьи — к длинноволновой области. Лэнд предположил, что колбочки каждого типа передают в мозг информацию, позволяющую вычислять соотношение яркостей в соответствующем диапазоне длин волн. Соотношение яркостей можно определить на границе между двумя объектами разного цвета, расположенными вдоль некой произвольной линии, пересекающей поле зрения. Каждому участку поля зрения мозг приписывает три значения яркости — в области коротких волн, средних и длинных. «Размерность» этой триады значений задается теми усло-

виями, которые одинаковы по всему полю зрения, значит, отношение яркостей не очень зависит от случайностей освещения. Таким образом, триада дает инвариантное ощущение цвета.

Поскольку локализация механизмов, осуществляющих эти процессы, была неизвестна, Лэнд, чтобы как-то описать их, предложил термин «ретинекс» (от слов ретина и кортекс, т.е. сетчатка и кора). В сотрудничестве с Маргарет Ливингстон из Гарвардской медицинской школы Лэнд провел исследование, результаты которого позволяют представить, где именно в коре мозга находятся эти механизмы. Эксперимент ставился так. Наблюдателя просили назвать, в какой последовательности на одном и том же месте экрана (в «точке фиксации») быстро вспыхивают маленькие буквы. Левее точки фиксации помещали коллаж из цветной бумаги. Так как наблюдателю надо было следить за вспыхивающими буквами, коллаж всегда находился в левой части его поля зрения. Коллаж можно было освещать через различные фильтры. В каждом фильтре было отверстие, вырезанное так, чтобы освещение маленького тестового пятна, окружавшего точку фиксации, не менялось. Если бы восприятие цвета зависело только от длины волны света, тестовое пятно всегда выглядело бы для наблюдателя одинаково. На самом деле с фильтрами тестовое пятно казалось наблюдателю белым, а без фильтров — темно-пурпурным, хотя световой поток от тестового пятна не изменялся. В соответствии с ретинексной теорией изменение освещения коллажа повлияло на восприятие цвета по всему полю зрения.

Затем Лэнд и его коллеги пригласили принять участие в экспериментах некоего Дж. У. 29 лет, который за два года до этого перенес успешную нейрохирургическую операцию, имевшую целью излечить его от эпилепсии. Операция состояла в том, что больному перерезали мозолистое тело — массивный тяж нервных волокон, связывающих левое и правое полушария мозга. Как и у других пациентов с расщепленным мозгом, у Дж. У. после этого не наблюдалось никаких явных функциональных нарушений. Его цветовое зрение было нормальным. Специальные тесты показали, что речь у него находилась под контролем левого полушария. Дж. У. мог описать словами те объекты, которые попадали в правую половину поля зрения, потому что информация из правой половины поля зрения передается от глаз в левое полушарие. Объекты в левой половине поля зрения он не мог описать из-за того, что информация из левого полушария зрения приходит в правое полушарие коры, а так как мозолистое тело было перерезано, она не могла поступить в речевые центры.

Результаты проверки зрения у Дж. У. оказались весьма примечательными. Сначала коллаж поместили в поле зрения слева. Тестовое пятно перекрывало вертикальную линию, разделяющую поле пополам. Дж. У. независимо от освещения неизменно сообщал, что тестовое пятно белое. Затем установили зеркало так, что коллаж оказался в правой половине поля зрения. В первый момент Дж. У. сообщил, что видит все цвета. Выходило, что он описывал весь коллаж, чего не мог сделать, когда коллаж был предъявлен его «немому» полушарию. Теперь он описывал тестовое пятно как пурпурное или как белое в полном соответствии с впечатлениями обычного наблюдателя.

Если «ретиновые» вычисления производят нейроны сетчатки, которые воспринимают окружающее и справа и слева от вертикальной средней линии, то через мозолистое тело не должна влиять на восприятие цвета. В каждой половине мозга возникало бы одно и то же цветовое ощущение, созданное одними и теми же «ретиновыми» вычислениями, и ответы Дж. У. всегда были бы такие же, как и у обычного наблюдателя. В эксперименте получилось иначе. Характер восприятия цвета у Дж. У. указывал, что для «ретиновых» вычислений нужно мозолистое тело как путь из одного полушария в другое. Лэнд и коллеги считают, что вычисления выполняются в коре мозга.

Возникло противоречие, так как те клетки коры мозга, о которых известно, что они чувствительны к цвету, не могут выполнять «ретиновые» вычисления. В конце 50-х годов Г. Светихин и Э. Мак-Никол описали цветоопponentные клетки в сетчатке у мелководных рыб; позднее Хьюбел и Визел обнаружили их в зрительной коре у обезьян. Как и в случае других клеток зрительной коры, в рецептивном поле цветоопponentной клетки есть «on»- и «off»-участки. Ответ цветоопponentной клетки зависит от длины волны света. Она может возбудиться «при виде» маленького красного пятна и затормозиться, реагируя на большое зеленое («красное» и «зеленое» здесь относятся к длине волны света, а не к воспринимаемому цвету). По всей вероятности, клетка получает информацию от колбочек по крайней мере двух типов. Проблема в том, что красное пятно на зеленом фоне не даст никакого эффекта, так как возбуждение и торможение погасят друг друга. Поскольку цветоопponentная клетка не отвечает на предъявление границы между контрастными цветами, она не участвует в «ретиновых» вычислениях.

Для вычислений нужна сеть так называемых двойных цветоопponentных клеток. Клетка такого типа возбуждается, скажем, при предъявлении ма-

ленького красного пятна в определенном участке поля зрения. Она тормозится, если на том же месте оказывается маленькое зеленое пятно. Те же цвета вокруг этого участка дают противоположный эффект: красный тормозит, а зеленый возбуждает. Таким образом, клетка не отвечает ни на белый фигурный стимул, ни на общий засвет сетчатки независимо от длины волны света. Она не отвечает и на большие пятна красного и зеленого цвета, поскольку возбуждение от центра рецептивного поля и торможение от его периферии гасят друг друга. Максимальное возбуждение получится в ответ на красное пятно на зеленом фоне, а наибольшее торможение — в ответ на зеленое пятно на красном фоне; стало быть, такая клетка чувствительна именно к контрастным цветам.

В 60-е годы Н. До (в настоящее время он сотрудник Медицинской школы Вашингтонского университета, г. Сент-Луис) обнаружил двойные цветоопponentные клетки в сетчатке у серебряного караса. Вскоре другие исследователи нашли их в зрительной коре у обезьян. Ко всеобщему разочарованию, однако, таких клеток в коре оказалось мало и нельзя было приписать им никакой определенной локализации. Позже, в 1978 г., М. Уонг-Райли (сейчас она работает в Медицинском колледже, шт. Висконсин) с помощью метода специфического окрашивания определила в зрительной коре обезьяны распределение митохондриального фермента цитохромоксидазы. В митохондриях, как известно, вырабатывается энергия, поэтому ожидалось, что окрасятся наиболее активные участки ткани. Обнаружилось, что по всей зрительной коре через каждые 0,5 мм интенсивно окрашиваются небольшие (200 мкм в поперечнике) каплевидные участки. В 1980 г. выяснилось, что эти «капли» образуют крапчатые скопления в слоях 2 и 3. Потом стало известно, что к «каплям» подходят нервные волокна от наружного колоччатого тела.

Хьюбел и Ливингстон исследовали клетки в «каплях» с помощью микроэлектродов. Чувствительности к ориентации световой полоски они не проявляли. По-видимому, эти клетки не принимают участия в анализе краев и углов. В то же время 90% из них оказались чувствительными к цвету и большая часть — с двойной цветовой опponentностью.

Арифметическая прогрессия из простых чисел

КОМПЬЮТЕР, выполняющий 1 млн. операций в секунду, при работе в режиме вывода на печать имеет немало свободного машинного времени. Оно складывается из коротких промежутков (десятых долей секунды), затрачи-

ваемых непосредственно на процесс печати. Чтобы компьютер не «простаивал» в эти моменты, сотрудник Корнеллского университета П. Притчард решил загрузить его вычислительной работой. Была составлена программа, в соответствии с которой в эти «свободные» промежутки времени компьютер осуществлял поиск членов арифметической прогрессии, состоящей из простых чисел. (Напомним, что простыми называются числа, которые делятся только на себя и на 1; в арифметической прогрессии разность последующего и предыдущего членов есть величина постоянная.) Число заданных членов прогрессии было 18.

Это число членов Притчард выбрал потому, что в предыдущей аналогичной задаче, решенной в 1977 г., оно было равно 17. Используя кратчайшие интервалы времени в работе машины, которая в основном выполняла обработку слов и действовала 24 часа в сутки, он нашел последовательность 18 простых чисел — членов арифметической прогрессии менее чем за месяц. На эту задачу компьютер фактически затрачивал в среднем около 10 ч машинного времени в сутки. Первым членом полученной прогрессии было число 107 928 278 317, разность прогрессии 9 922 782 870, а последний член 276 615 587 107. Числа, предшествующие первому члену, а также следующие за последним (при той же разности), — не простые.

Стратегия поиска чисел была основана на том, что во всякой арифметической прогрессии из n простых чисел разность должна делиться на все простые числа, меньшие или равные n , кроме того редкого случая, когда первый член прогрессии равен самому n . В задаче Притчарда $n = 18$, следовательно, разность прогрессии должна делиться на 2, 3, 5, 7, 11, 13 и 17. Притчард, правда, включил и 19 на тот случай, что компьютеру удастся составить прогрессию с числом членов больше 18. Для данного случая разность равна произведению этих восьми чисел, т.е. 9 699 690. Таким образом, в соответствии с программой Притчарда компьютер выбирал простое число из некоторого заданного ряда чисел, строил арифметическую прогрессию, последовательно прибавляя разницу, и проверял полученные значения на соответствие условию, которому должны отвечать простые числа.

Притчард использовал свою программу с периодическим вводом на двух обычных компьютерах, не отличавшихся высоким быстродействием. Один из них проработал по этой программе уже несколько тысяч часов. Притчард продолжает решение задачи на двух машинах, пытаясь получить арифметическую прогрессию из простых чисел с числом членов больше 18.

Издательство
МИР
предлагает:

З. Лойда,
Р. Госсрау,
Т. Шиблер

**ГИСТОХИМИЯ
ФЕРМЕНТОВ**
Лабораторные методы

Перевод с английского

Предлагаемое вашему вниманию пособие основано на самых последних методических достижениях гистохимии ферментов. Подробно рассмотрены более 100 методов гистохимического выявления ферментов, причем многие методы изложены в собственных удачных модификациях авторов, ведущих специалистов в этой области.

В книге много ценных технических рекомендаций, которые так важны при воспроизведении методик. Кроме того, обсуждаются возможные причины артефактов, столь частых в лабораторной практике. Приведены материалы по подготовке тканей для гистохимического исследования ферментов (отбор и обработка тканей, фиксация, промывка, приготовление срезов, заключение, инкубация и др.). Раздел, посвященный отдельным ферментам, весьма обширен — описываются методы выявления гидролаз, гликозидаз, пептидаз, трансфераз, лиаз, оксидоредуктаз.

Следует подчеркнуть, что пособие имеет практическую направленность, вопросы теории в нем обсуждаются в объеме, который необходим для понимания проводимых реакций и сознательного выбора из ряда аналогичных методов наиболее адекватного целям исследования.

Книга, несомненно, будет с интересом встречена специалистами-гистохимиками, а также гистологами, цитологами, биохимиками. Она пригодится врачам-лаборантам, студентам, аспирантам и преподавателям университетов, медицинских, сельскохозяйственных и педагогических институтов.

1982, 270 с. Цена 1 р. 60 к.



**ПЕРСОНАЛЬНЫЕ
КОМПЬЮТЕРЫ**

MICROPROCESSORS. Hoo-min D. Toong in *Scientific American*, Vol. 237; No. 3, pages 146—161; September, 1977.

PERSONAL COMPUTER REPORT. Hoo-min D. Toong and Amar Gupta. Digital Systems Associates, 1982.

Г. Б. Кочетков. МИКРОКОМПЬЮТЕРЫ НА РАБОТЕ И В БЫТУ. — США: экономика, политика, идеология, 1983, № 1, с. 70.

П. Котшенрутер, В. Энгельс, Личный компьютер — аналог мини-компьютера. — Электроника, 1982, т. 55, № 15, с. 38.

Дж. Р. Лайнбек. ПРИМЕНЕНИЕ ЛИЧНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ. — Электроника, 1982, т. 55, № 16, с. 79.

У. Пирсон и др. КОМБИНИРОВАННАЯ ЛОКАЛЬНАЯ СЕТЬ ДЛЯ СВЯЗИ ЛИЧНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ. — Электроника, 1982, т. 55, № 26, с. 36.

**ПЕРЕНОС
НОВЫХ ГЕНОВ
В КЛЕТКИ РАСТЕНИЙ**

PLASMIDS SPECIFYING PLANT HYPERPLASIAS. Eugene W. Nester and Tsune Kosuge in *Annual Review of Microbiology*, Vol. 35, pages 531—565; 1981.

MOLECULAR BIOLOGY OF PLANT TUMORS. Edited by G. Kahl and J.S. Schell. Academic Press, 1982.

T-DNA OF THE AGROBACTERIUM TI AND RI PLASMIDS. Michael Webster Bevan and Mary-Dell Chilton in *Annual Review of Genetics*, Vol. 16, pages 357—384; 1982.

PROSPECTS IN PLANT GENETIC ENGINEERING. Kenneth A. Barton and Winston J. Brill in *Science*, Vol. 219, No. 4585; pages 671—676; February 11, 1983.

**ГИГАНТСКИЕ
ВУЛКАНИЧЕСКИЕ
КАЛЬДЕРЫ**

RESURGENT CAULDRONS. Robert L. Smith and Roy A. Bailey in *The Geological Society of America: Memoir 116*, pages 613—662; 1968.

THEORETICAL MODELING OF THE GENERATION, MOVEMENT, AND EMPLACEMENT OF PYROCLASTIC FLOWS BY COLUMN COLLAPSE. R.S.J. Sparks, L. Wilson and G. Hulme in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 83, No. B4, pages 1727—1739; April 10, 1978.

YELLOWSTONE PARK AS A WINDOW ON THE EARTH'S INTERIOR. Robert B. Smith and Robert L. Christiansen in *Scientific*

American, Vol. 242, No. 2, pages 84—95; February, 1980.

Кущенко И. И. ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНОВ МИРА (КАТАЛОГ). — М.: Наука, 1979.

Влодавец В. И. ВУЛКАНЫ ЗЕМЛИ. — М.: Наука, 1973.

**ПЕКИНСКИЙ
ЧЕЛОВЕК**

ON A LOWER MOLAR HOMINID TOOTH FROM THE CHOUKOUTIEN DEPOSIT. Davidson Black in *Palaeontologia Sinica*, Series D, Vol. 7, Fascicule 1, pages 1—28; 1927.

ON AN ADOLESCENT SKULL OF *SINANTHROPUS PEKINENSIS* IN COMPARISON WITH AN ADULT SKULL OF THE SAME SPECIES AND WITH OTHER HOMINID SKULLS, RECENT AND FOSSIL. Davidson Black in *Palaeontologia Sinica*, Series D, Vol. 7, Fascicule 2, pages 1—144; 1927.

NOTICE OF THE DISCOVERY OF QUARTZ AND OTHER STONE ARTIFACTS IN THE LOWER PLEISTOCENE HOMINID-BEARING SEDIMENTS OF THE CHOUKOUTIEN CAVE DEPOSIT. Pei W. C. in *Bulletin of the Geological Society of China*, Vol. 11, No. 2, pages 109—139; December, 1931.

THE *SINANTHROPUS* POPULATION OF CHOU KOU TIEN. Franz Weidenreich in *Bulletin of the Geological Society of China*, Vol. 14, No. 4, pages 427—461; 1935.

THE CAVE HOME OF PEKING MAN. Chia Lan-po. Foreign Language Press, 1975.

**НЕВИДИМОЕ ВЕЩЕСТВО
В СПИРАЛЬНЫХ
ГАЛАКТИКАХ**

DYNAMIC EVIDENCE ON MASSIVE CORONAS OF GALAXIES. Jaan Einasto, Ants Kaasik and Enn Saar in *Nature*, Vol. 250, No. 5464, pages 309—310; July 26, 1974.

MASSES AND MASS-TO-LIGHT RATIOS OF GALAXIES. S. M. Faber and J. S. Gallagher in *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, Vol. 17, pages 135—187; 1979.

Пиблс П. СТРУКТУРА ВСЕЛЕННОЙ В БОЛЬШИХ МАСШТАБАХ. — М.: Мир, 1983.

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
ФИЗИОЛОГИЯ КИТОВ
И ДЕЛЬФИНОВ**

PHYSIOLOGY OF A SMALL CETACEAN. J. Kanwisher and G. Sundnes in *Hvalradets Skrifter*, No. 48, pages 45—53; 1965.

THERMAL REGULATION IN CETACEANS.

Издательство МИР предлагает:

Э. Цихош СВЕРХЗВУКОВЫЕ САМОЛЕТЫ. Справочное руководство

В двух книгах
Перевод с польского

Приведены основные летно-тактические характеристики, фотографии, чертежи общих видов и компоновочных схем практически всех современных сверхзвуковых самолетов. Кратко излагается история их разработки. Описывается оборудование различных типов сверхзвуковых самолетов и рассматриваются научно-технические проблемы, связанные с их созданием. Для конструкторов самолетов, студентов соответствующих специальностей вузов и лиц, интересующихся авиацией.

1983, 52 л. Цена 4р. 40к. за комплект

П. Ходж, Д. Шеррингтон РЕАКЦИИ НА ПОЛИМЕРНЫХ ПОДЛОЖКАХ В ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ

Перевод с английского

Книга посвящена важному и очень перспективному вопросу — приложению химии макромолекулярных соединений к задачам классического органического синтеза. В данном случае полимер выступает как необходимый участник реакции, обеспечивающий либо высокую скорость процесса, либо селективность, либо то и другое вместе. Соответствующие разработки процессов могут иметь прямое отношение к синтезу пептидов, олигонуклеотидов и олигосахаридов.

1983, 35 л. Цена 5р. 60к.



John Kanwisher and Gunnar S. Odnes in *Whales, Dolphins and Porpoises*, edited by Kenneth S. Norris. University of California Press, 1966.

RESPIRATION AND DEEP DIVING IN THE BOTTLENOSE PORPOISE. Sam H. Ridgway, B. L. Sronce and John Kanwisher in *Science*, Vol. 166, No. 3913, pages 1651—1654; December 26, 1969.

DOLPHIN LUNG COLLAPSE AND INTRAMUSCULAR CIRCULATION DURING FREE DIVING: EVIDENCE FROM NITROGEN WASHOUT. Sam H. Ridgway and Red Howard in *Science*, Vol. 206, No. 4423, pages 1182—1183; December 7, 1979.

FREE AND FORCED DIVING IN BIRDS. John W. Kanwisher Geir Gabrielsen and Nancy Kanwisher in *Science*, Vol. 211, No. 4483, pages 717—719; February 13, 1981.

Доэе Т. Киты и другие морские млекопитающие. — М.: Мир, 1980.

ГЕОРГ КАНТОР И РОЖДЕНИЕ ТРАНСФИНИТНЫХ МНОЖЕСТВ

WHAT IS CANTOR'S CONTINUUM PROBLEM? Kurt Gödel in *Philosophy of Mathematics: Selected Readings*, edited by Paul Benacerraf and Hilary Putnam. Prentice-Hall, Inc., 1964.

PROBLEME DES UNENDLICHEN: WERK UND LEBEN GEORG CANTORS. Herbert Meschkowski. Vieweg, Braunschweig, 1967.

TOWARDS A BIOGRAPHY OF GEORG CANTOR. I. Grattan-Guinness in *Annals of Science*, Vol. 27, No. 4, pages 345—391; December, 1971.

GEORG CANTOR: HIS MATHEMATICS AND PHILOSOPHY OF THE INFINITE. Joseph Warren Dauben. Harvard University Press, 1979.

Медведев Ф. А. РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ МНОЖЕСТВ В XIX ВЕКЕ. — М.: Наука, 1965.

Виленкин Н. Я. РАССКАЗЫ О МНОЖЕСТВАХ. — М.: Наука, 1965.

ЗАСТЕЖКА-МОЛНИЯ

THE INVENTION AND INTRODUCTION OF THE ZIPPER. P. J. Federico in *Journal of the Patent Office Society*, Vol. 28, No. 12, pages 855—876; December, 1946.

THE SLIDE FASTENER INDUSTRY IN 1950: A REPORT FOR SLIDE FASTENER ASSOCIATION, INC. Prepared by Business Information Division, Marketing Services Company. Dun and Bradstreet, Inc., 1951.

TALON, INC.: A ROMANCE OF ACHIEVEMENT. James Gray. Meadville Printcraft Corp., 1963.

Производство застежки «молнии» на высокопроизводительном оборудовании. — М.: ЦНИИТЭИ легкой промышленности, 1974.

Производство фурнитуры. — М.: ЦНИИТЭИ легкой промышленности, 1980.

НАУКА ВОКРУГ НАС

PHOTOELASTICITY: PRINCIPLES AND METHODS. H. T. Jessop and F. C. Harris. Dover Publications, Inc., 1960.

POLARIZED LIGHT. William A. Shurcliff and Stanley S. Ballard. D. Van Nostrand Company, Inc., 1964.

PHOTO-ELASTIC ANALYSIS. A. W. Hendry. Pergamon Press, 1966.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 9.06.83.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90%.

Гарнитуры таймс, гелиос

Офсетная печать.

Объем 7,00 бум. л.

Усл.-печ. л. 14,00,

Уч.-изд. л. 18,02

Усл. кр.-отт. 47,36

Изд. № 36/2668. Заказ 399-83

Тираж 20000 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик»

Типография В/О Внешторгиздат
Главиздатэкспорта Госкомиздата СССР
127596, Москва, И-349,
Илимская, 7



Издательство **МИР** предлагает:

Р. Харви

ГОЛОМОРФНЫЕ ЦЕПИ И ИХ ГРАНИЦЫ

Перевод с английского



К числу главных достижений многомерного комплексного анализа принадлежит результат Р. Харви и Б. Лоусона о натягивании комплексных пленок на нечетномерные циклы. Этот важный результат в усовершенствованном виде изложен Р. Харви в работе, перевод которой предлагается вниманию читателей. В ней широко используется техника потоков, применяемая в по-

следние годы в различных задачах анализа и геометрии. Русское издание снабжено дополнением, в котором изложены основы этой техники.

Книга представляет интерес для научных работников, аспирантов и студентов, специализирующихся в области анализа, геометрии и смежных разделов математики.

1979. 160 с. Цена 70 к.



