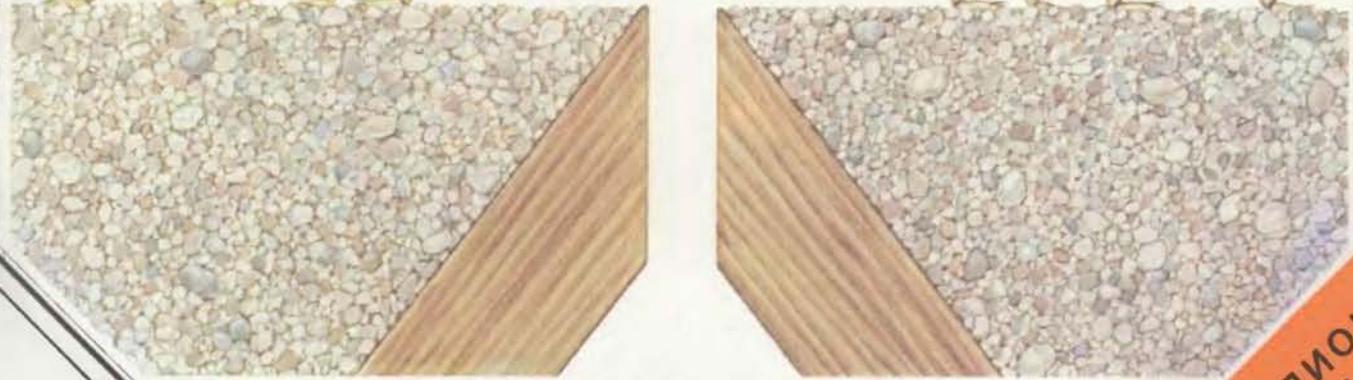
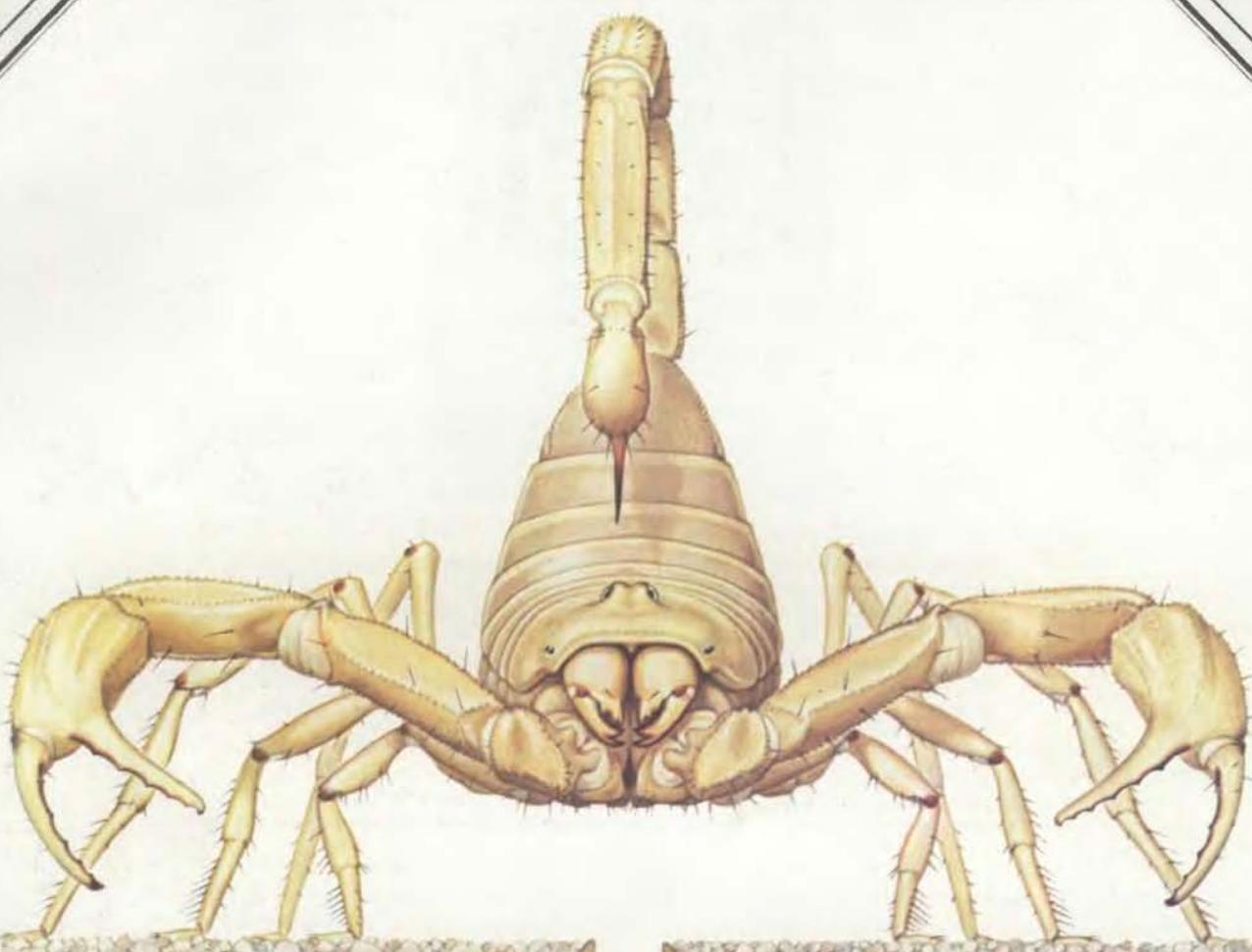


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Февраль **2** 1985

КАК СКОРПИОН
НАХОДИТ ДОБЫЧУ

Издательство МИР предлагает:

Г. Майерс

АРХИТЕКТУРА СОВРЕМЕННЫХ ЭВМ

В 2-х книгах

Перевод с английского



Рассматриваются принципы построения современных ЭВМ, ориентированных на конкретные языки, и многопроцессорные системы с динамически перестраиваемой архитектурой. Описываются вычислительные системы Интел, Барроуз и специ-

ализированные машины для баз данных.

Для специалистов в области вычислительной техники и программирования. Может быть полезна студентам старших курсов соответствующих специальностей.

1985, Книга 1 — 21 л., 2 р.;
книга 2 — 19 л., 1 р. 80 к.



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 2 · ФЕВРАЛЬ 1985

В номере:

СТАТЬИ 4 Атомная «память» *Ричард Дж. Бруэр, Эрвин Л. Хан*

В атомных системах, постепенно вышедших из некоторого упорядоченного состояния, можно вызвать возврат к первоначальной упорядоченности. Это позволяет исследовать атомные взаимодействия, труднодоступные для экспериментальных наблюдений
(*Scientific American*, December 1984, Vol. 251, No. 6)

14 Как эмбриональные нервные клетки узнают друг друга *Кори С. Гудмэн, Майкл Дж. Бастини*

В процессе развития нервной системы нейроны безошибочно находят друг друга и с высокой специфичностью устанавливают нужные связи. У эмбрионов насекомых они это делают, посыпая свои отростки вдоль нервных тяжей, на поверхности которых имеются особые молекулы, служащие опознавательными знаками
(*Scientific American*, December 1984, Vol. 251, No. 6)

24 Цифровой метод записи и воспроизведения звука *Джон Монфорт*

Запись звука в цифровой форме обеспечивает высокое качество его воспроизведения. В результате можно существенно улучшить звучание записей, сделанных в прошлом
(*Scientific American*, December 1984, Vol. 251, No. 6)

34 Как песчаный скорпион находит свою жертву *Филип Х. Броунел*

Этот ночной хищник, обитающий в пустыне Мохаве, обнаруживает добычу не с помощью зрения или слуха: у него на ногах имеются специальные рецепторы, чувствительные к малейшим колебаниям песка
(*Scientific American*, December 1984, Vol. 251, No. 6)

46 Лесное древоводство *Жорж Тузз*

Долгое время считали, что производство древесины неизбежно предусматривает замораживание вложенного капитала на длительный период. Применение современных агротехнических методов позволяет опровергнуть эту точку зрения
(*Pour la Science*, Octobre 1984)

58 Мысленное вращение объекта *Линн А. Купер, Роджер Н. Шепард*

Мысленное вращение объекта в точности воспроизводит физическую операцию вращения. Существует возможность объективно изучить этот умственный процесс и таким образом получить количественную характеристику одной из форм пространственного мышления
(*Scientific American*, December 1984, Vol. 251, No. 6)

66 Кораблестроение в Испании XVIII века *Джон Д. Харбон*

Хотя приоритет в строительстве крупнейших военных кораблей эпохи парусного флота обычно приписывают англичанам, крупнейшим и самым мощным кораблем своего времени был испанский корабль «Сантисима Тринидад»
(*Scientific American*, December 1984, Vol. 251, No. 6)

РУБРИКИ 3 Об авторах

13 50 и 100 лет назад

32, 43, 56, 85 Наука и общество

74 Наука вокруг нас

79 Занимательный компьютер

86 Книги

95 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan B. Piel
PRESIDENT AND EDITOR
BOARD OF EDITORS

Philip Morrison
BOOK EDITOR
Timothy Appenzeller
John M. Benditt
Peter G. Brown
Ari W. Epstein
Michael Feirtag
Robert Kunzig
James T. Rogers
Armand Schwab, Jr.
Joseph Wisnovsky

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR
Richard Sasso
PRODUCTION MANAGER
George S. Conn
GENERAL MANAGER

Gerard Piel
CHAIRMEN
Dennis Flanagan
EDITOR EMERITUS

© 1984 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
3. Е. Кожанова О. К. Кудрявов
Т. А. Румянцева А. М. Смотров
А. Ю. Краснопевцев

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ
М. М. Попова
М. В. Суровова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Ступов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
И. В. Лунёва

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Т. К. Такташова

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

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

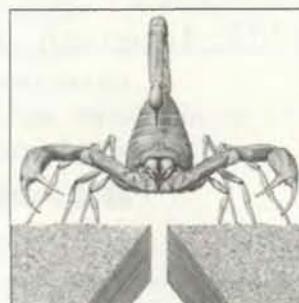
ТИТУЛЬНАЯ НАДПИСЬ,
ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ:
В. В. Ефимов

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

ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ
286.2588

© Перевод
на русский язык и оформление,
«Мир», 1985

На обложке



КАК ПЕСЧАНЫЙ СКОРПИОН НАХОДИТ СВОЮ ЖЕРТВУ

На обложке изображен обитающий в южной части пустыни Мохаве песчаный скорпион *Paruroctonus mesaensis*. Здесь он показан сидящим в ящике с песком во время лабораторного опыта, демонстрирующего чувствительность скорпиона к слабым механическим колебаниям субстрата (см. статью Ф. Броунела «Как песчаный скорпион находит свою жертву», с. 34). Потревоженный, скорпион принимает защитную позу: он поворачивается в сторону источника угрожающего сигнала, поднимая и изгибая задний конец тела так, что находящееся на конце хвоста жало оказывается над его головой. В опытах с воздушной прослойкой, которая блокировала прохождение упругих волн через песок, но не влияла на зрительные и слуховые ощущения скорпиона, удалось показать, что животное поворачивается в сторону сигнала только в том случае, когда касается вибрирующего субстрата своими ногами. Скорпион ведет ночной образ жизни и определяет местонахождение добычи по вызываемым ею колебаниям субстрата. Он хватает жертву клешнями и вонзает в ее тело жало, парализуя жертву выделяющимся из него нервным ядом.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Tom Prentiss

| СТР. | АВТОР/ИСТОЧНИК | СТР. | АВТОР/ИСТОЧНИК | СТР. | АВТОР/ИСТОЧНИК |
|------|---|-------|--|----------------|---|
| 5 | Jon Brenneis | 22 | Ilil Arbel (<i>вверху</i>); Corey S. Goodman and Michael J. Bastiani (<i>внизу</i>) | 37 | Tom Prentiss |
| 6-10 | Andrew Christie | 15 | Corey S. Goodman and Michael J. Bastiani, Stanford University | 38 | Sally Black |
| 16 | Keir G. Pearson and John D. Steeves (<i>вверху</i>); Keir G. Pearson (<i>внизу</i>) | 25 | Ian Worpole Quesada/Burke (<i>вверху</i>); John Monforte, University of Miami (<i>внизу</i>) | 39 | Tom Prentiss |
| 17 | Corey S. Goodman and Michael J. Bastiani (<i>вверху</i>); Carol Donner (<i>внизу</i>) | 26 | Hank Iken, Walken Graphics | 40 | Sally Black (<i>вверху</i>); Tom Prentiss (<i>внизу</i>) |
| 18 | Corey S. Goodman and Michael J. Bastiani | 27 | John Monforte, University of Miami (<i>вверху</i>); Hank Iken, Walken Graphics (<i>внизу</i>) | 41 | Tom Prentiss |
| 19 | Carol Donner (<i>вверху</i>); Corey S. Goodman and Michael J. Bastiani (<i>внизу</i>) | 28-30 | Hank Iken, Walken Graphics | 43 | Brian Wolff |
| 20 | Carol Donner | 33 | Hua Jueming | 47, 48, 50, 55 | AFOCEL |
| 21 | Corey S. Goodman and Michael J. Bastiani | 35 | Alfred Owczarzak, Oregon State University | 49, 54 | AFOCEL, |
| | | 36 | Alfred Owczarzak, Oregon State University (<i>вверху</i>); Sally Black (<i>внизу</i>) | 51, 53 | J.-C. Venet |
| | | 37 | Threshold Corporation | 52 | J.-C. Venet |
| | | 38 | Roger N. Shepard, Stanford University | 57 | |
| | | 39 | | 58 | |
| | | 40 | | 59-64 | Alan D. Iselin |
| | | 41 | | 67 | Museo Naval, Madrid |
| | | 42 | | 68-72 | Allen Beechel |
| | | 43 | | 75 | Robert E. Apfel |
| | | 44 | | 76-78 | Michael Goodman |
| | | 45 | | 79-84 | Hank Iken, Walken Graphics |

Об авторах

Richard G. Brewer, Erwin L. Hahn (РИЧАРД ДЖ. БРУЭР, ЭРВИН Л. ХАН «Атомная "память"»). Бруэр — научный сотрудник Сан-Джозеской исследовательской лаборатории фирмы IBM. Хан — профессор физики Калифорнийского университета в Беркли. Бруэр также преподает физику в качестве профессора-консультанта в Станфордском университете; учился в Калифорнийском технологическом институте в Беркли, где в 1958 г. получил степень доктора философии; преподавал в Гарвардском университете и Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе, является членом Национальной академии наук США. За исследования в области лазерной физики и спектроскопии в 1979 г. удостоен Майкельсоновской премии Института им. Франклина. Увлекается выращиванием магнолий, приготовлением спагетти по-генуэзски и плаванием. Хан окончил Джуннатский колледж, степень доктора философии получил в 1949 г. в Иллинойсском университете. До 1952 г. работал в Иллинойсском и Станфордском университетах, а затем перешел на должность физика-исследователя в Исследовательский центр Томаса Дж. Уатсона фирмы IBM. В 1955 г. переехал в Беркли. Хан — член Национальной академии наук США, удостоен ряда премий за исследования переходных процессов при магнитном резонансе, спиновых взаимодействий и переходных процессов, вызываемых лазерным излучением. Увлекается игрой на скрипке, для желающих читает созданный им курс физики музыки.

Corey S. Goodman, Michael J. Bastiani (КОРИ С. ГУДМЭН, МАЙКЛ ДЖ. БАСТИАНИ «Как эмбриональные нервные клетки узнают друг друга») — специалисты в области биологии развития нервной системы; работают вместе с 1981 г. Гудмэн — доцент биологии в Станфордском университете. Докторскую степень получил в 1977 г. в Калифорнийском университете (в Беркли), после чего два года вел в этом университете (в Сан-Диего) самостоятельную научную работу. Сотрудником Станфордского университета стал в 1979 г. Бастиани — старший научный сотрудник в лаборатории Гудмэна. Дипломную работу выполнил в Калифорнийском университете в Сан-Диего, продолжил свои исследования в Дейвисе, где в 1984 г. ему присвоили степень доктора философии. Бастиани — первый исследователь, получивший в 1984 г. средства от организованного в Швейцарии фонда финансирования исследований центральной нервной системы.

John Monforte (ДЖОН МОНФОРТ «Цифровой метод записи и воспроизве-

дения звука») — директор студий звукозаписи в Университете в Майами, в котором он также читает курс лекций по музыкальной технике. Степень бакалавра в области электротехники получил в Мичиганском университете. После окончания университета в 1977 г. работал инженером-схемотехником в фирме ADM, специализирующемся на производстве профессиональной звуковой аппаратуры. В 1979 г. Монфорт вернулся в Мичиганский университет, где работал в качестве специалиста по электронике. Там он создал университетский центр звукозаписи и записывал выступления музыкальных ансамблей этого учебного заведения. Монфорт принимал участие в подготовке многих широковещательных радио- и телевизионных передач, записей на грампластинках и цифровых компакт-дисках.

Philip H. Brownell (ФИЛИП Г. БРОУНЕЛ «Как песчаный скорпион находит свою жертву») — преподает зоологию в Университете шт. Орегон в Корваллисе. Учился и затем работал в Калифорнийском университете: в 1970 г. в Беркли он получил степень бакалавра, в 1975 г. в Риверсайде — степень доктора, после чего вел самостоятельную научную работу в Сан-Франциско, где занимался изучением нервной системы и клеточных основ поведения у моллюсков. Эти исследования Броунел продолжил в Университете шт. Орегон. В круг его научных интересов входит также поведение членистоногих, что в сочетании с любовью к природе пустынь привело Броунела к изучению повадок и органов чувств песчаного скорпиона.

Georges Touzet (ЖОРЖ ТУЗЭ «Лесное древоводство») — генеральный директор Ассоциации лес—целлюлоза. Родился в Париже в 1930 г. Получил образование в Национальном агрономическом институте и в Национальном колледже водных и лесных ресурсов, где специализировался в области изучения тропиков. Возглавляя отделение лесоведения в Габоне, в 1958—1960 гг. организовал работы по восстановлению массивов розового дерева. Вернувшись в 1960 г. во Францию, создал Ассоциацию лес—целлюлоза — исследовательскую организацию по изучению технологии облесения с учетом требований целлюлозно-бумажной промышленности. Занимался проблемами питания деревьев, а с 1965 г. — вопросами вегетативного размножения. Тузэ — член-корреспондент Французской академии сельского хозяйства.

Lynn A. Cooper, Roger N. Shepard (ЛИНН А. КУПЕР, РОДЖЕР Н. ШЕПАРД «Мысленное вращение объек-

та») — психологи-экспериментаторы, совместно работали в области изучения умственных образов. Купер — доцент в Питтсбургском университете и старший научный сотрудник в принадлежащих этому университету Центре по изучению обучения и развития и Центре философии науки. Училась в Мичиганском университете, докторскую степень получила в Станфордском университете в 1973 г. Купер была присуждена премия Американской психологической ассоциации для молодых ученых-психологов. Шепард — профессор психологии Станфордского университета. Первую научную степень получил в этом университете в 1951 г. В 1955 г. защитил докторскую диссертацию в Йельском университете. В 1985 г. вернулся в Станфордский университет на исследовательскую и преподавательскую работу. Шепард — обладатель нескольких почетных званий и наград, в том числе премии Американской психологической ассоциации, член Национальной академии наук США.

John D. Harbron (ДЖОН Д. ХАРБРОН «Кораблестроение в Испании XVIII века») — сотрудник международного отдела газетного объединения Thomson Newspaper Group в Канаде, давно интересуется историей мореплавания. Окончив университет в Торонто и аспирантуру Гаванского университета, Харброн поступил на службу в канадские ВМС, где, будучи офицером, преподавал военно-морскую историю в Военно-морском колледже Канады в Ройал-Роудз (Британская Колумбия, провинция Канады). После ухода в отставку, до поступления на службу в объединение Thomson Group, не раз выступал в американской, канадской и британской печати. Харброн имеет несколько наград, является кавалером испанского католического ордена Изабеллы. За оказанную ему помощь в подготовке настоящей статьи Харброн благодарит сотрудников Военно-морского музея в Мадриде, и в частности его директора, капитана второго ранга Хосе Мария Зумалакарреги.

Атомная "память"

В атомных системах, постепенно вышедших из некоторого упорядоченного состояния, можно вызвать возврат к первоначальной упорядоченности. Это позволяет исследовать атомные взаимодействия, труднодоступные для экспериментальных наблюдений

РИЧАРД ДЖ. БРУЭР, ЭРВИН Л. ХАН

КОГДА в 1872 г. Людвиг Больцман, один из основоположников современной термодинамики, читая лекцию, сказал, что энтропия (т.е. мера беспорядка) изолированной системы с течением времени необратимо возрастает, присутствовавший в зале физик Йозеф Лошмидт встал с места, чтобы выразить несогласие. Он указал на то, что законы, по которым движутся все частицы, симметричны относительно времени, поэтому любую систему, перешедшую от упорядоченного состояния к хаосу, можно снова сделать упорядоченной, просто «обратив» импульсы всех частиц без изменения полной кинетической энергии системы. Больцман ответил ему: «Импульсы-то обратите Вы!»

В этом столкновении научных мнений ярко выразился парадоксальный характер второго закона термодинамики, согласно которому изолированные системы эволюционируют во времени в направлении возрастания энтропии. Возражение Лошмидта все-таки сохраняет силу. Если бы можно было снять на кинопленку движение небольшого числа частиц, то, просматривая такой кинофильм, ни один физик не смог бы установить, где у прокручиваемой пленки начало, а где конец. Такую обратимость и имел в виду Лошмидт (она получила название парадокса Лошмидта): любой закон, по которому движется система из большого числа частиц, должен быть симметричным относительно времени. Смысл второго закона термодинамики и следствия из него до сих пор служат предметом активных исследований и споров (см.: The Arrow of Time, by David Layzer, "Scientific American", December, 1975). В настоящее время известен ряд способов, при помощи которых осуществляется лошмидтово «обращение» времени. Другими словами, систему частиц, казалось бы полностью вышедшую из состояния высокой упорядоченности, можно вернуть в это состояние, изменив на обратное направление движения (или направление

изменения других степеней свободы) всех частиц в системе. Таким образом, система атомов может как бы помнить о своем прежнем состоянии.

Чтобы продемонстрировать такого рода атомную «память», систему нужно подготовить, создав в ее внешне разупорядоченном состоянии некую скрытую упорядоченность. В тех атомных системах, о которых речь пойдет ниже, скрытая упорядоченность создается путем воздействия на образец (твердый, жидкий или газообразный) когерентным электромагнитным излучением разного типа — радиочастотным, сверхвысокочастотным или лазерным. Звуковые волны тоже подходят для этого. Возврат подобной системы к упорядоченному состоянию обнаруживается, когда образец испускает импульс собственного когерентного электромагнитного излучения — как бы «эхо» полученного им ранее импульса внешнего излучения. Такие эхо-импульсы и другие сходные формы испускания когерентного излучения весьма интересны сами по себе, но они также открывают новые пути исследования фундаментальных характеристик атомных взаимодействий.

ЧТО такое скрытая упорядоченность, можно пояснить, пользуясь следующей аналогией. Представим себе группу бегунов, выстроившихся на линии старта кольцевой беговой дорожки (см. рисунок на с. 6). По выстрелу из стартового пистолета все бегуны начинают бег и растягиваются в цепочку по дорожке, так как каждый бежит со своей (определенной) скоростью. После того как они несколько раз пробегут по кругу, одни из них обгонят других и уже не будет заметно какой-либо связи между положением бегунов на дорожке и их скоростью. Тот, кто не видел начала бега, может подумать, что в расположении бегунов не было никакого порядка — это просто неупорядоченная система.

Предположим теперь, что по условиям соревнований бегуны должны, ус-

lyшав второй выстрел из стартового пистолета, сделанный через 1 мин после старта, повернуть и бежать в обратном направлении. Если они будут бежать назад с теми же скоростями, с которыми бежали вперед, то постепенно они сблизятся и ровно через 2 π мин после начала забега все одновременно пересекут линию старта. Таким образом, первоначальная упорядоченность восстановится. (Естественно, после пересечения линии старта упорядоченность снова нарушится.)

Если же все бегуны бегут с одинаковой угловой скоростью, то первоначальная упорядоченность сохраняется на протяжении всего круга и нет необходимости в изменении направления движения. Для этого более простого случая электромагнитным аналогом может служить явление «спада свободной индукции», которое применяется как в радиочастотном, так и в оптическом диапазонах.

Более конкретный пример эффекта «памяти» можно продемонстрировать с помощью простого механического устройства. В кольцеобразный промежуток между двумя цилиндрами из прозрачной пластмассы наливают вязкую жидкость (см. рисунок на с. 5). Наружный цилиндр неподвижен, а внутренний может вращаться вокруг своей оси. В жидкость вприскивают узкую струйку красителя; это состояние соответствует первоначальной упорядоченности частиц. Если поворачивать внутренний цилиндр, то после нескольких оборотов краситель смешается с жидкостью. Покажите жидкость, находящуюся между цилиндрами, знатоку термодинамики, и он скажет, что молекулы красителя полностью разупорядочены (энтропия системы максимальна) и что процесс смешивания завершен и необратим. Но на самом деле жидкость находится в состоянии скрытой упорядоченности (энтропия постоянна): при обращении направления вращения внутреннего цилиндра процесс смешивания «обращается»; после равного числа оборотов в обратном на-

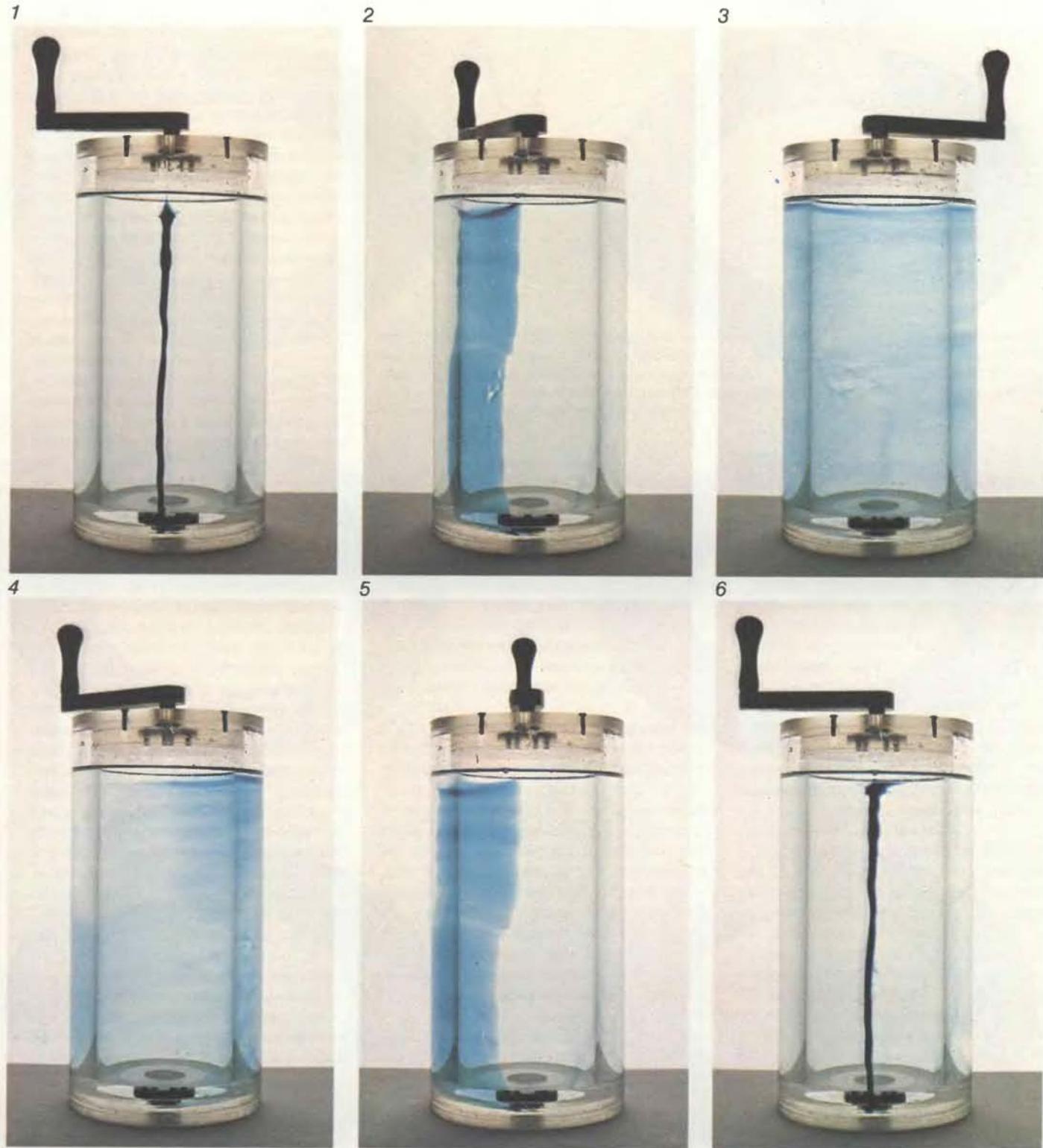
правлении снова возникает вертикальная узкая полоска окрашенной жидкости.

В 1950 г. один из нас (Хан), работавший тогда в Иллинойсском университете, открыл эффект «памяти», связанный с процессами атомного масштаба

(в принципе аналогичный примеру с бегунами и примеру с красителем). В магнитное поле помещали образец глицерина и подвергали его действию двух коротких импульсов электромагнитного радиочастотного излучения, разделенных интервалом t в несколько со-

тых долей секунды. Образец как бы помнил об этой последовательности импульсов и спустя $2t$ с после первого из них испускал третий импульс — «эхо». Данное явление получило название ядерного спинового эха.

Эффект спинового эха обусловлен



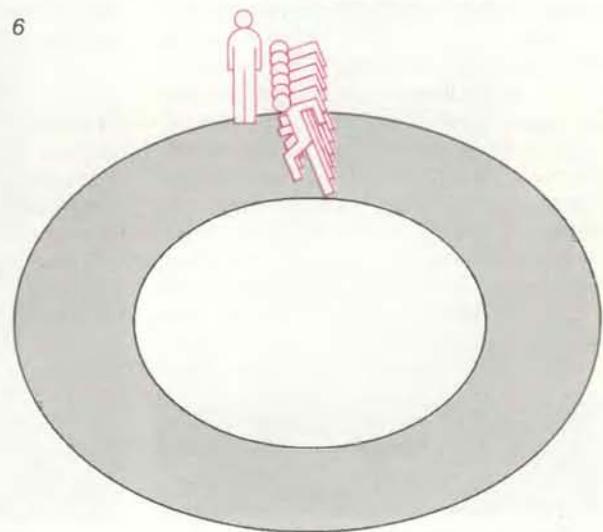
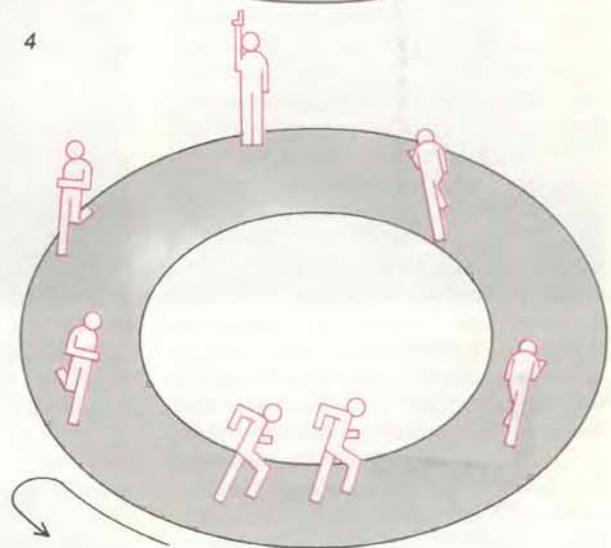
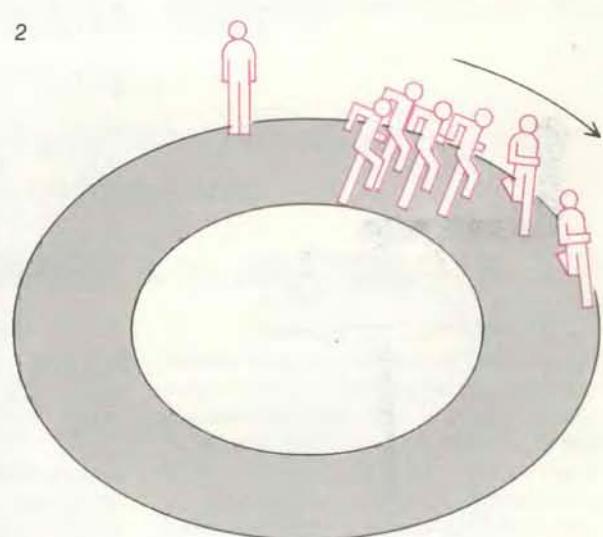
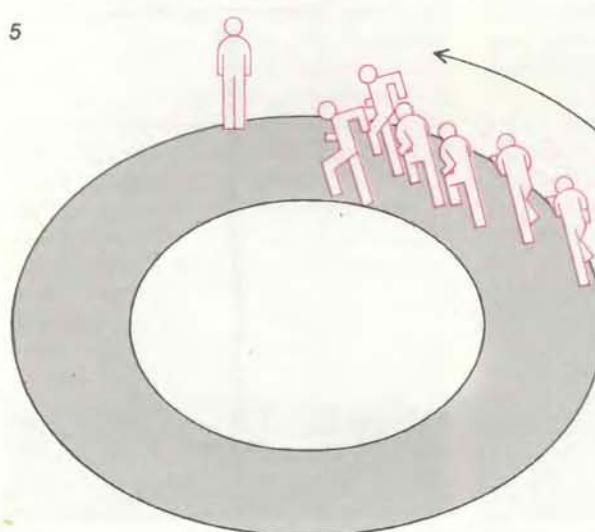
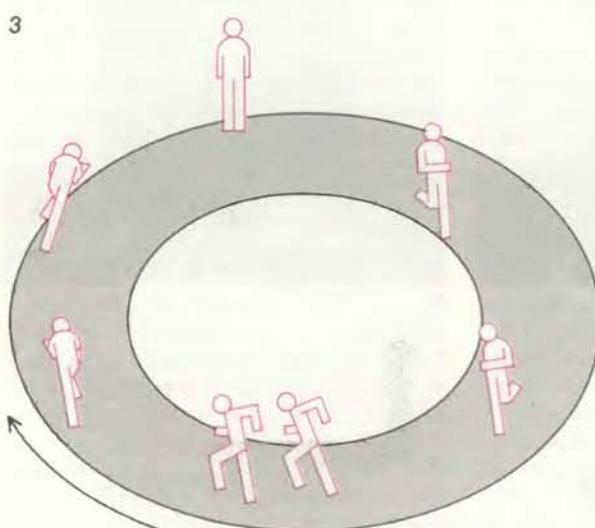
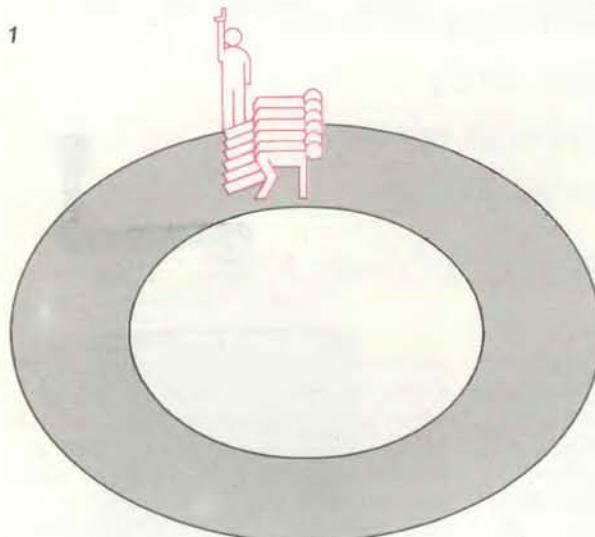
СКРЫТАЯ УПОРЯДОЧЕННОСТЬ СИСТЕМЫ демонстрируется при помощи устройства из двух коаксиальных прозрачных пластмассовых цилиндров. Промежуток между цилиндрами наполнен прозрачной вязкой жидкостью. В нее тонкой струйкой вводится раствор красителя — это первоначальное упорядоченное состояние системы (1). При непод-

вижном наружном цилиндре внутренний поворачивают (2), пока растворитель полностью не смешается с жидкостью (3). Казалось бы, первоначальное упорядоченное состояние полностью нарушено, но если вращать внутренний цилиндр в обратную сторону (4, 5), система снова возвратится в упорядоченное состояние и возникнет струйка красителя (6).

гиromагнитными свойствами атомных ядер, таких, как протон — ядро атома водорода. Поскольку протон вращается вокруг своей оси и электрически заряжен, он имеет магнитный момент (в

какой-то степени аналогичный механическому моменту гироскопа), направленный вдоль *спина* — оси собственного вращения. Если направление спина протона составляет некоторый угол

с направлением постоянного внешнего магнитного поля, то протон, подобно наклоненному гироскопу в постоянном поле тяжести, прецессирует: спин вращается вокруг линии, параллельной на-



ЭФФЕКТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭХА можно объяснить на примере следующей ситуации на кольцевой беговой дорожке. На старте бегуны выстроены в одну линию (1). По выстрелу из стартового пистолета они начинают бег и растягиваются по дорожке (2) так, что в конце концов всякая упо-

рядоченность в их взаимном расположении, казалось бы, полностью исчезает (3). По второму выстрелу (4) бегуны поворачивают и бегут в обратную сторону, так что прежние лидеры теперь оказываются сзади. В конце концов первоначальная упорядоченность восстанавливается (6).

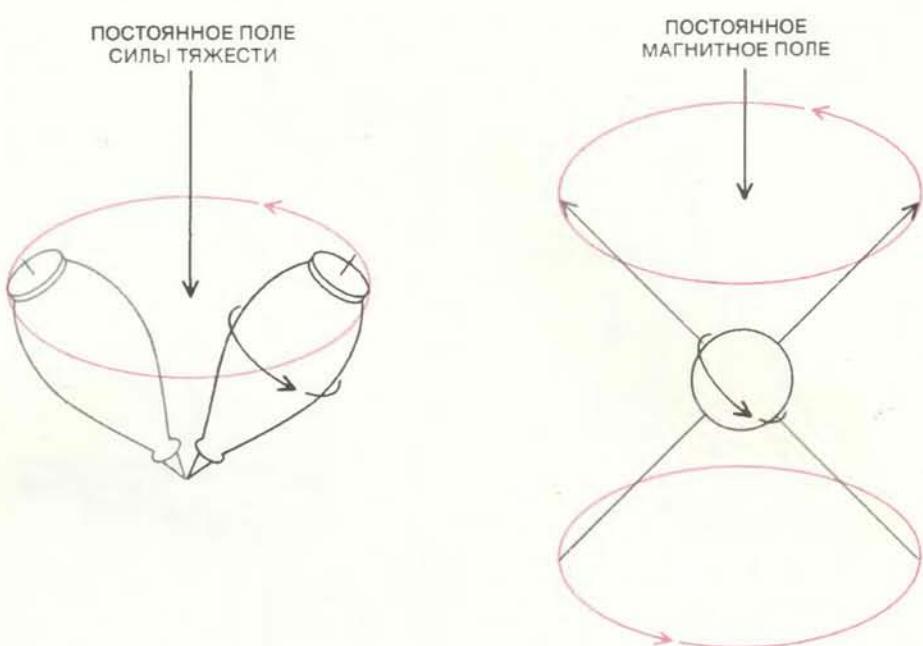
правлению внешнего поля (см. рисунок справа). Частота прецессии, т.е. частота вращения спина, зависит (кроме других факторов) от напряженности внешнего магнитного поля. Прецессия спина протона вокруг направления постоянного внешнего поля лежит в основе эффекта спинового эха.

В эксперименте по спиновому эху постоянные составляющие протонных спинов в образце первоначально ориентируют параллельно постоянному внешнему магнитному полю. Поскольку они строго параллельны полю, они не прецессируют (как не прецессировал бы гироскоп со строго вертикальной осью вращения). Затем на образец подают первый радиочастотный импульс, который содержит циркулярно-поляризованную составляющую — слабое врачающееся магнитное поле с частотой вращения, равной той частоте, с которой прецессировали бы спины протонов, если бы они были непараллельны постоянному магнитному полю и если бы другого поля, кроме постоянного, не было.

Такой радиочастотный импульс вызывает сложное движение системы протонов, которое представляет собой как бы сумму двух прецессий (см. рисунок на с. 8). Одна из них — просто прецессия вокруг постоянного внешнего поля: радиочастотный импульс заставляет спины отклоняться от направления постоянного поля (хотя при этом они остаются почти параллельными друг другу на протяжении короткого импульса), и они начинают прецессировать вокруг силовых линий постоянного поля со своей обычной частотой прецессии. Поскольку магнитное поле в импульсе тоже вращается с такой же частотой, угол между вращающимися радиочастотным полем и спином каждого протона остается постоянным в ходе прецессии спинов протонов. Для прецессирующих протонов импульсное поле играет роль поля, не изменяющего своего направления. Поэтому, прецессируя вокруг постоянного внешнего поля, спины протонов прецессируют и вокруг импульсного поля. При такой двойной прецессии спин каждого протона описывает спираль, расширяющуюся книзу.

Угол, на который поворачиваются спины протонов, зависит от амплитуды и длительности радиочастотного импульса. В типичном эксперименте по спиновому эху длительность первого импульса задается так, чтобы он отклонял спины протонов точно на 90° от вертикали. Тогда они оказываются лежащими в плоскости, перпендикулярной их первоначальному направлению.

Если постоянное магнитное поле остается включенным, то спины протонов синхронно прецессируют в этой плоскости. Такая система большого числа спинов, вращающихся «в уни-



ПРЕЦЕССИЯ ГИРОСКОПА подобна прецессии спина протона в магнитном поле. Конец оси вращающегося наклоненного гироскопа (слева) описывает окружность; такое движение называют прецессией вокруг постоянной силы (в данном случае силы тяжести). Точно так же спин протона (справа) прецессирует вокруг направления постоянного магнитного поля.

сон», подобна большому вращающемуся магниту. Поэтому она испускает осциллирующий электромагнитный импульс — сигнал спада свободной индукции, названный так потому, что синхронная свободная прецессия спинов индуцирует убывающий электромагнитный сигнал (он соответствует моменту старта на беговой дорожке). Теперь спины протонов оказываются в состоянии динамической упорядоченности.

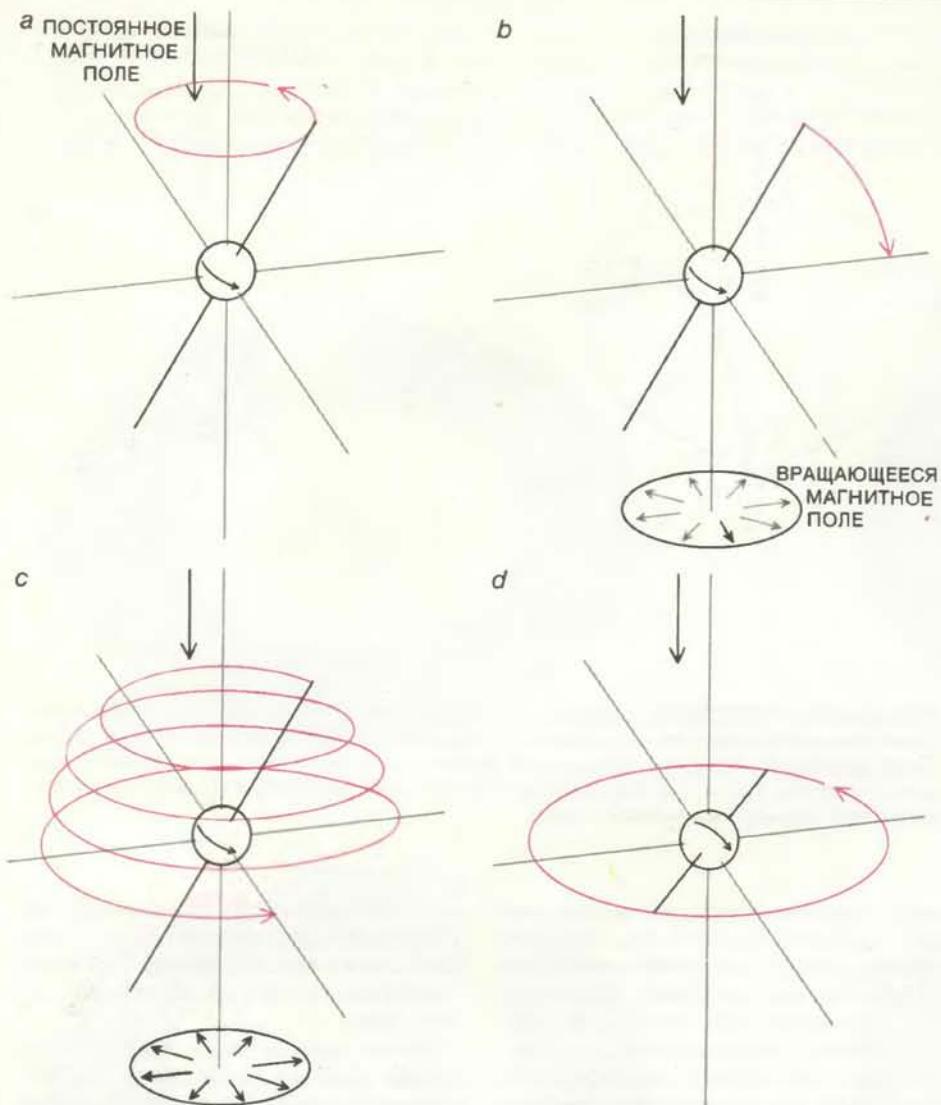
ЭТА упорядоченность постепенно нарушается. Одной из причин спада сигнала свободной индукции может быть то обстоятельство, что напряженность постоянного магнитного поля не всюду в образце строго одинакова. Поскольку частота прецессии спинов пропорциональна напряженности внешнего поля, там, где магнитное поле сильнее, протоны прецессируют быстрее, чем в других местах (так же как на беговой дорожке одни спортсмены бегут быстрее других). В результате спинами становятся непараллельными. Разница в их направлении постепенно увеличивается (так же как бегуны растягиваются в цепочку на беговой дорожке). Спины протонов, которые прецессируют быстрее, на некоторый угол опережают спины медленно прецессирующих протонов (см. рисунок на с. 9). Угол между любыми двумя спинами, оказавшимися непараллельными, называют фазовым углом. Его величина показывает, в какой степени два спина вращаются несинхронно.

Когда движение протонов становится несинхронным, они уже не создают переменного электромагнитного поля: свободная индукция исчезает. Образец теперь находится в состоянии кажущегося хаоса.

После спада сигнала свободной индукции образец возбуждают вторым радиочастотным импульсом, который подобен повторному выстрелу из стартового пистолета. Это импульс излучения той же частоты, что и первый, но его длительность (в обычном эксперименте) вдвое больше. Поэтому спины протонов поворачиваются на 180° и снова оказываются в плоскости, перпендикулярной направлению внешнего поля. Но теперь направление всех спинов изменено на обратное.

После первого радиочастотного импульса фазовые углы между быстро и медленно прецессирующими спинами постепенно увеличиваются. После второго импульса, «перевернувшего» все спини, фазовые углы между разными спинами остались прежними, но быстрее и медленнее прецессирующие спинны поменялись местами.

Теперь быстро прецессирующие спины протонов оказались позади медленно прецессирующих, точно так же, как быстро бегущие спортсмены оказываются после второго выстрела из стартового пистолета позади медленно бегущих. Как и в ситуации на беговой дорожке, быстро прецессирующие спины в конце концов «поравняются» с медленно прецессирующими, и все спини снова окажутся ориентированными одинаково. В этот момент атомы испу-



ПРЕЦЕССИЯ СПИНА ПРОТОНА, на который действуют одновременно постоянное магнитное поле и вращающееся (циркулярно-поляризованное) магнитное поле, представляет собой наложение двух более простых движений. Первое движение — прецессия вокруг постоянного магнитного поля (а, цветная линия). Если второе поле вращается точно с такой же частотой, с которой прецессирует спин протона, то угол между ними не меняется. Для прецессирующего протона такое вращающееся поле эквивалентно постоянному полю, и он прецессирует вокруг него, поворачиваясь вниз, так как оно горизонтально (б, цветная линия). Сумма двух прецессий дает спираль, расширяющуюся книзу (с, цветная линия). Когда спин оказывается в плоскости, перпендикулярной постоянному полю, вращающееся поле выключается и спин продолжает прецессировать вокруг постоянного поля, оставаясь в этой плоскости (д, цветная линия).

скают импульс излучения — эхомпульс, показывающий, что, казалось бы утраченная, упорядоченность снова восстановлена.

Внешнее радиочастотное поле, импульсами которого вызывается спиновое эхо, должно быть, как говорят физики, в резонансе со спинами протонов, т.е. частота поля должна быть равна собственной частоте прецессии протонов. Такая способность резонансного излучения переворачивать спины ядер была положена в основу метода ядерного магнитного резонанса (ЯМР), открытого в 1946 г. независимо друг от друга Э. Перселлом из Гарвардского университета и Ф. Блохом, тогда работавшим в Станфордском университе-

те. В ЯМР-спектроскопии образец возбуждается, чтобы определить частоты, на которых внешнее излучение вызывает переворачивание спинов; каждая резонансная частота соответствует определенному ядерному спину в определенном ядерном окружении. Например, напряженность локального магнитного поля может быть неодинаковой в разных областях молекулы вследствие того, что электронное облако частично экранирует ядро от внешнего поля. Зная частоты, на которых происходит переворачивание спинов, можно определить химический состав образца. На эффекте спинового эха основаны высокочувствительные методы ЯМР-интроскопии: контроли-

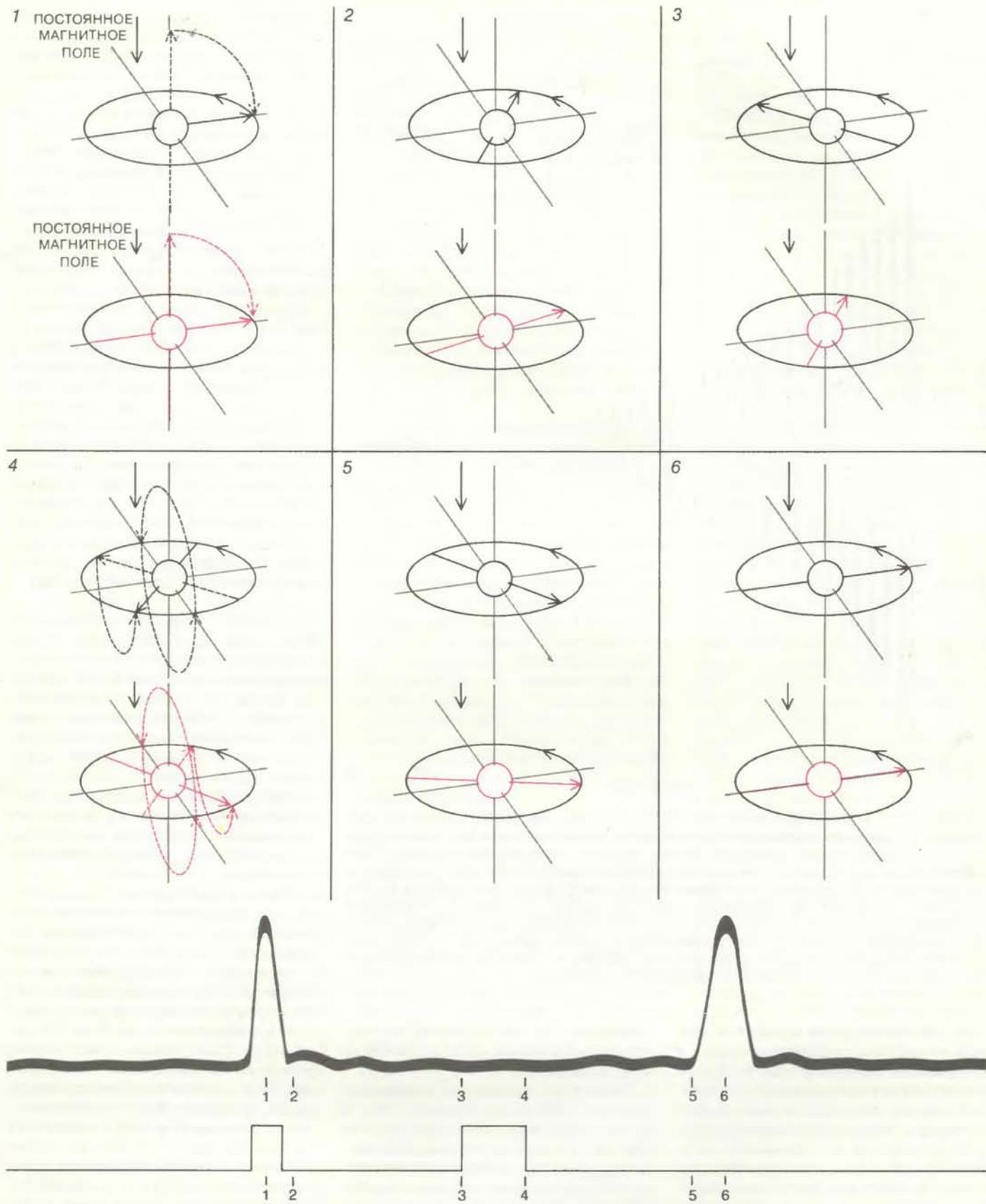
руя внешние поля, можно наблюдать, в каких местах большого образца (даже тела человека) наблюдаются заданные частоты прецессии.

ВОЗМОЖНЫ и другие способы исследования свойств различных веществ по эффекту спинового эха. На беговой дорожке бегуны не придут к линии старта все одновременно, если некоторые, устав, сбавят скорость; всякое изменение скорости вносит беспорядок в скрытую упорядоченность. Причиной разупорядочения в атомном образце могут быть столкновения между атомами, магнитное взаимодействие между соседними атомами, переход атомов из областей более сильного магнитного поля в область более слабого с соответствующим уменьшением частоты прецессии. Если увеличить интервал между двумя радиочастотными импульсами, то степень разупорядоченности увеличится и эхо-сигнал будет более слабым. По величине эхо-сигнала или по времени его спада можно судить о таких случайных процессах в веществе, как тепловое движение, внутреннее движение и флуктуации локального поля.

С появлением когерентного лазерного излучения принцип исследования эхо-сигнала был перенесен на область оптических частот; это осуществили в 1964 г. Н. Кернит, А. Абелла и С. Хартмани из Колумбийского университета (см.: *Photon Echoes*, by Sven R. Hartmann, "Scientific American", April, 1968). Физическая основа эффектов спинового и фотонного эха одинакова — это пример скрытой упорядоченности, создаваемой когерентным излучением и выявляемой по когерентному излучению. Но только спиновое эхо связано с ядрами атомов, а фотонное — с атомными электронами. Как удалось показать Р. Фейнману, Ф. Вернуону-младшему и Р. Хеллуорту, тогда работавшим в Калифорнийском технологическом институте, оба эффекта описываются одними и теми же математическими уравнениями, которые представляют собой обобщение первоначальных уравнений Блоха для гироскопа.

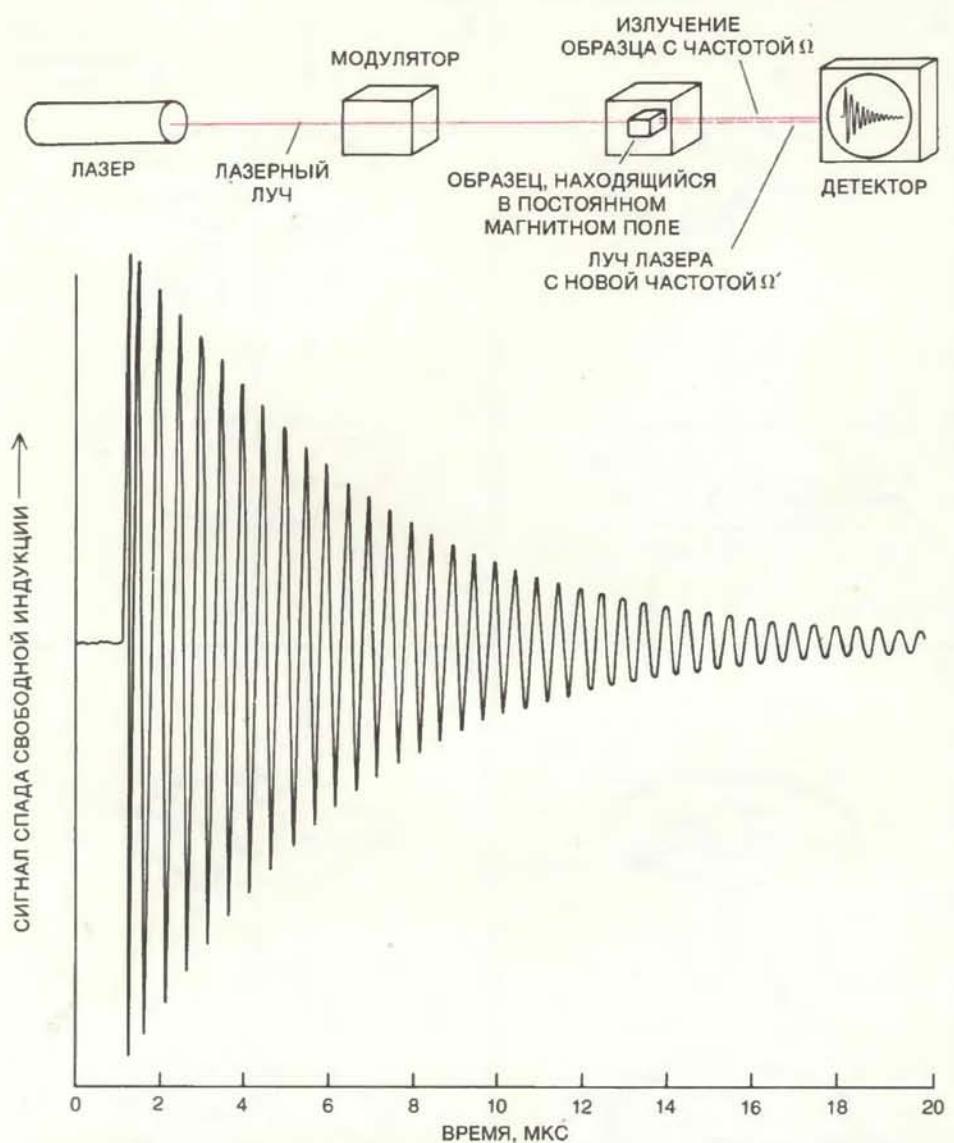
ЭКСПЕРИМЕНТЫ, о которых говорилось выше, показывают, что иногда удается выявить скрытую упорядоченность систем, кажущихся разупорядоченными. Кроме того, некоторые процессы, например столкновения молекул, могут вносить элементы беспорядка в скрытую упорядоченность, в связи с чем эхо-сигнал ослабляется. Нельзя ли задать такие условия эксперимента, при которых сводилось бы к нулю влияние даже подобных случайных, казалось бы, необратимых процессов?

Такая мысль, по-видимому, противоречит интуитивным соображениям о



ЭФФЕКТ СПИНОВОГО ЭХА вызывается двумя радиочастотными (РЧ) импульсами, которые поворачивают спины протонов в жидким образце, находящемся в постоянном магнитном поле. Показаны только два протона; в месте расположения «черного» протона магнитное поле сильнее, чем там, где расположен «цветной» протон. Первый импульс (1) наклоняет спины, пока они не окажутся в плоскости, перпендикулярной постоянному полю, где они продолжают прецессировать. Поскольку постоянное поле неодинаково в разных точках внутри образца, одни спины прецессируют быстрее других, в результате чего возникают различные на-

правления спинов (2, 3). Второй РЧ-импульс длительностью вдвое больше первого переворачивает все спины, так что они снова оказываются в той же плоскости, но угловые соотношения между ними обращены (4). Быстро прецессирующие спины теперь оказываются сзади медленно прецессирующих (5). В конце концов они снова выравниваются, как бегуны на беговой дорожке (6). Внизу показаны две осциллографограммы: нижняя — последовательность РЧ-импульсов, а верхняя — сигналы, испускаемые образцом, когда спины протонов снова выстраиваются в одном направлении, в том числе эхо-импульс (6).



УСТАНОВКА С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРА, на которой один из авторов (Бруэр) и Р. Девое наблюдали ряд эффектов атомной «памяти». Лазерным лучом с частотой Ω возбуждают кристаллический образец, находящийся в постоянном магнитном поле. Затем при помощи модулятора переключают частоту лазера на новое значение Ω' . Образец, резонирующий после возбуждения на первой частоте, испускает когерентное излучение — сигнал спада оптической свободной индукции — с первоначальной частотой Ω . Излучение образца налагается на излучение лазера и детектор дает сигнал интерференции. Длительность этого сигнала есть характеристика атомной «памяти» образца — она показывает, как долго его атомы «помнят» о первоначальном лазерном луче.

тому, что последствия случайных процессов типа столкновений молекул в принципе необратимы. Но в данном случае интуитивные выводы ошибочны: иногда оказывается возможным устранить даже разупорядочивающее влияние упругих столкновений молекул. Это достигается использованием большого числа импульсов падающего излучения с малыми интервалами между ними. Такие многоимпульсные эксперименты в ЯМР впервые были проведены Х. Карром, который теперь работает в Университете Ратгерса, и Перселлом. Я. Шмидт из Лейденского государственного университета, П. Берман из Нью-Йоркского университета и один из нас (Бруэр) позже применили многоимпульсный метод в оптическом

диапазоне. Мы расскажем об эксперименте с фотонным эхом в газообразном образце.

Эффект фотонного эха в принципе сходен с эффектом спинового эха. В случае последнего внешний импульс радиочастотного излучения, резонансного со спинами протонов, ориентирует их в одном направлении, переводя систему спинов в состояние динамической упорядоченности. Эта упорядоченность, казалось бы, теряется, но ее восстанавливает второй резонансный радиочастотный импульс, который обращает фазовые углы всех протонов, заставляя их снова выстроиться в одном направлении, в результате чего и возникает эхо-сигнал. В случае фотонного эха все происходит так же, но только

излучение — лазерное (т.е. относящееся к оптическому диапазону частот) и находится в резонансе с колебаниями электронного облака, окружающего ядро в каждом атоме газа.

В типичном эксперименте по фотонному эху атомы газа находятся в состоянии хаотического теплового движения (они ведут себя как бильярдные шары, претерпевающие упругие столкновения), в результате которого изменяются их скорости, но не меняется внутреннее состояние. Если после возбуждения первым лазерным импульсом атомы упруго рассеиваются, их траектории и скорости несколько изменяются. За счет эффекта Доплера изменится и частота излучения, испускаемого каждым атомом (она аналогична частоте прецессии спина). Таким образом, атомная система утрачивает скрытую упорядоченность. В примере с бегунами так было бы, если бы из-за столкновений между ними изменилась скорость каждого из них. В случае ЯМР потеря скрытой упорядоченности происходит вследствие того, что часть молекул жидкого образца беспорядочно диффундирует в места с иной напряженностью магнитного поля.

ВЕРНЕМСЯ к аналогии с беговой дрожкой. Представим себе, что выстрелы из стартового пистолета часто повторяются и после каждого выстрела бегуны поворачивают в обратную сторону. Даже если в промежутке между двумя выстрелами скорость бегуна слегка изменилась (вследствие столкновения), он пересечет линию старта почти одновременно с другими участниками забега, поскольку за короткое время между выстрелами не успеет далеко уйти от своего «упорядоченного» положения.

Такая последовательность многократных обращений направления приводит к еще более существенным результатам. Допустим, что вследствие столкновения с другим спортсменом скорость бегуна слегка изменилась. Он будет пробегать большее расстояние в единицу времени, чем пробегал бы, если бы не было никаких столкновений между всеми участниками забега. Но, поскольку он то и дело меняет направление, он удаляется от «упорядоченного» положения то в одну сторону, то в другую на одно и то же расстояние. Поэтому в среднем расстояние, на которое бегун отходит от «упорядоченного» положения, будет равно нулю. Он будет оставаться приблизительно в одной шеренге с другими бегунами. Таким образом, все будет происходить так, как если бы никакого столкновения не было.

Аналогично если газообразный образец возбуждать часто повторяющими импульсами, то доплеровские сдвиги частоты, обусловленные уп-

гими столкновениями, будут усредняться до нуля. Атом, скорость которого изменилась, будет испускать излучение с частотой, несколько отличающейся от частоты излучения «среднего» атома. Но поскольку каждый повторный импульс будет обращать «фазу» этого атома (как выстрел из пистолета обращает направление движения бегуна), частота испускаемого им излучения будет то больше, то меньше средней. В среднем все атомы будут возбуждаться «в унисон». Поскольку атомы остаются синхронизованными, влияние упругих столкновений оказывается минимальным.

После каждого из многократно повторяющихся импульсов атомы будут возвращаться в упорядоченное состояние (как бегуны за время между двумя выстрелами), и каждый раз, когда они окажутся в таком состоянии, они будут давать новый эхо-сигнал. Таким образом, последовательность многократно повторяющихся импульсов сопровождается последовательностью эхо-сигналов: один эхо-сигнал между каждыми двумя импульсами.

Многоимпульсный метод Карра — Перселла позволяет усилить обычный эффект эха. Действуя на образец большим числом импульсов, экспериментатор вызывает большое число эхо-сигналов, поэтому время пребывания образца в упорядоченном состоянии увеличивается.

Существует еще более интересный вариант многоимпульсного метода. Он основан на так называемом эффекте «магического эха», который впервые был продемонстрирован Дж. Уофом, а также В.-К. Римом и А. Пайнсом, которые были тогда его студентами в Массачусетском технологическом институте. Эффект заключается в том, что на образец действуют специально подобранный последовательностью импульсов («магическим сандвичем» импульсов) и получают одиночный эхо-сигнал. В эффекте магического эха особенно интересно то, что его можно продемонстрировать на образце, который при использовании обычного метода вообще не дал бы эхо-сигнала. Если не подавать на образец такую последовательность импульсов, то прежнее состояние упорядоченности образца восстановить невозможно.

ВТИПИЧНОМ эксперименте по магическому эху кристалл фторида кальция помещают в постоянное магнитное поле. Как и в эксперименте со спиновым эхом, на образец действуют импульсом радиочастотного излучения, который поворачивает спины ядер фтора на 90°. После этого кристалл испускает сигнал спада свободной индукции, как и жидкий образец в эксперименте со спиновым эхом. После того как сигнал ослабится до нуля, подают

еще один 90°-ный импульс, за которым сразу же следует длинная серия часто повторяющихся 180°-ных импульсов, завершающаяся еще одним 90°-ным импульсом. Это и есть «магический сандвич» импульсов: два 90°-ных импульса, а между ними — «начинка» из 180°-ных импульсов.

Пока еще нет простой наглядной модели, которая позволила бы пояснить, что происходит в случае магического эха. Можно лишь сказать (в соответствии с принятой в настоящее время математической теорией), что подобный «магический сандвич» импульсов фактически вызывает изменение знака на обратный в уравнении движения ядра атома фтора. В результате достигается то самое обращение импульсов, о котором Лошмидт когда-то говорил Больцману.

Даже при многоимпульсном методе наблюдается спад эхо-сигнала: амплитуда каждого следующего эхо-импульса меньше, чем предыдущего. В случае газообразного образца такой спад обусловлен в основном неупругими столкновениями, т.е. столкновениями настолько сильными, что они могут приводить к необратимым квантовым изменениям энергетических уровней в сталкивающихся атомах. Таким образом, спад эхо-сигнала в многоимпульсном эксперименте дает информацию о частоте неупругих столкновений и диффузии в образце. Это означает, что многоимпульсный метод позволяет выделять определенные типы атомных взаимодействий и изучать их без помех со стороны различных динамических процессов.

ЭФФЕКТ атомной «памяти» можно продемонстрировать еще одним способом, не требующим «обращения» времени. Его принцип подсказывает аналогия с ситуацией на беговой дорожке. Возможен случай, когда все спортсмены бегут с одинаковой угловой скоростью, сохраняя свою первоначальную «упорядоченность». Это самый простой вариант, но как его осуществить?

В газообразном образце можно выделить все атомы, движущиеся с определенной скоростью, возбуждая его монохроматическим (одночастотным) излучением лазера, работающего в непрерывном режиме на нужной резонансной частоте. За счет эффекта Доплера одинаковые атомы, движущиеся с разными скоростями, будут поглощать свет слегка различающихся частот. Если излучение лазера спектрально чистое, т.е. соответствует практически одной частоте, то когерентно возбуждены будут только атомы с одним определенным значением скорости. На беговой дорожке это соответствует тому случаю, когда на старт допускаются бегуны «с определенной

скоростью».

Упорядоченность таких когерентно возбужденных атомов демонстрируется на установке с переключением частоты лазера. После длительного периода возбуждения частоту лазера резко переключают на новое значение, так что она выходит из резонанса с группой возбужденных атомов. Тем самым прекращают возбуждение. Но когерентно возбужденные атомы ведут себя теперь как система одинаковых камертонов, испытавших одновременный удар. Поскольку все они имеют одинаковую резонансную частоту, они усиливают друг друга и испускают «в унисон» интенсивный когерентный луч света, направленный вперед (как и луч лазера). Он обнаруживает все признаки лазерного излучения (когерентность, направленность и монохроматичность), поскольку атомы «помнят» о своем упорядоченном состоянии. Это оптический аналог спада свободной индукции, наблюдающегося в ЯМР.

Эффект спада свободной индукции был открыт при ядерном магнитном резонансе на радиочастотах одним из нас (Ханом), а в оптической области спектра — Р. Шумейкером, который теперь работает в Университете шт. Аризона. Как и эффекты спинового или фотонного эха, спад свободной индукции позволяет измерять в разных материалах характеристики процессов, которые трудно исследовать другими методами. Проводя эксперименты на разных частотах испускания в различных условиях, можно получить более полное представление о межмолекулярных и внутримолекулярных взаимодействиях.

Метод переключения частоты лазера разработан в Сан-Джозской исследовательской лаборатории фирмы IBM одним из нас (Бруэром) в сотрудничестве с Э. Гинеком. С помощью такого метода удалось наблюдать не только спад свободной индукции, но и целый ряд эффектов атомной «памяти». Настройка лазера в резонанс с атомным образцом и выведение его из резонанса в некотором отношении эквивалентны воздействию на образец импульсами лазерного излучения. Таким образом, переключение лазера на частоту, резонансную для данного образца, в течение двух коротких интервалов времени эквивалентно подаче на образец двух коротких лазерных импульсов и поэтому вызывает такой же эффект фотонного эха. Преимущество метода переключения частоты заключается в том, что процессы переключения можно гораздо точнее регулировать во времени и контролировать при помощи электрооптических устройств. Кроме того, за счет интерференции между излучением образца и излучением лазера (на новой частоте) возникает сильный (гетеродинный) сигнал биений, что позволяет

выделять излучение образца из шумового фона.

НЕДАВНО один из нас (Бруэр) и Р. Девое (сотрудник фирмы IBM) использовали метод переключения частоты лазера для исследования уравнений гироскопа, лежащих в основе первой теории ЯМР, разработанной Блохом. Согласно уравнениям Блоха, времена спада атомной (или ядерной) «памяти» не должно зависеть от напряженности внешних полей. В 1955 г. А. Редфилд исходя из термодинамических соображений показал, что в эти уравнения должны быть внесены изменения. Он исследовал ядерный магнитный резонанс в чистом металле и установил, что сильное радиочастотное поле может приводить к увеличению длительности сохранения «памяти» (т. е. к уменьшению скорости спада сигнала, связанного с упорядоченностью) благодаря эффекту усреднения во времени, который в ряде отношений аналогичен «обращению» времени.

Девое и Бруэр распространили термодинамические соображения Редфилда на эксперименты в области оптических частот. Они работали с одним из самых стабильных из существующих перестраиваемых лазеров: частоту его генерации можно регулировать, а когда она фиксирована, ее изменения не превышают $5 \cdot 10^{-10}\%$. С этим лазером Девое и Бруэр проводили эксперименты по регистрации спада сигнала свободной индукции. В качестве образца был взят кристалл фторида лантана, содержащий примесные ионы празеодима. Спад сигнала свободной индукции был обусловлен магнитным взаимодействием между ионами празеодима и соседними ядрами фтора.

Подобно протону, ядро фтора ведет себя как вращающийся заряд, создающий собственное магнитное поле. Поля ядер фтора достаточно сильны и могут «переворачивать» спины соседних ядер фтора точно так же, как радиочастотный импульс вызывает переворачивание спина протона. При переворачивании спина одного ядра фтора изменяется локальное магнитное поле, и это изменение может оказаться достаточно большим для переворачивания спинов соседних ядер фтора. Такие случайные последовательности переворачиваний спинов происходят в кристалле фторида лантана.

Когда кристалл фторида лантана подвергается действию когерентного лазерного излучения с правильно подобранный резонансной частотой, ионы празеодима синхронно возбуждаются и синхронно испускают собственное когерентное излучение — сигнал спада свободной индукции. Ядра фтора, претерпевающие случайные переворачивания спинов, могут нарушать синхронность соседних ионов празео-

дима, что приводит к уменьшению до нуля интенсивности когерентного оптического излучения образца.

ДЕВОЕ и Бруэр измеряли время такого спада методом переключения частоты лазера, о котором говорилось выше. Они возбуждали образец фторида лантана излучением перестраиваемого лазера на красителе, а затем переключали частоту лазера так, что она выходила из резонанса с примесными ионами празеодима. Для этого и была необходима необычайно высокая частотная стабильность лазера: ширина линии празеодима равна всего лишь 10 кГц, что примерно в 10^7 раз меньше ширины линии во всех прежних оптических измерениях с твердыми образцами. С момента переключения частоты лазера празеодим испускал сигнал свободной индукции, который спадал до нуля приблизительно за 17 мкс.

Магнитное взаимодействие между фтором и празеодимом можно погасить, увеличив интенсивность лазерного излучения, которое служит для возбуждения образца. При увеличении интенсивности возбуждающего излучения ионы начинают быстрее совершать переходы между высшим и низшим квантовыми состояниями, поглощая и снова испуская фотоны. Каждый раз, когда ион празеодима проходит через цикл поглощения — испускания, ядерное магнитное взаимодействие между ним и соседним ядром фтора меняет знак. Другими словами, после того как ион празеодима поглотит и снова испустит фотон, взаимодействие между ним и соседним ядром фтора оказывает обратное влияние. Так, ядро фтора, которое, действуя на ион празеодима, нарушило его синхронность с другими ионами, начинает действовать противоположным образом и заставляет его снова синхронизоваться. Это эквивалентно обращению фазовых соотношений в многоимпульсном эксперименте Карра — Перселла. Если интервал времени между обращениями фазовых соотношений меньше интервала между десинхронизирующими событиями (в данном случае между случайными переворачиваниями спинов ядер фтора), то возмущения, вызываемые ядрами фтора, компенсируются вследствие изменения знака их взаимодействия с ионами празеодима. Совместно с А. Шенцле из Эссенского университета (ФРГ) и М. Мицунарой, сотрудником фирмы IBM, Девое и Бруэр развили общую микроскопическую квантовую теорию данного явления, впервые позволившую распространить термодинамические соображения Редфилда на оптическую область спектра.

МЕТОДЫ с использованием импульсного радиочастотного излучения, в принципе известные уже почти 40 лет,

играют очень важную роль в научных исследованиях, в основном для определения структуры химических соединений, изучения твердого состояния и, в частности, в медицине для обследования тела человека (ЯМР-томография). Благодаря появлению лазеров с исключительно высокой монохроматичностью и стабильностью излучения проведение исследований такими методами стало возможным и в оптическом диапазоне спектра.

Рассмотренные эффекты атомной «памяти» вызвали бы восхищение Лошмидта, так как они показывают, что некоторые виды разупорядочения, даже вызываемого случайными столкновениями частиц, можно обратить. Позволяя устранить разупорядочивающее влияние некоторых процессов, они дают возможность более детально исследовать другие явления и получить более ясное представление о структуре и взаимодействиях в веществе на атомном уровне.

Издательство МИР предлагает:

ВОДА В ПОЛИМЕРАХ

Под ред. С. Роулenda

Перевод с английского

Книга посвящена вопросам взаимодействия воды как с биологическими, так и с синтетическими полимерами.

Содержание: Структура воды. Макро- и микровзаимодействия между водой и полимерами. Подвижная водная фаза в белках. Упорядоченная («организованная») вода в белках. Взаимодействие воды с полисахаридами. Проницаемость, транспорт воды и ионная селективность. Взаимодействие синтетических полимеров с водой. Влияние воды на эксплуатационные свойства полимеров.

Для научных и инженерно-технических работников — химиков, биохимиков, биологов, медиков.

1984, 35 л. Цена 5 р. 60 к.



50 и 100 лет назад

**SCIENTIFIC
AMERICAN**

ДЕКАБРЬ 1934 г. Из сообщений в печати следует, что в будущем дизельный двигатель станет самым распространенным. Так, оснащенная дизелем гоночная машина во время соревнований в г. Индианаполисе дистанцию 500 миль проходит со средней скоростью 86,14 мили в час, а большой автобус расстояние от Нью-Йорка до Лос-Анджелеса проезжает за 91 ч и расходует горючего на сумму 21,9 долл. Дизели устанавливаются на новейших подводных лодках и самолетах, что дает значительную экономию топлива. Однако экономические аспекты применения дизеля должны оцениваться более осторожно. Единого мнения среди инженеров нет, поэтому будущее двигателя зависит от того, насколько успешным будет совершенствование как самого двигателя, так и его применений. На стационарных установках и на флоте его положение непоколебимо. Достигнуты также определенные успехи в использовании дизеля на таких транспортных средствах, как дрезина и грузовой автомобиль. Но, по-видимому, пройдут годы, прежде чем дизель станет играть заметную роль в легковом транспорте. Здесь, как и в авиации, нужны обширные экспериментальные исследования, чтобы оценить экономический эффект его применения.

За последние 12 месяцев в области физики низких температур произошло два значительных события. Профессору П. Капице, директору Лаборатории Монда при Лондонском королевском обществе в Кембридже, удалось создать установку нового типа для сжижения гелия. Его машина позволяет получать жидкий гелий в относительно больших количествах гораздо проще и дешевле, чем прежде. Второе событие связано с именем профессора Лейденского университета В. И. де Гааза, в экспериментах которого была достигнута температура до 0,05 К вблизи абсолютного нуля. Самая низкая температура, достигнутая ранее другими методами, равнялась 0,7 К.

Были ли когда-то на Аляске субтропики? Ответ на этот вопрос могут дать в ближайшем будущем раскопки, которые ведутся около г. Фэрбанкса. На участке всего в несколько квадратных миль среди других ископаемых из грунта были извлечены остатки мамонтов, небольшие лошадиные копыта, множество голов крупных бизонов, громадные лосиные рога, редкий масто-

донт, череп льва и бивень (самый большой из зарегистрированных) какого-то животного. Находки свидетельствуют о том, что в свое время на Аляске обитало множество видов, ныне исчезнувших, и существовала пышная растительность. «Однако, — предостерегает от поспешных выводов Отто Гейст, археолог из Сельскохозяйственного колледжа и Горной школы, — ученые еще не установили, почему на некоторых находках имеется длинная шерсть».

SCIENTIFIC AMERICAN

ДЕКАБРЬ 1884 г. Читатели среднего поколения, конечно, помнят те времена, когда и о Японии, и о Центральной Африке было мало что известно, и еще свежо в памяти знаменательное соглашение о торговле с Японией, заключенное Перри. Сейчас из Японии поступают товаров на 14 млн. долл. в год, причем объем импорта и его значение для Соединенных Штатов быстро возрастают. В обмен на очищенную нефть, отправленную недавно в Японию на сумму в полмиллиона долларов, «дядя Сэм» получает множество нужных товаров. Самый ценный из них — необработанная камфара. Очень важен также растительный воск. Во многих отношениях он предпочтительнее, чем парафин. Затем идет рыбий жир. В размере 9 тыс. пикулей на сумму 264 500 долл. ввозится рыбий клей. Еще один ценный продукт из Японии — металлическая сурьма, используемая в медицине. Этот необыкновенный металл в большом количестве идет и на отливку шрифтов. Сурьма обладает замечательным свойством не изменять объем при охлаждении из расплавленного состояния; благодаря этому из сплавов, содержащих сурьму, получаются четкие матрицы. Япония поставляет и «серебряный» порошок, изготовленный из слюды. Им покрывают обои, чтобы они красиво блестели. Такое покрытие придает особое очарование снежным пейзажам на рождественских открытках. Поверхность, покрытая таким порошком, искрится, подобно снегу в лунном свете.

В штатах Пенсильвания, Западная Виргиния и Огайо непрерывно растет потребление природного газа для производственных нужд и освещения, что может отрицательно сказаться на развитии угольной промышленности в значительной части страны. Природный газ успешно применяется при производстве железа, стали и стекла. Он намного превосходит твердое топливо для паровых машин не только по-

тому, что его использование требует меньше затрат труда и при его сгорании не образуется зола, но и потому, что получаемое тепло распределяется по котлу более равномерно. Это существенно с точки зрения безопасности и срока службы котлов в паровых машинах. Сейчас в указанных штатах ежедневно вместо нескольких тысяч тонн угля применяется природный газ. Несомненно, в ближайшем будущем использование газового топлива в значительной мере возрастет.

Современный грузовой пароход становится чрезвычайно выгодным для транспортировки грузов, особенно с точки зрения потребления топлива. По сравнению с ним перевоз грузов на товарном поезде даже в самых благоприятных условиях кажется «расточительством». Пароход, специально построенный для дешевой перевозки грузов на малой скорости, недавно отправился из Англии в Китай с грузом весом 5 600 тыс. фунтов. За первую часть пути, от Плимута до Александрии, расход топлива составил 282 240 фунтов при расстоянии 3 380 миль, т.е. на одну милю — всего лишь 83,5 фунта, а при перевозке тонны груза на одну милю — 0,028 фунта. Другими словами, половина унции угля «перевозила» одну тонну груза на одну милю. Для локомотива самый экономный расход угля — примерно две унции на тонну груза, перевезенную на одну милю со скоростью 13 миль в час.

Самым «ненасытым» потребителем лесоматериалов в Соединенных Штатах являются железные дороги, которые расходуют лес на шпалы, мосты и для других целей. Согласно данным, приведенным в справочнике "Poor's Railway Manual", общая протяженность железных дорог в США в 1883 г. составляла 121 592 мили. Если учесть, что в среднем на каждой миле железнодорожного полотна укладывается 2820 шпал, а срок их службы равен 6 годам, то ежегодная потребность в шпалах составляет 57 148 240 штук. Ясно, что при таких колосальных расходах дерева на указанные цели стоимость лесоматериалов со временем должна возрасти. Близость такой перспективы, а также обнадеживающие результаты предпринимаемых в настоящее время мер по продлению срока службы деревянных шпал побудили некоторые железнодорожные компании провести экспериментальные работы, направленные на поиск наиболее подходящих методов повышения сохранности дерева. Институт гражданского строительства обобщит сведения о различных способах и доведет их до сведения заинтересованных специалистов. Наиболее эффективным и экономичным методом консервации шпал считается пропитка их креозотом.

Как эмбриональные нервные клетки узнают друг друга

В процессе развития нервной системы нейроны безошибочно находят друг друга и с высокой специфичностью устанавливают нужные связи. У эмбрионов насекомых они это делают, посылая свои отростки вдоль нервных тяжей, на поверхности которых имеются особые молекулы, служащие опознавательными знаками

КОРИ С. ГУДМЭН, МАЙКЛ ДЖ. БАСТИАНИ

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ мозг состоит из сотен миллиардов нервных клеток — нейронов. С помощью многочисленных переплетающихся между собой отростков эти клетки устанавливают друг с другом связи, причем с замечательной точностью. Одна из основных загадок биологии заключается в том, каким образом в ходе эмбрионального развития формируется нервная система, как отдельные нейроны находят и узнают друг друга, как устанавливаются правильные связи.

Морфологические структуры, служащие своего рода лоцманами для растущих эмбриональных нервных волокон, были описаны еще в конце XIX в. выдающимся испанским нейроанатомом Сантьяго Рамон-и-Кахалем, который назвал эти структуры конусами роста. Они представляют собой колбовидные амебоидные выросты на концах удлиняющихся отростков нервных клеток. С. Рамон-и-Кахаль, а вслед за ним Р. Харрисон из Йельского университета отмечали, что рост нервных волокон неслучайен: каждый отдельный конус роста всегда простирается вдоль совершенно определенного пути, чтобы найти свою клетку-мишень. Они высказали гипотезу о том, что конусы роста должны обладать особой химической чувствительностью, а их мишени — соответствующей химической специфичностью. Эта идея получила развитие в начале 60-х годов нашего века в работах Р. Сперри из Калифорнийского технологического института, предложившего свою гипотезу химического сродства. Он пришел к выводу, что «окончательный ход каждого данного нервного волокна отражает историю непрерывной серии решений о выборе направления роста. Эти решения основываются на избирательном сродстве между передовыми волоконами, которые как бы зондируют пространство впереди себя, и теми элементами, на которые они наталкиваются».

За минувшее десятилетие многое прояснилось в строении и механизме движения конусов роста благодаря изучению культуры ткани диссоциированных нейронов. Значительный вклад в эти исследования был внесен Д. Брэм из Лондонского королевского колледжа, П. Летурно из Миннесотского университета и Н. Уэсселсом из Стэнфордского университета. В культуре ткани конуса роста выпускают в разных направлениях многочисленные тончайшие выросты — филоподии (Сперри называл их передовыми волоконцами), которые как бы обследуют свое окружение. Филоподии — динамичные структуры. Они могут вытягиваться, менять направление, вновь втягиваться обратно, и все это происходит в течение нескольких минут. Большинство филоподий приходят в контакт с поверхностями других клеток. Причем если филоподия слабо соединяется с другой клеткой, то она сокращается и втягивается обратно в конус роста. Напротив, прочное соединение приводит к подтягиванию конуса роста к месту контакта. Таким образом в условиях культуры ткани конусы роста могут направиться по тому или иному пути благодаря разной адгезии их филоподий с окружающими клетками.

Теперь поставленные в начале статьи вопросы можно сформулировать в более точных терминах. Как в развивающемся эмбрионе конусы роста нейронов направляются к своим клеткам-мишеням? В какой степени конусы роста и их филоподии способны к специальному распознаванию? Насколько различно помечены поверхности разных клеток? Каков, наконец, молекулярный код этих меток и как он расшифровывается конусами роста развивающихся нейронов? В поисках ответов на эти вопросы большинство исследователей, стремившихся разобраться в процессе развития человеческого мозга, обратились к изучению го-

раздо более просто организованного мозга беспозвоночных животных. Мы вместе со своими коллегами в Стэнфордском университете занялись становлением специфических межнейронных связей у двух насекомых — американской саранчи *Schistocerca americana* и плодовой мушки *Drosophila melanogaster*.

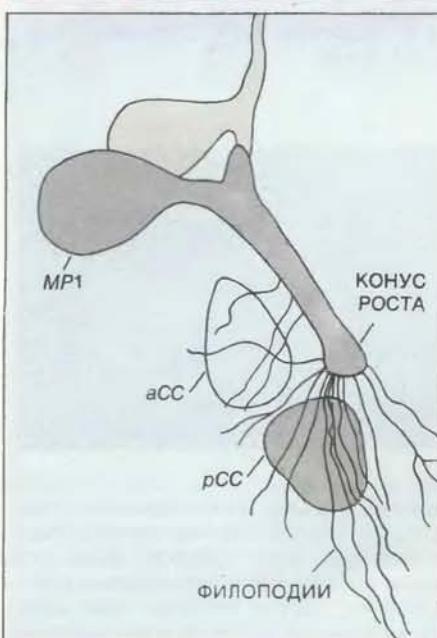
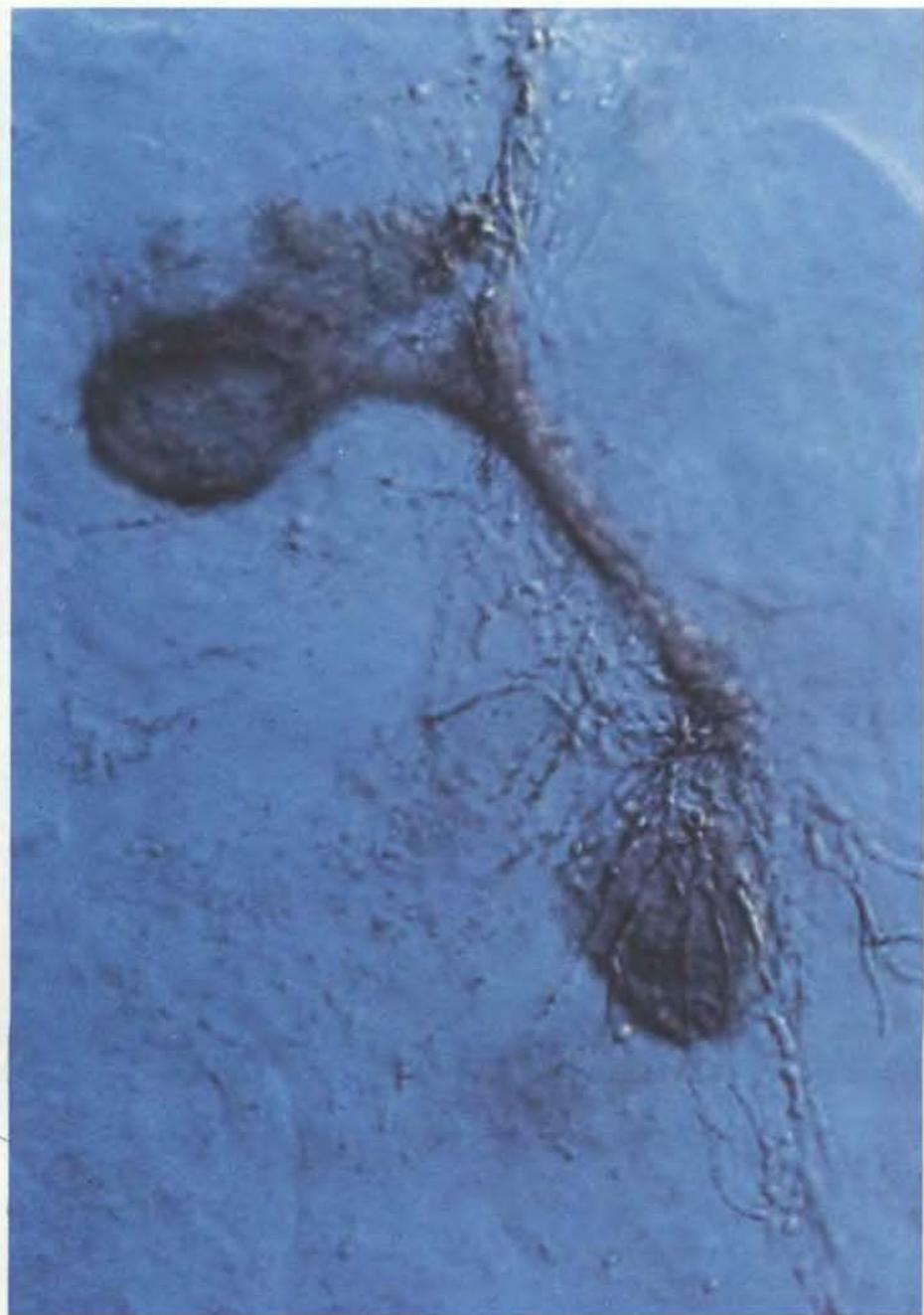
ЦЕНТРАЛЬНАЯ нервная система насекомых, в том числе саранчи и дрозофилы, включает в себя головной мозг, состоящий приблизительно из 50 тыс. нейронов, и цепочку проще устроенных нервных узлов, или ганглиев, по одному в каждом сегменте тела. Каждый ганглий состоит из двух полусегментов, представляющих собой одинаковые наборы из примерно тысячи нейронов. Ганглии связаны между собой большими пучками аксонов, которые называются коннективами. (Аксон — это главный отросток нейрона, служащий для ввода информации в места межнейронных контактов, называемые синапсами, и обмена информацией; дендриты — более короткие отростки, через них клетка в основном принимает информацию.) В ганглии тел клеток расположены тонким слоем вентральной (нижней) его части, большая же дорсальная (верхняя) часть ганглия занята нейропилем. Нейропиль — это не что иное, как переплетение аксонов и дендритов нервных клеток; в этой области между нейронами и устанавливаются синаптические связи. Из 1000 нейронов полусегмента большинство можно идентифицировать благодаря тому, что у каждого нейрона форма аксона и дендритов, а также картина связей с отростками других нейронов уникальны. В пределах вида эти клетки (которые так и называют — идентифицированные нейроны) совершенно одинаковы у всех особей.

Из всего многообразия нервных систем насекомых нервная система саран-

чи наиболее изучена; связано это с тем, что в ней очень крупные нейроны. В такие большие клетки легко вводить микрэлектроды и регистрировать их импульсную активность или определять синаптические связи; в них удобно также инъецировать краситель, который заполняет тело и отростки клетки, выявляя тонкие детали их формы. Например, К. Пирсон и его коллеги (Университет пров. Альберта, Канада) исследовали идентифицированные нейроны, обозначаемые как нейрон *C* и нейрон *G*, во втором торакальном (*T2*) ганглии. Особенности формы этих двух клеток и ход их отростков лишь малая часть разнообразия клеточной морфологии и межклеточных связей, обнаруживаемого в пределах отдельного сегментарного ганглия. Нейрон *C* образует синаптические связи с определенными интернейронами и мотонейронами и участвует в иницииации прыжков насекомого. Нейрону *G* отведена иная роль в поведении саранчи, и он имеет совершенно другие синаптические связи. Различия в функциях и связях находят свое отражение в конкретной морфологии нейрона, особенно в характере хода аксонов и дендритов в нейропиле. У всех особей саранчи первичный аксон нейрона *G* тянется вперед в определенный нервный тракт (тракт — это большой пучок аксонов), а два его первичных дендрита входят в два других симметрично расположенных нервных тракта.

Результаты изучения идентифицированных нервных клеток взрослой саранчи позволяют сформулировать два, так сказать, организационных принципа построения нервной системы этого насекомого. Во-первых, каждый нейрон посылает свои отростки в строго определенные нервные тракты, причем вид отростков и их ход в нервных пучках являются характерными именно для данного нейрона. Во-вторых, в пределах соседства, обусловленного этими трактами, каждый нейрон устанавливает связи только с определенным, специфичным для него набором нервных отростков.

Эти принципы имеют глубокий смысл и для формирования нервной системы саранчи в эмбриогенезе. Так же как у взрослых особей, нервная система у эмбриона саранчи построена из относительно больших, удобных для экспериментирования клеток. Сегментарные ганглии развиваются из нейроэпителия — пласти клеток, тянувшегося от головы до хвоста эмбриона. Внутри этого пласти определенные клетки дифференцируются в клетки — предшественники нейронов. В 1976 г. М. Бейт (в настоящее время работает в Кембриджском университете) обнаружил, что в нейроэпителии один и тот же набор предшественников нейронов по-



КОНУС РОСТА нейрона *MP1* саранчи проходит мимо нервной клетки *aCC* и опознает поверхность третьей клетки — нейрона *pCC*, являющегося его мишенью. Чтобы проследить эту последовательность событий, в нейрон *MP1* инъецировали флуоресцирующий краситель люцифер желтый. Окрашивющиеся в коричневый цвет антитела к этому веществу делают нейрон *MP1* видимым в обычном свете. На микрофотографии (слева ее схематическое изображение) видно, что нитевидные филоподии, отходящие от конуса роста, образуют контакты преимущественно с нейроном *pCC*. Филоподии плотно соединяются с нейроном *pCC*, по-видимому, благодаря тому, что распознают на его поверхности особые молекулы-метки. Образование контактов демонстрируется тем, что краситель, инъецированный в нейрон *MP1*, перетекает в нейрон *pCC*, который также окрашивается в коричневый цвет.

вторяется от сегмента к сегменту. Типичный зародышевый сегмент состоит из двух симметричных боковых пластов, содержащих по 30 нейробластов, организованных в семь рядов по 2—5 клеток в каждом, одного срединного нейробласта и семи других клеток-предшественников, называемых предшественниками средней линии, так как они располагаются вдоль средней линии сегмента.

Каждый предшественник средней линии делится один раз, давая два нейрона-потомка. Напротив, каждый нейробласт служит стволовой клеткой, т.е. делится многократно, давая цепочку меньших по размеру ганглионарных материнских клеток. Каждая ганглионарная материнская клетка в свою очередь делится, образуя две ган-

гионарные клетки, дифференцирующиеся в нейроны. Таким образом, один нейробласт в развивающемся ганглии обеспечивает образование целого семейства клеток — от 6 до 100. В результате стандартный набор из 1000 идентифицированных нейронов, составляющих полусегмент взрослого насекомого, образуется в ходе эмбриогенеза в основном из стереотипного же набора 30 нейробластов.

В 1977 г. в Калифорнийском университете в Сан-Диего Н. Спитцер и один из авторов этой статьи — К. Гудмэн решили выяснить, определяет ли последовательность клеточных поколений конечную судьбу клетки. Прежде всего мы задались вопросом: возникает ли тот или иной идентифицированный нейрон всегда в определенной точке ветвления нейронального генеалогического дерева? Чтобы ответить на него, необходимо было проследить конкретный нейрон от его «рождения» (т.е. от момента деления его клетки-предшественника) до стадии, на которой он приобретает характерную форму, позволяющую его идентифицировать.

Ранее исследователи эмбриогенеза имели возможность изучать только срезы фиксированных эмбрионов. Мы же нашли способ выделять нейроэпителий из живого эмбриона и помещать его на предметный столик микроскопа. Нейроэпителий настолько тонок и прозрачен, что можно видеть клетки, аксоны, а иногда даже конусы роста. Благодаря этому нам удалось идентифицировать отдельные нейроны и проследить за ними от момента «рождения» до стадии зрелости в живом эмбрионе. С помощью микроэлектродов и красителей, которые вводились внутрь клеток, мы выявили все клетки-потомки и временный ход дифференцировки первого потомка срединного нейробласта. Мы показали, что один нейробласт действительно дает начало семейству связанных друг с другом идентифицированных нейронов.

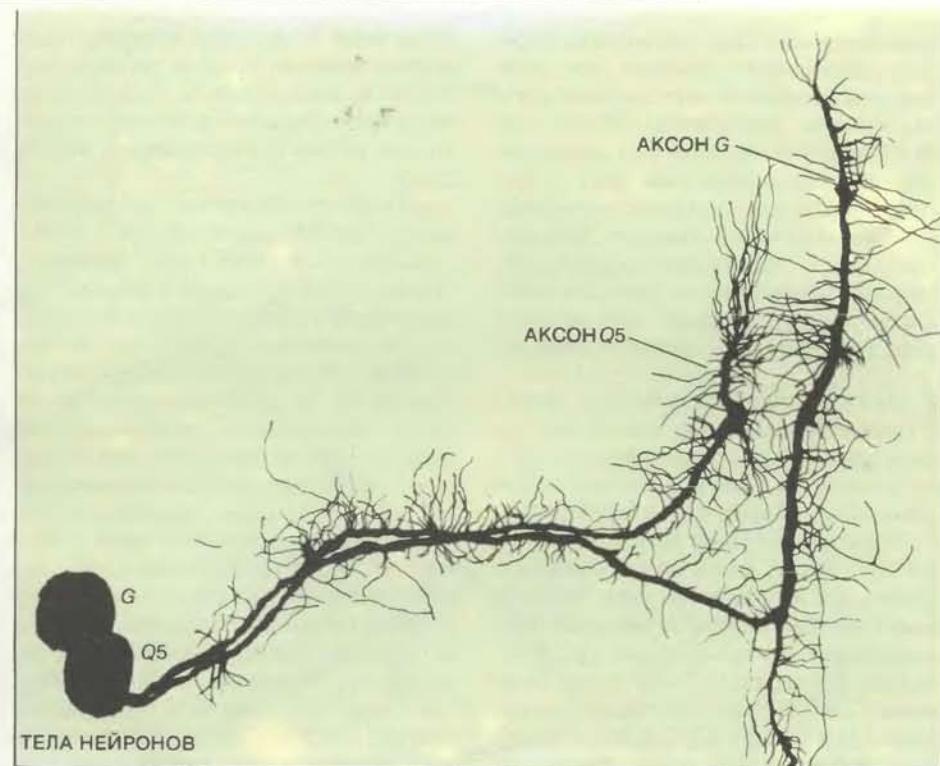
В принципе судьба нейрона может определяться или его происхождением, т.е. последовательностью клеточных делений соответствующих нейробласта и ганглионарных материнских клеток, или его положением и характером взаимодействий со своим окружением. Один из путей сделать выбор в этой альтернативе — удалить (или уничтожить) либо клетки — предшественники данного нейрона, либо его соседей. Такие эксперименты осуществил Дж. Салстон из Лаборатории молекулярной биологии Совета медицинских исследований в Кембридже. По его методике нужные клетки убивают путем фокусирования на них луча лазера. С помощью этого метода наши коллеги К. Доу, Дж. Кувала, П. Тагерт показали, что на стадии образования ганглионарных материнских клеток из нейробласта происхождение играет



НЕЙРОН G второго торакального ганглия сегментированной центральной нервной системы саранчи виден благодаря флуоресценции инъецированного в него люцифера желтого. Всего в ганглии примерно 2000 нервных клеток. Нейрон G — «идентифицированный» нейрон, т.е. его можно узнать в нервной системе любой особи по специфической форме и характерному расположению аксона, дендритов и их связей с другими клетками. Тело этой нервной клетки видно внизу слева. Ее первичный аксон пересекает ганглий и тянется вперед (на фото — вверх), более тонкий вторичный аксон простирается назад. Два симметрично расположенных первичных дендрита направляются вперед вдоль средней линии ганглия. Микрофотография получена К. Пирсоном и Дж. Стивсом из Университета пров. Альберта (Канада). Увеличение × 100.

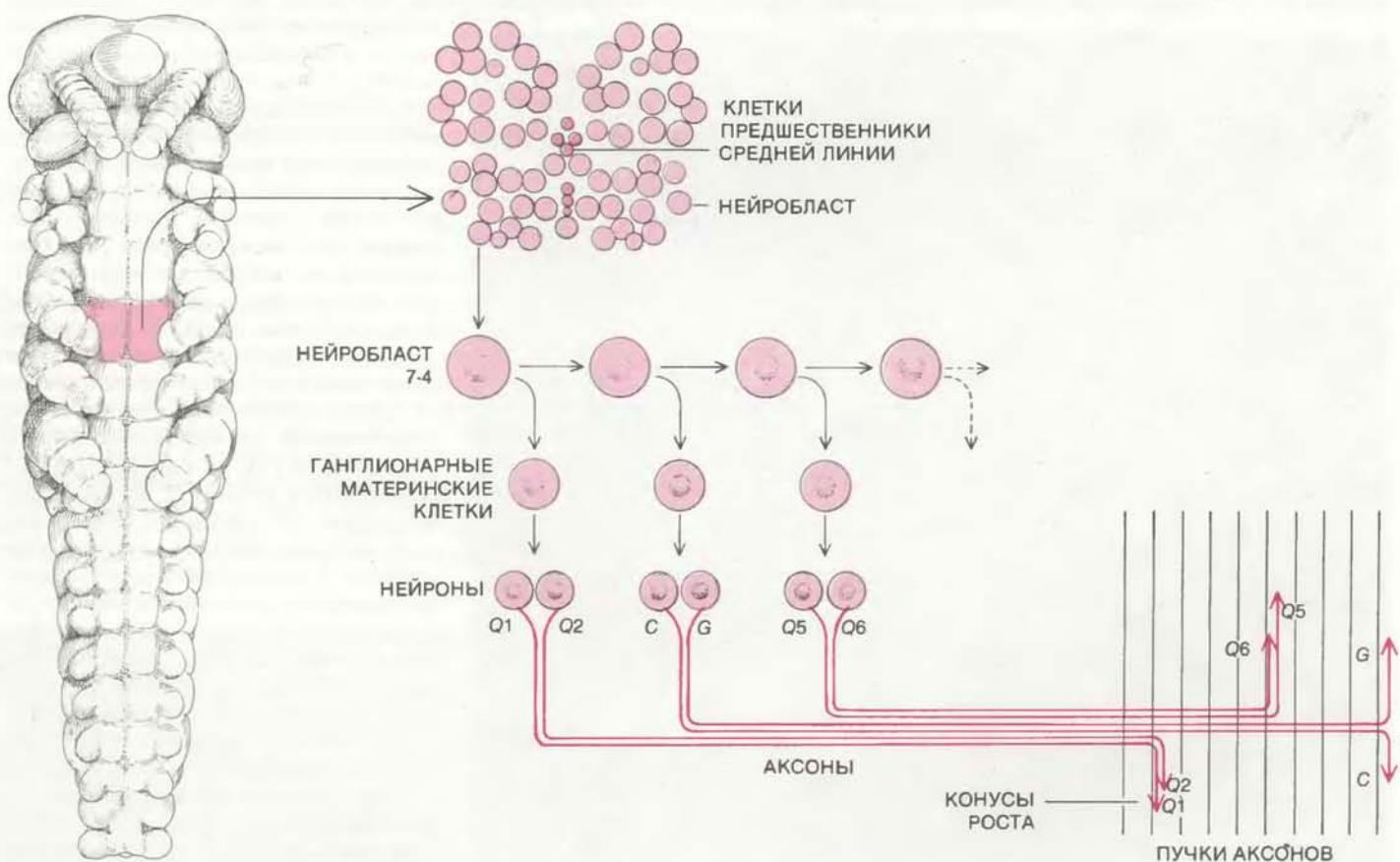


ОТРОСТКИ НЕЙРОНА G, окрашенные люцифером желтым, на поперечном срезе нейропиля (нейропиль — это та часть ганглия, где тысячи переплетающихся аксонов и дендритов разных нейронов взаимодействуют друг с другом). Срез первичного аксона нейрона G виден вверху справа в составе одного из нервных трактов (пучков отростков нервных клеток). Поперечные срезы симметричных дендритов этого нейрона расположены ниже слева и в центре, они входят в другие нервные тракты. (Микрофотография сделана К. Пирсоном.)



КОНУСЫ РОСТА аксонов нервных клеток Q5 и G продвигаются вдоль определенных путей. В обе клетки был инъецирован фермент пероксидаза хрена, при участии которого после соответствующей химической обработки их тела и отростки окрасились в коричневый цвет (слева). На рисунке

(справа) изображена несколько большая область, чем на фото. Здесь показано, как от тел нейронов тянутся аксоны и как от них в разные стороны отходят многочисленные филоподии, которые обследуют свое окружение для того, чтобы выбрать дальнейший путь роста аксона.



ЭМБРИОН САРАНЧИ (слева) имеет семнадцать сегментарных ганглиев, содержащих идентичные наборы клеток — предшественники будущих нейронов. В зародышевом сегментарном ганглии на каждой стороне находится по 30 нейробластов, один нейробласт расположен медиально, семь других клеток-предшественников лежат вдоль средней линии. Клетки-предшественники средней линии делятся только один раз, давая по два нейрона-потомка. Нейробласты

же делятся многократно, образуя семейства ганглионарных материнских клеток. В свою очередь каждая ганглионарная материнская клетка делится на два сестринских нейрона. Нейробласт 7-4 дает начало 100 нейронам. Происхождение первых шести из них показано на рисунке (справа). Первичные конусы роста этих нейронов следуют каждый по своему пути, распознавая определенный нервный пучок и присоединяясь к нему.

главную роль. Две сестринские нервные клетки, появляющиеся при делении ганглионарной материнской клетки, сначала равнозначны. Свою уникальность они приобретают лишь в результате взаимодействия друг с другом. И происходит это еще до возникновения на них конусов роста. Другими словами, и последовательность клеточных поколений, и межклеточные взаимодействия вносят свой вклад в определение судьбы каждого нейрона.

КРАТКО описав начальные этапы развития нейронов, мы можем теперь обратиться к тому моменту, когда на нервных клетках начинают образовываться конусы роста, в частности к вопросу о том, как нейроны распознают друг друга, когда их конусы роста выбирают дальнейший путь. Мы совместно с Дж. Рейпером подробно изучили раннее развитие первых шести потомков нейробласта 7-4, а именно нейроны *C* и *G* (описанные выше у взрослых), *Q1* и *Q2*, *Q5* и *Q6*. Конусы роста этих нейронов выбирают специфические пути приблизительно на 8-е сутки эмбрионального развития. (Эмбриональное развитие саранчи занимает 20 дней.) Вместе с Ф. Томасом мы исследовали данную стадию развития с помощью внутриклеточной инъекции

красителей и методом реконструкции формы аксонов, конусов роста и мест контакта филоподий по электронным микрофотографиям серийных ультратонких срезов интересовавшей нас области.

На этой стадии конусы роста можно видеть среди аксонов успевших дифференцироваться нейронов, приблизительно сотня которых в каждом полусегменте уже посыпает свои аксоны в развивающийся нейропиль. Аксоны группируются в продольные и поперечные пучки. В пределах сегмента эти пучки формируют приблизительно прямоугольную структуру, так что цепочка сегментарных ганглиев приобретает вид лестницы. Сначала конусы роста первых шести потомков нейробласта 7-4 идут по одному пути: они направляются на противоположную сторону нейропиля, простираясь вдоль поперечного пучка аксонов, как по перекладине лестницы. Достигнув другой стороны нейропиля, каждый из конусов роста выбирает свой продольный нервный пучок, чтобы далее следовать вдоль него.

В этой точке конус роста нейрона *G* выпускает во все стороны многочисленные пучки филоподий. Его филоподии контактируют с поверхностью 25 различных аксонных пучков, в которых

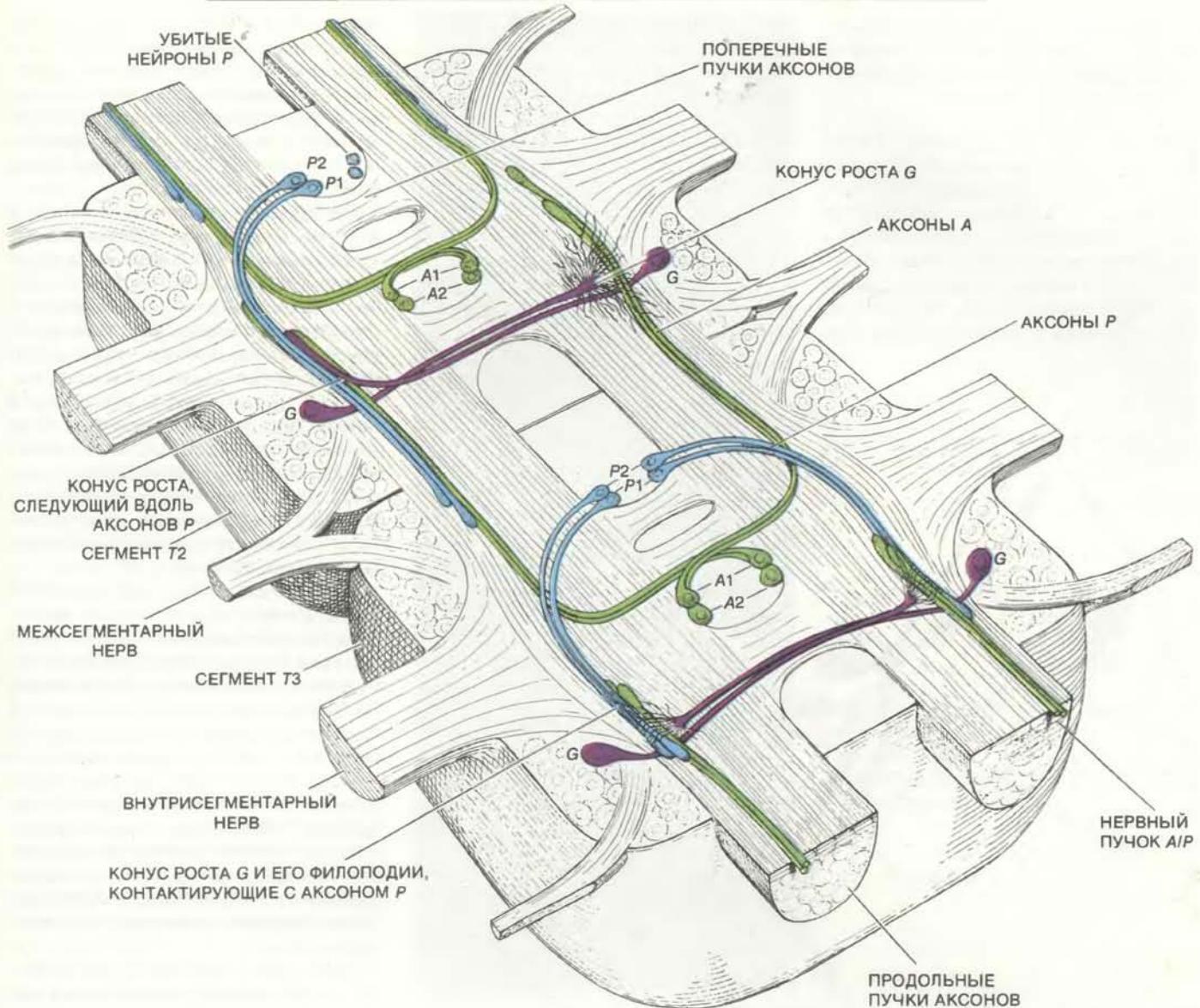
на этой стадии в целом около 100 аксонов. Несмотря на то что конус роста нейрона *G* имеет доступ ко всем ним, он соединяется только с одним определенным отдельным пучком *A/P*, состоящим из аксонов четырех нейронов: *A1*, *A2*, *P1* и *P2*. В этом пучке два плотно соединенных между собой аксона *P* обвиваются вокруг двух аксонов *A*. Однако конус роста нейрона *G* связывается всегда с поверхностью клеток *P*, а не *A*. По-видимому, нейрон *G* способен не только узнать нервный пучок *A/P* среди 25 нервных пучков, но и отличить в пределах одного пучка один вид аксонов (*P*) от другого (*A*).

Именно филоподии, исходящие из конуса роста нейрона *G*, являются теми структурами, которые первыми распознают аксоны *P*. Они избирательно соединяются с поверхностью двух аксонов *P* и обвиваются вокруг них. На этой стадии филоподии отходят как от конусов роста, так и вбок от аксонов. К нашему удивлению, мы обнаружили, что даже в путанице переплетения многочисленных филоподий эмбрионального нейропиля филоподии нейрона *G* узнают и находят не только аксоны нейрона *P*, но даже и его филоподии. Отсюда следует, что — независимо от того, какова природа меток, по которым нейроны распознают определенные клеточные поверхности, — эти метки расположены на всей поверхности растущего аксона.

Такой избирательный рост аксонов вдоль определенных нервных пучков, опосредуемый филоподиями и конусами роста, играет двоякую роль в формировании нервной системы. Во-первых, эти нервные пучки, подобно магистральным, направляют конусы роста в нужное место нервной системы. Во-вторых, они создают конкретное локальное окружение для отростков каждого нейрона, среди членов которого тот впоследствии выбирает своих синаптических партнеров. На ранних стадиях развития, до того как отростки нейронов в нейропиле переплетутся настолько, что создадут непроходимый «войлок», нейроны могут контактировать и распознавать друг друга на значительных расстояниях, так как их филоподии могут почти без ограничений сталкиваться друг с другом. Контакты клеточных поверхностей и создают предпосылку для избирательного движения конусов роста вдоль определенных нервных пучков. Позже, когда начинают образовываться синаптические связи, области, в пределах которых нейроны могут контактировать друг с другом, видимо, уменьшаются. Это можно объяснить тем, что увеличиваются размеры нейропиля, растет плотность составляющих его нейронных отростков и, как следствие, уменьшается пространство для движения разыскивающих свои мишени филоподий. В результате выбор нейроном по-

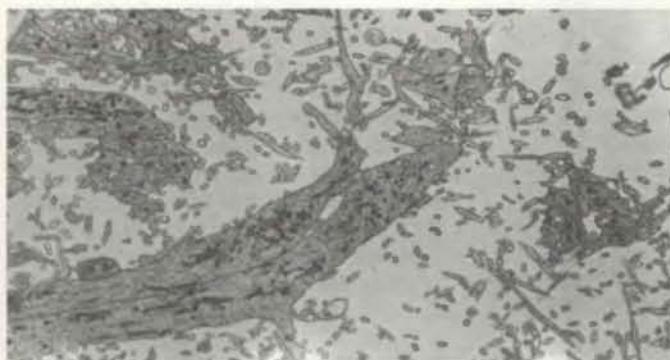


«ЛЕСТИЦА» АКСОННЫХ ПУЧКОВ в отдельном сегменте эмбриона саранчи. Она построена из двух продольных тяжей нервных пучков (по одному с каждой стороны), связанных друг с другом поперечными пучками, которые соединяют симметричные части ганглиев — полусегменты. Фото сделано на той стадии развития, когда в каждом полусегменте имеется около 100 нейронов, аксоны которых формируют 25 продольных нервных пучков. Большинство конусов роста попадают в эти пучки, где их окружение создают отростки других нейронов.



ВЫБОР ОПРЕДЕЛЕННОГО НЕРВНОГО ПУЧКА конусом роста нейрона G. На схеме изображены два сегмента нервной цепочки саранчи на последовательных стадиях развития. В нижнем сегменте конусы роста двух симметричных нейронов G (по одному в каждом полусегменте) показаны на пути к нервным пучкам A/P. Они пересекли нейропиль и находятся в «точке выбора», где отыскивают нужный нервный пучок. Их филоподии, обследовав около 100 аксонов в 25 нервных пучках продольного нервного тяжа, образуют контакты только с аксонами P. Через 10 ч конус роста G входит в пучок A/P и следует вдоль него (вверху слева).

ва). В пределах выбранного нервного пучка конус роста G специфически связывается с аксонами P, но не A. По-видимому, он распознает молекулы, специфичные для поверхности нейрона P. Эта гипотеза подтвердилась в экспериментах Дж. Рейпера. Он убивал нейроны (либо A, либо P, либо и те и другие), так что их аксоны далее уже не развивались. В отсутствие аксонов A конусы роста G росли вперед normally, образуя единый нервный пучок с оставшимися аксонами P. Если же были убиты нейроны P, наблюдалось беспорядочное ветвление конуса роста G, который при этом не проявлял никакого сродства к нервным пучкам (вверху справа).



КОНУС РОСТА НЕЙРОНА G, направляющийся к пучку аксонов A/P. На электронной микрофотографии показан участок среза нейропилия (увеличение $\times 4000$). Видно, что конус



роста как бы подвешен в нейропиле благодаря многочисленным контактам его филоподий с пучком. Через несколько часов конец конуса роста плотно соединится с аксонами P.

тенциальных партнеров ограничивается клетками, чьи отростки проходят в нервных тяжах в непосредственном соседстве с его собственными.

КАКИМ образом филоподии распознают другие нейроны и определяют соответствующее направление роста аксона? На основании результатов наших совместных исследований с Дж. Рейпером мы предложили для ответа на этот вопрос гипотезу «меченых путей». Предполагается, что соседние нервные пучки в эмбриональном ней-

ропиле помечены вполне определенным образом с помощью специальных «молекул распознавания»*, расположенных на поверхности этих пучков. Мы уже знаем, что на восьмые сутки эмбрионального развития филоподии нейрона *G* подходят к 25 различным нервным пучкам. Согласно нашей гипотезе, на поверхности пучка *A/P*, в

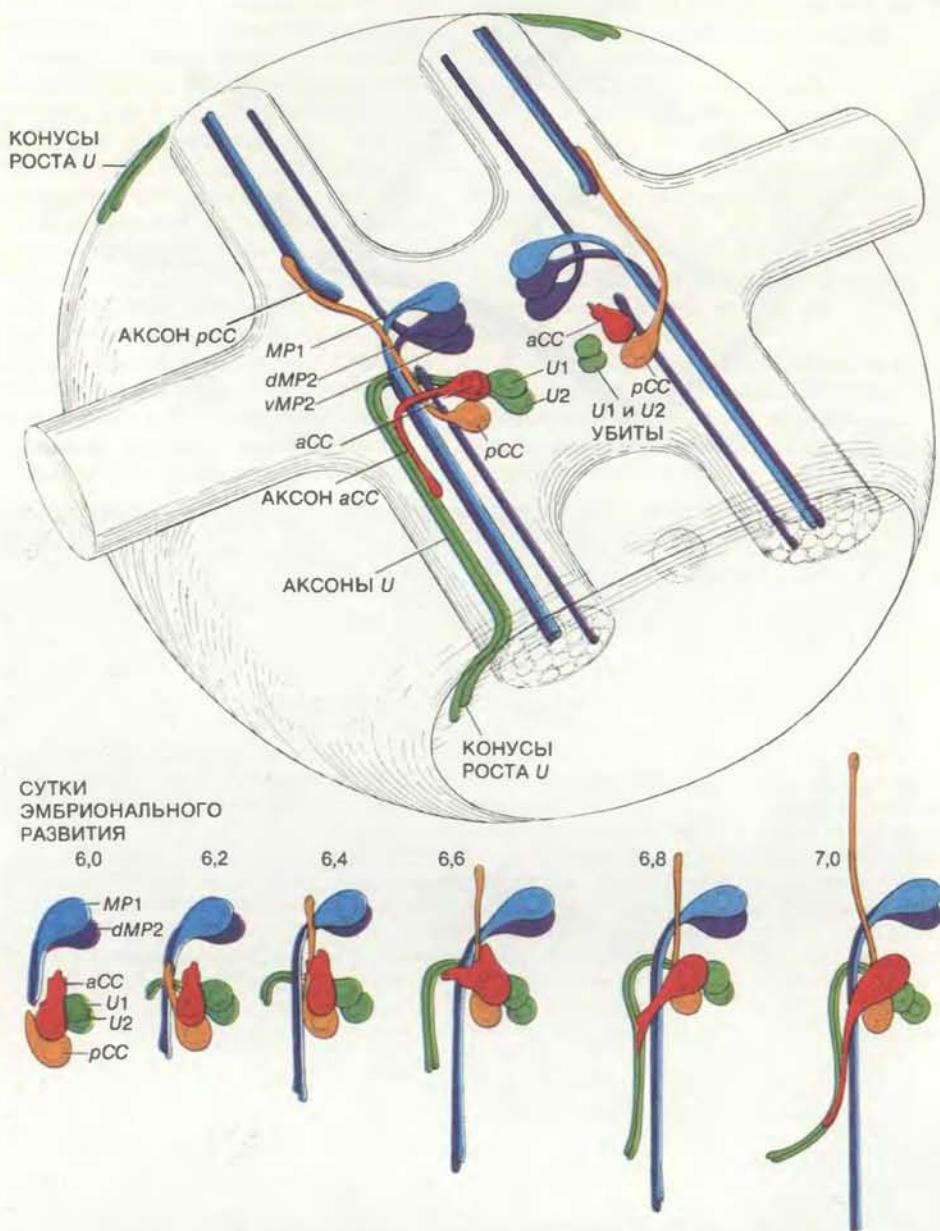
частности на его *P*-аксонах, должны быть метки, которых нет ни на каком другом продольном нервном пучке. Чтобы проверить это предсказание, мы избирательно убивали или нейроны *A*, или *P*, или и те и другие одновременно. После такой операции конус роста нейрона *G* вел себя иначе.

Если убить и нейроны *A*, и нейроны *P*, то большинство из 100 других нервных клеток того же полусегмента развиваются нормально, чего нельзя сказать про нейрон *G*. В отсутствие пучка *A/P* поведение его конуса роста выглядит так, будто он потерял направление движения. Он начинает активно ветвиться, но без какой-либо связи с остальными нервными пучками. Если убить только клетки *A*, конус роста нейрона *G* ведет себя normally, двигаясь вдоль пучка аксонов *P*. Когда же убивают только нейроны *P*, он не проявляет сродства к аксонам *A* и не способен распознать пучок *A/P*.

Полученные результаты позволяют считать, что просто близость к определенному пучку не может быть определяющим фактором для врастания в него данного конуса роста, поскольку даже в отсутствие аксонов *P* аксоны *A* остаются на своем прежнем месте в системе. Эти данные не укладываются и в более тонкое объяснение, предполагающее существование временного механизма. Зато они поддерживают представление о наличии на поверхности аксонов *P* меток, качественно отличных от тех, которые имеются на других нервных отростках, окружающих аксоны *P*.

Конус роста нейрона *G* контактирует с 25 аксонными пучками и по крайней мере в одном из них — пучке *A/P* — имеются два различно помеченных компонента. Значит, аксоны в этой части нейропиля и на данной стадии развития должны быть помечены молекулами распознавания не менее чем 25, возможно, и 50 различных видов. Такая высокая степень специфичности вместе с большим числом гипотетических молекулярных меток остановила нас. Мы сочли, что рассматриваемая стадия развития с ее сотней взаимодействующих нейронов уже слишком сложна для точного клеточного и молекулярного анализа, и решили рассмотреть более ранние стадии.

МЫ ВЫБРАЛИ период между шестыми и седьмыми сутками эмбрионального развития, когда первые семь конусов роста в этой области эмбриона в результате специфичных взаимодействий друг с другом формируют первые три продольных аксонных пучка. Один пучок состоит из единственного аксона, принадлежащего нейрону *vMP2*, другой включает аксоны нейронов *MP1*, *dMP2* и *pCC*, третий — аксоны клеток *U1*, *U2* и *aCC*. Совместно с



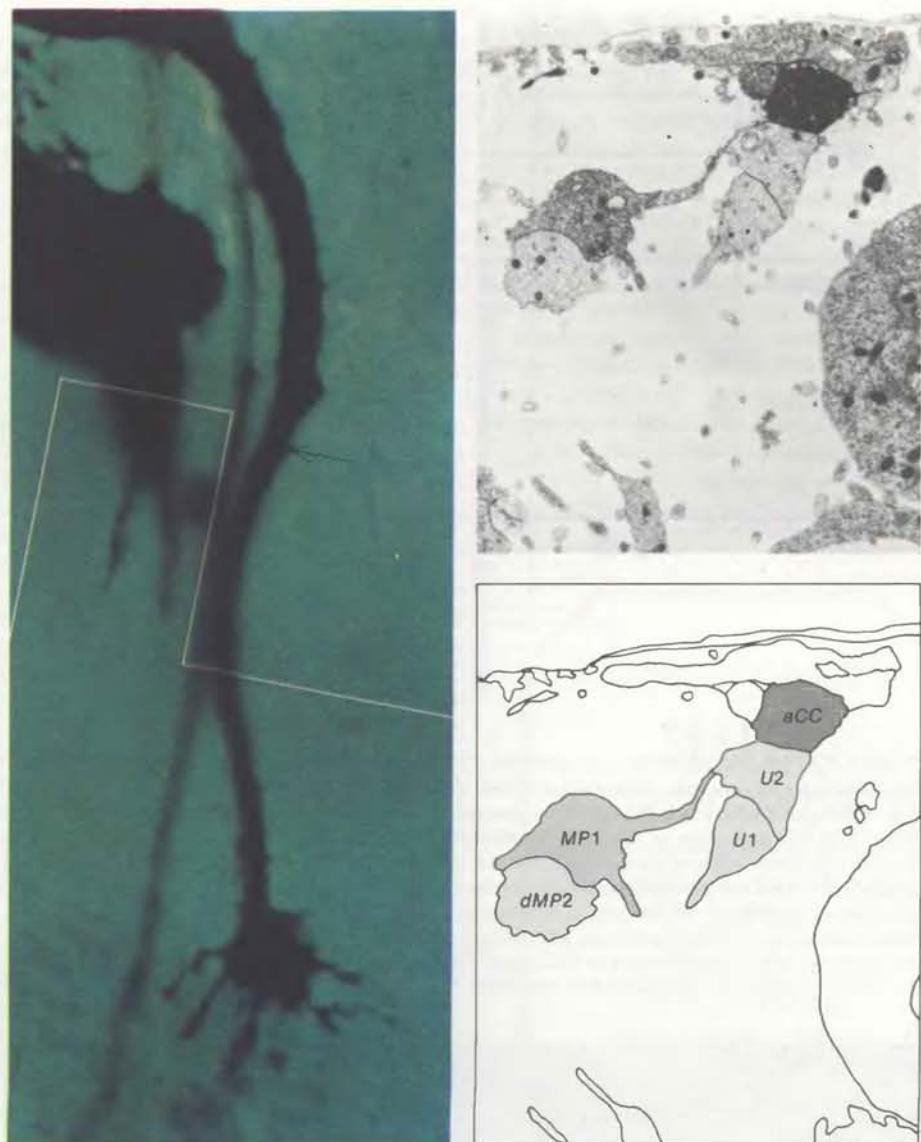
РАННИЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ первых трех продольных нервных пучков и ход конусов роста сестринских нервных клеток *pCC* и *aCC*. Конус роста нейрона *pCC* быстро объединяется в пучок с аксонами *MP1* и *MP2* и растет по ним вперед. Конус роста нейрона *aCC* сначала тоже направляется вперед, но останавливается и как бы ожидает, пока вблизи от него не пройдут два аксона *U*. Эти аксоны направляются спереди назад, и конус роста *aCC*, присоединившись к ним, поворачивает назад. С. дю Лак обнаружил, что если убить оба нейрона *U*, то конус роста *aCC* остается в своем начальном положении (вверху на схеме справа): он направлен вперед, но не может присоединиться к нервным пучкам. По-видимому, уже на такой ранней стадии пучки помечены различно, и конусы роста нейронов *pCC* и *aCC* способны их распознавать.

С. дю Лаком мы исследовали выбор, проделываемый конусами роста нейронов *pCC* и *aCC*, которые являются сестринскими потомками одной ганглионарной материнской клетки.

Поверхности клеток *pCC* и *aCC* должны быть помечены еще до того, как нейроны начнут образовывать свои конусы роста. Это следует из того, что филоподии конуса роста *MP1* специфически связываются с телом нейрона *pCC*, но не *aCC*, хотя и находятся в одинаковом положении относительно обеих клеток. Различия между этими сестринскими клетками становятся яснее с момента появления у них конусов роста. Конус роста нейрона *pCC* продвигается вперед так, что оказывается в одном пучке с аксонами *MP1* и *dMP2*. Конус роста нейрона *aCC* также направляется вперед, но вместо того, чтобы расти дальше, остается в таком начальном положении на 10—15 ч — до тех пор, пока растущие аксоны *U1* и *U2* не пересекут район, доступный для его филоподий. Тогда конус роста *aCC* поворачивается по направлению к этим аксонам, соединяется с ними и следует с ними назад. Для проверки гипотезы меченых путей С. дю Лак убивал при помощи лазера нейроны *U1* и *U2*. В их отсутствие только что появившийся конус роста *aCC* так и оставался в начальном положении и ничуть не «жалал» расти вдоль других нейронных поверхностей, которых достигали его филоподии. Сходно, когда убивали нейроны *MP1* и *dMP2*, конус роста нейрона *pCC* не проявлял никакого сродства к другим аксонам.

Эти примеры узкой специфичности связей и на более, и на менее продвинутых стадиях развития убедили нас, что на поверхности эмбриональных аксонов появляются определенные молекулы, обеспечивающие распознавание, что существует много разных типов таких молекул и что растущие нейроны направляются к клеткам-мишеням благодаря избирательной адгезии своих филоподий с помеченными соответствующим образом аксонами. Они привели нас также к мысли о том, что небольшие группы нейронов, чьи аксоны следуют вместе, могут нести одинаковые молекулы распознавания.

ОДИН из способов обнаружить гипотетические молекулы распознавания — применить иммунологические методы. Если эмбриональные клетки саранчи ввести мыши, то ее иммунная система отреагирует на это продуцированием антител ко всем молекулам, находящимся на поверхностях чужих клеток. При этом каждое антитело специфически связывается только с одной определенной молекулой — соответствующим ему антигеном. Применяя методику так называемых моноклональных антител и «просеивая» тыся-



АКОН НЕЙРОНА *aCC*, прежде чем объединиться с аксонами *U*, пересекает два нервных пучка. Слева — микрофотография среза эмбриона, в нейроне *aCC* (самый верхний), нейрон *MP1* и глиальную клетку (вверху, под нейроном *aCC*) которого была инъецирована пероксидаза хрина. Аксон *aCC* перекрещивается со слабо окрашенным аксоном *MP1*, идет параллельно, но не соединяется с его пучком, а включается в пучок *U* (не окрашен). Участок тонкого среза, сделанного в месте, помеченном стрелкой, на электронном фото справа показан с увеличением $\times 6500$.

чи полученных препаратов, можно, наконец, найти антитело, специфичное для молекулы, экспрессия которой и по времени, и пространственно коррелирует с выбором, совершаемым данным конусом роста. Такая молекула с большой долей вероятности будет одной из тех меток, по которым клетки распознают друг друга.

Для подобной работы 8-дневные эмбрионы саранчи наиболее удобны. На этой стадии развития нервные клетки еще не продуцируют медиаторов, или, скажем, белков, свойственных дифференцированным нейронам на более поздних стадиях. В основном происходит образование конусов роста и определение путей, по которым им дальше следует расти. Мы надеялись, что с таким материалом будет легче получить ан-

тителя именно к молекулам, участвующим в межнейронном распознавании.

К. Котрла инъецировала мышам клетки нейроэпителия 8-дневного эмбриона саранчи, получала гибридомы (путем слияния клеток мышиной селезенки с миеломными клетками) и проверяла их способность синтезировать антитела к антигенам поверхности нейронов. Она нашла несколько моноклональных антител, которые связывались с поверхностью только немногих и притом растущих в одних пучках аксонов, что и предсказывалось в предложенной нами гипотезе. Два таких антитела, обозначенные *Mes-3* и *Mes-4*, связывались с поверхностью только одного нервного пучка как на стадии 8-дневного эмбриона, когда пучков 25, так и на стадии 6,5-дневного эмбриона,

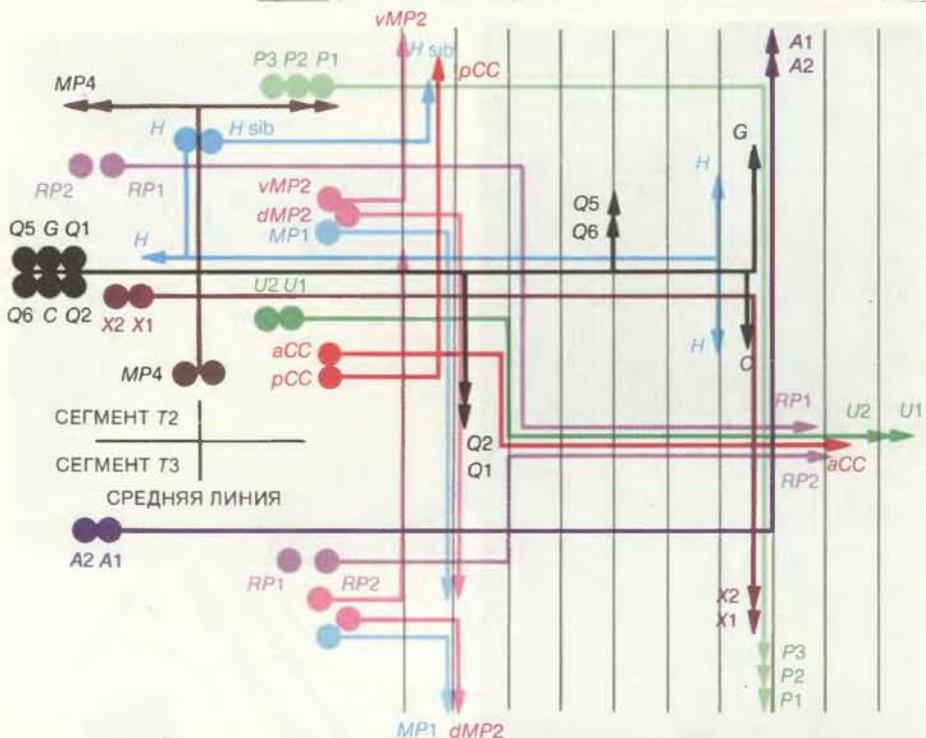
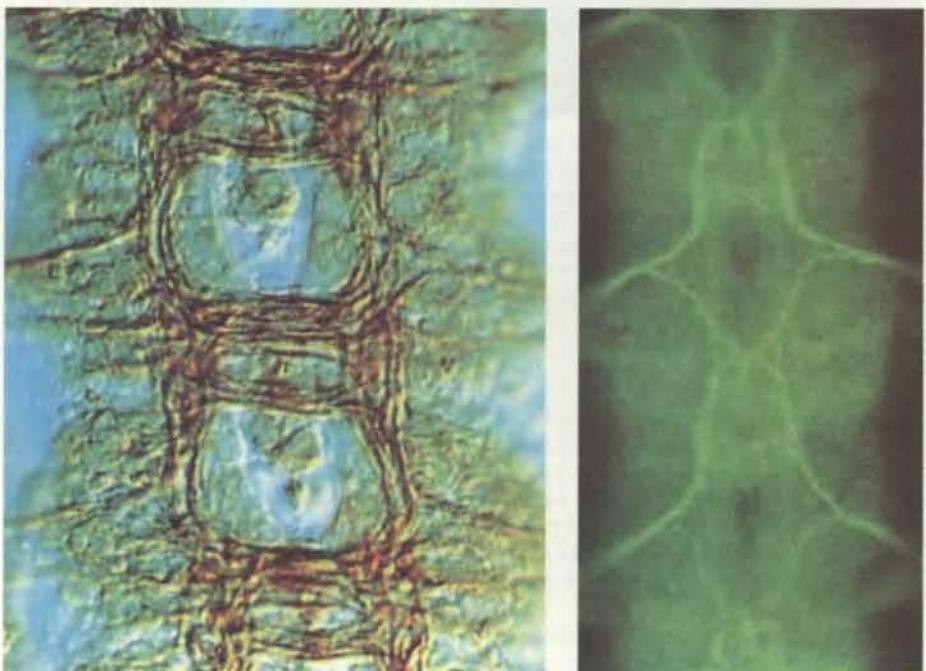


СХЕМА ПУТЕЙ, выбираемых конусами роста идентифицированных нейронов одного из полусегментов нервной цепочки саранчи. На этой стадии развития около 100 нейронов (здесь показаны 26) начинают давать аксоны. Эти аксоны организованы в 25 продольных аксонных пучков (10 из них изображены на схеме). Кружками обозначены тела нервных клеток, а стрелками — конусы роста первичных аксонов. Так как на рисунке представлены два соседних сегмента, то некоторые нейроны встречаются дважды. Нейроны — потомки одной клетки-предшественника выделены одним цветом. Несмотря на общую «родословную» и одинаковое окружение, часто их отростки расходятся по разным нервным пучкам в нейропиле. (*Hsib* — клетка, сестринская нейрону *H*.)



РАСПОЛОЖЕНИЕ АКСОННЫХ ПУЧКОВ в нервной цепочке у дрозофилы такое же, как у саранчи. На этих микрофотографиях видно по три идентичных сегмента 12-часового эмбриона дрозофилы. Слева: сегменты обработаны антителами к типичному для аксонов белку — тубулину, так что выявлены все аксоны. Справа: такой же препарат обработан моноклональным антителом к молекулам, которые имеются на поверхности только определенных нейронов; в результате выявляется лишь аксон *aCC* и несколько других аксонов, выходящих из центральной нервной системы вместе с ним в одном нервном пучке межсегментарного нерва.

когда их только 3. В обоих случаях это был пучок *MP1/dMP2* — тот самый нервный пучок, который (как говорилось выше) распознавался конусом роста *pCC*, но не *aCC*. Другими словами, удалось показать, что среди нервных пучков, доступных для конкретного конуса роста, есть один, отличный от всех остальных по своим антигенным детерминантам.

ВСЕ что говорилось до сих пор, рисует довольно статичную картину развития. В действительности же в нем все изменчиво и взаимосвязано. Например, мы описали, как на определенной стадии эмбриогенеза конус роста нейрона *G* и его филоподии проявляют специфическое средство к двум аксонам *P*. Но через некоторое время аксон *G* образует три новых конуса роста. Два из них, вытягиваясь, становятся билатерально симметричными дендритами, а третий дает начало вторичному аксону, и все эти вновь образованные отростки идут в различные нервные пучки, к которым первоначальный конус роста средства не имел. Ясно, что средство конусов роста отдельного нейрона к клеточным поверхностям должно меняться со временем. Можно думать, что это происходит как в результате реализации некоторой внутренней программы данного нейрона, так и вследствие его взаимодействия с другими нервными клетками. Мы думаем, например, что последовательные изменения в свойствах поверхности того или иного конуса роста делают возможным его переход от одного нервного пучка к другому по направлению к конечной цели. На каком образце биохимический аппарат клетки «знает», где в данный момент находится ее конус роста и с чем он взаимодействует?

Возможно, дело в избирательном включении материала филоподий в другие нервные клетки. Такое межклеточное взаимодействие мы обнаружили, анализируя электронные микрофотографии в поисках участков контакта между филоподиями и клеточными поверхностями. Мы уже говорили об избирательной адгезии филоподий нейрона *G* с поверхностью аксонов и филоподий нейронов *P*. Интересно, что происходит и обратное: филоподии нейронов *P* имеют контакты с конусом роста нейрона *G*, причем материал филоподий может включаться в состав конуса роста (при этом образуются окаймленные поры и везикулы — специальные клеточные структуры, с помощью которых обычно осуществляется транспорт крупных молекул внутрь клетки). Процесс включения высокоспецифичен. Филоподии сорока других соседних конусов роста и аксонов контактируют с поверхностью конуса роста нейрона *G*, но материал ни одного из них

не переходит в него. Возможно, что таким образом посыпается сигнал в тело клетки *G*, где синтезируются необходимые молекулы. Этот сигнал как бы говорит: «Ваш конус роста нашел аксон *P*, подготовьтесь к следующему этапу выбора».

Эксперименты с моноклональными антителами демонстрируют подобное изменение специфичности. Так, антитело *Mes-2* выявляет «свой» антиген поверхности только на четырех нервных клетках из тысячи в каждом полусегменте: на двух мотонейронах и двух интернейронах. Более того, этот антиген есть только на определенной стадии развития. Мотонейроны, с поверхностью которых связывается *Mes-2*, обозначаются *FETi* и *SETi*. Их аксоны за пределами центральной нервной системы образуют один пучок и иннервируют одну и ту же мышцу. Нейроны *FETi* и *SETi* происходят от разных нейробластов, но из всех потомков этих нейробластов только их аксоны объединяются и на них появляется один и тот же антиген.

К тому моменту, когда аксоны мотонейронов *FETi* и *SETi* впервые встречаются «на краю» центральной нервной системы, ни один из них не несет антиген *Mes-2*, и они не объединяются в пучок. Только позже, встретив отростки нескольких других клеток и находясь уже в зачатке конечности, они сталкиваются вновь. Теперь поведение этих аксонов меняется: они соединяются и дальше следуют вместе к развивающейся мышце-мишени. Мы обнаружили, что антиген *Mes-2* появляется на обоих аксонах непосредственно перед их второй встречей. Еще позже, после того как аксоны достигнут нужной мышцы, содержание *Mes-2* быстро падает и в конечном счете он исчезает.

Локализация антигена *Mes-2* на поверхности только четырех нейронов и только временное его присутствие соответствовали предсказаниям гипотезы меченых путей, что, конечно, нас очень радовало, но в то же время и расстраивало, поскольку мы понимали, как трудно будет выделить столь эфемерные молекулы и изучить их функцию. Ведь необходимо было выявить и идентифицировать кодирующий эти молекулы ген, и уже тогда методами молекулярной генетики манипулировать его экспрессией. А провести такую работу на эмбрионе саранчи — насекомом, чей генетический аппарат мало изучен, — представлялось далеко не простым делом. Поэтому мы обратились к эмбриону плодовой мушки *Drosophila melanogaster* — объекту, к которому методы молекулярной генетики применить было бы гораздо легче.

ВОТЛИЧИЕ от саранчи генетический аппарат плодовой мушки детально исследован. Генетику дрозофилы изу-

чают с 20-х годов нашего века. Идентифицированы тысячи мутантных линий, причем на таком уровне, что индивидуальным генам поставлены в соответствие конкретные функции. Генетические исследования дрозофилы, в особенности проведенные С. Бензером, его сотрудниками и учениками, явились важным вкладом в понимание развития нервной системы. Но маленькие размеры клеток и трудности работы с ними на эмбриональных стадиях не позволяют исследовать вопросы межнейронного распознавания у дрозофилы с тем же разрешением, что и у саранчи.

И все же нам удалось «подогнать» методы, разработанные для изучения эмбриона саранчи, и провести аналогичные эксперименты на дрозофиле. В совместной работе с Дж. Томасом и М. Бейтом из Кембриджского университета мы обнаружили, что центральная нервная система плодовой мушки представляет собой миниатюрную копию таковой у саранчи. Сходство оказалось поразительным. Мало того, что у этих двух насекомых существует гомология между идентифицированными нейронами — их конусы роста тянутся в одинаковых направлениях, отростки соответствующих клеток идут в одинаковых нервных пучках и переходят из одного пучка в другой в тех же самых точках. Рассмотрим в качестве примера нейрон *G* у дрозофилы. Его конус роста пересекает нейропиль в составе поперечного пучка и поворачивает в продольный нервный тракт. Мы обнаружили, что этот последний состоит из двух *P*- и двух *A*-аксонов. И конец конуса роста *G* специфично связывается именно с поверхностью аксонов *P* — точно так же, как у эмбриона саранчи. Эти наблюдения в совокупности со многими другими позволяют предположить, что способ и весь ход распознавания нейронами друг друга в раннем эмбриогенезе насекомых эволюционно очень консервативны.

Возможность работать на дрозофиле с идентифицированными нейронами и их конусами роста, зная ход нервных отростков по пучкам в центральной нервной системе, позволяет применить методы моноклональных антител, рекомбинантной ДНК и генетического анализа для исследования механизма распознавания и нейронной специфичности. В нашей лаборатории С. Гельфанд получил для дрозофилы моноклональные антитела, которые выявляют в составе нервных пучков группы отростков. Одно из этих антител связывается с молекулой, появляющейся на группе аксонов, соединяющихся с одним и тем же пучком отростков, аналогичных аксонам *U* саранчи, причем антитело различает аксоны *aCC* и *pCC*, что, собственно, и следовало ожидать на основании наших данных, получен-

ных на эмбрионе саранчи. Соответствующий антиген, по-видимому, следует считать первым кандидатом на роль молекулы распознавания, участвующей в выборе отростками нейронов нужного пути.

В настоящее время С. Крю, Д. Джонсон, Л. Мак-Аллистер, Дж. Томас и мы пытаемся с помощью этих антител и других молекулярных зондов выделить гены, кодирующие молекулы клеточного распознавания. Возможно, со временем, поняв механизмы узнавания на уровне 10—100 клеток, мы сумеем построить модель, приложенную ко всем нейронам сегментарного ганглия, а может быть, и к развитию сложнейшей системы из миллиардов нейронов, которой обладают человек и другие млекопитающие.

Издательство МИР предлагает:

**R. Девис, D. Ботстайн,
Дж. Рот**

**МЕТОДЫ
ГЕНЕТИЧЕСКОЙ
ИНЖЕНЕРИИ**
Генетика бактерий

Перевод с английского

Книга представляет собой практическое руководство по генетической инженерии бактерий. Подробно изложены методы экспериментов с мигрирующими генетическими элементами, методы конструирования гибридных молекул ДНК, техника работы с фаговыми, плазмидными и бактериальными ДНК. Справочный раздел содержит сведения о наиболее употребляемых средах для культивирования бактерий, условиях хранения штаммов бактерий и препаратов ДНК, ферментах рестрикции, физических картах плазмидных и фаговых векторов и т.д.

Предназначена для молекулярных биологов, биохимиков, генетиков, микробиологов, вирусологов.

1984, 10 л. Цена 1 р. 25 к.



Цифровой метод записи и воспроизведения звука

Запись звука в цифровой форме

обеспечивает высокое качество его воспроизведения.

*В результате можно существенно улучшить
звукание записей, сделанных в прошлом*

ДЖОН МОНФОРТ

ВНАСТОЯЩЕЕ время появилась возможность услышать голос Энрико Карузо в записях значительно лучшего качества, чем те, что были сделаны при его жизни. Достигается это путем преобразования в цифровую форму старых записей на восковом валике: музыкальные звуки, представленные в аналоговой форме в виде непрерывно изменяющихся извилистых канавок, были преобразованы в набор дискретных (цифровых) сигналов. Эти сигналы обрабатывались компьютером с тем, чтобы исключить все « побочные эффекты », связанные с использованием рупора при записи. Другими словами, качество звучания голоса Ка- рузо было улучшено. Хотя эта повторная запись носила экспериментальный характер и нуждается в дальнейшей доработке, современный слушатель может ясно представить, насколько великолепен был голос знаменитого тенора.

Возможно, когда-нибудь преобразование в цифровую форму будет использовано для улучшения воспроизведения исполнительского мастерства и других великих певцов и музыкантов прошлого, однако его основное назначение — получать высокое качество записей современных музыкальных исполнений.

Преобразование звуковых сигналов в цифровую форму открывает новые возможности в их хранении, обработке и даже генерации. За счет такого преобразования в первую очередь удается улучшить качество воспроизведения записей, сделанных еще на фонографе. Однако со временем вся аппаратура в системах звукозаписи и звуковоспроизведения будет заменена на устройства, оперирующие звуковыми сигналами, представленными в цифровой форме. Более того, цифровой метод позволит создавать и исполнять музыкальные произведения, содержащие такие звуки, которые нельзя воспроизвести ни на одном из существующих музыкальных инструментов.

Записи, сделанные в цифровой форме, потребитель будет получать, скорее всего, в виде диска диаметром 120 мм, покрытого слоем алюминия. Запись на таком диске выглядит как набор микроскопических углублений и ровных участков, а при ее проигрывании вместо обычной иглы используется лазерный луч. Усиленные сигналы преобразуются в звук акустической системой.

Высокое качество звучания таких записей частично объясняется тем, что преобразование в цифровую форму позволяет избежать многих ограничений, свойственных аналоговому способу. В последнем случае сигнал (музыка или какой-либо другой звук) можно представить в виде кривой с изменяющейся во времени амплитудой. В графической форме такой сигнал выглядит как суперпозиция многих волновых процессов. Записывающее устройство, на которое поступает сигнал, воздействует на него в соответствии со своей передаточной функцией (математическим описанием характера преобразования звукового сигнала в данном устройстве с учетом вносимых шумов и искажений). В конечном итоге на выходе устройства появляется электрический сигнал звуковой частоты, по форме повторяющий входной сигнал.

Передаточная функция используется для описания работы таких устройств, как усилители, которые только увеличивают амплитуду сигнала, или преобразователи, которые изменяют сигнал одного вида энергии в другой (например, в громкоговорителе электрическая энергия преобразуется в звуковую). При разработке устройства стараются добиться возможно большей линейности передаточной функции, с тем чтобы первоначальный звуковой сигнал претерпевал как можно меньше изменений. Любое отклонение от линейности приводит к искажению сигнала. Нелинейность в той или иной степени присуща всем аналоговым системам.

Проблема шумового эффекта

Наличие внутренних шумов характерно для всех видов аналоговой аппаратуры. При преобразовании сигнала, например, микрофоном величина выходного сигнала очень близка к уровню теплового шума, обусловленного хаотическими колебаниями электронов в преобразователе. Такое неудовлетворительное соотношение объясняется тем, что к.п.д. преобразователя составляет около 1%. При записи сигнала на носитель последний сам становится источником шума. Объясняется это зернистой структурой материала носителя. В свою очередь причиной «зернистости» является конечная величина магнитных доменов в покрытии пленки, используемой для записи, или неровность поверхности пластинки. Этот шум определяет нижнюю границу разрешающей способности запоминающей среды.

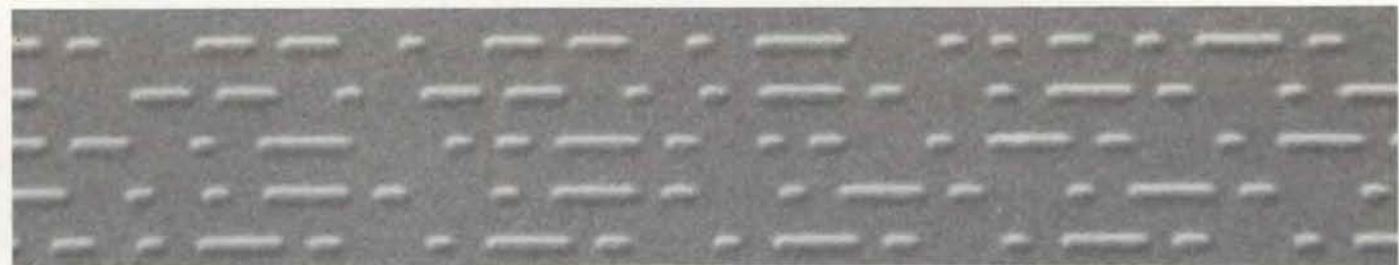
Кроме того, у каждого элемента звуковой системы имеется и верхний предел: амплитуда сигнала может расти лишь до тех пор, пока система работает без перегрузки. Данное ограничение характерно для всех видов устройств: усилителя, не способного обеспечить большую мощность; динамика, диффузор которого не может перемещаться с большей амплитудой; пластинки, канавка на которой не может превышать определенную ширину. Критерием (конечно, не единственным) качества воспроизведения является разность между максимально возможной величиной полезного и шумового сигналов. Эта разность называется динамическим диапазоном и измеряется в децибелах.

Другой ограничительной характеристикой всех звукозаписывающих устройств является ширина полосы пропускания. Она определяется предельной скоростью, с которой система способна реагировать на быстрые изменения амплитуды, характерные для звуковых



КОМПАКТ-ДИСК для цифрового воспроизведения записи имеет диаметр 120 мм и толщину 1,2 мм. Налажено массовое производство таких дисков. Запись на диске выполнена в цифровой форме: выступы и ровные участки соответствуют двоичным 1 и 0. Считывание записи осуществляется ла-

зерным лучом. Компакт-диск разработан совместно специалистами голландской фирмы Philips Corporation и японской фирмы Sony Corporation. Информационная емкость диска 500 Мбайт. Плотность записи на диске самая высокая по сравнению с другими носителями.



ВЫСТАПЫ на поверхности компакт-диска имеют высоту 0,16 мкм и ширину 0,6 мкм. Здесь изображен участок поверхности диска с записью «беззвучной паузы», поэтому поря-

док расположения выступов регулярный; он нарушается лишь цифровыми словами, предназначенными для исправления ошибок.

сигналов. Независимо от причины, ограничивающей эту скорость, — будь то механическая инерционность, электрические или другие факторы — она будет всегда конечной и определять максимальную возможную частоту.

Прохождение звуковых сигналов в звуковой системе строго ограничивается ее полосой пропускания (или ее частотным диапазоном). Звуковой сигнал состоит из совокупности гармонических колебаний — одной (основной) частоты, позволяющей слушателю судить о высоте звука, и ряда более высокочастотных составляющих (обертонов). Обертоны определяют тембр звука. Все эти элементы звукового сигнала присутствуют одновременно. В случае музыкальных тонов с наименьшей степенью диссонанса частоты обертонов кратны или почти кратны основной частоте. Высококачественная звуковая система должна воспроизводить весь диапазон частот, воспринимаемых ухом человека, т.е. ширина ее полосы пропускания должна быть около 20 кГц.

Процесс цифрового преобразования был разработан еще в 20-х годах в фирме Bell Telephone Laboratories с тем,

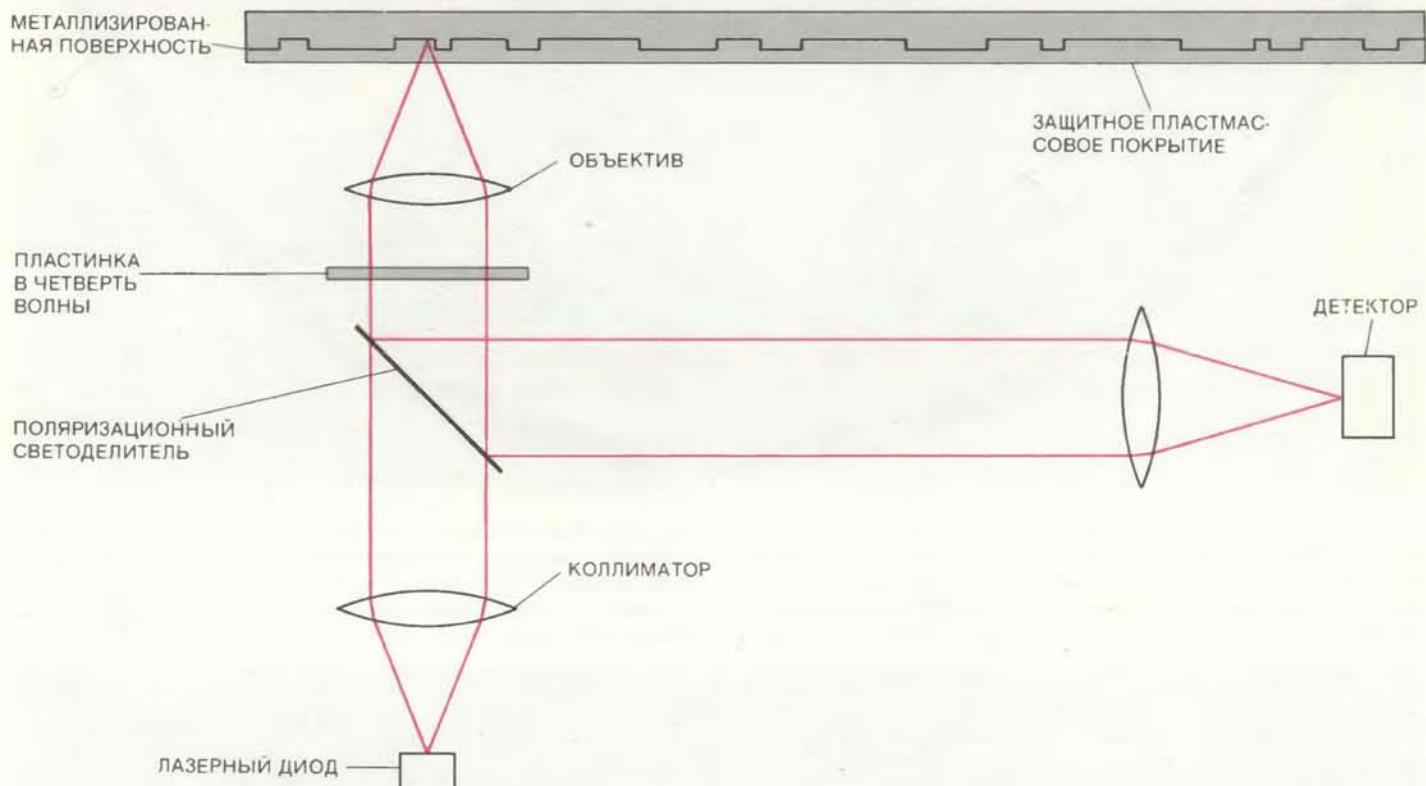
чтобы преодолеть недостатки аналоговой записи. Однако лишь недавно, когда возможности вычислительной техники стали достаточно широкими и появились универсальные интегральные схемы, цифровая техника записи достигла такого высокого уровня, что по качественным показателям она стала превосходить аналоговую запись, а по стоимости — сопоставимой с ней. Эта тенденция наверняка сохранится и в будущем.

В цифровой звуковой системе сигнал преобразуется в последовательность двоичных цифр, описывающую форму звукового колебания. Затем эта последовательность цифр передается на компьютер, который может либо хранить ее до последующего вызова, либо обработать в соответствии с математическими алгоритмами, чтобы звуковые колебания, «зашифрованные» в этой последовательности, можно было преобразовать в определенное музыкальное звучание. В процессе хранения и обработки цифровые сигналы в виде последовательности 0 и 1 могут «накапливать» шум и искажения. Однако до тех пор, пока сигналы не утрачены и остаются более или менее рас-

познаваемыми, по ним можно восстановить исходное звуковое колебание, причем снижение качества будет незначительным.

Цифровая запись начинается с преобразования звукового сигнала в цифровую форму. Устройство, служащее для этой цели, называется аналого-цифровым преобразователем. Поскольку аналоговый сигнал описывается функцией с двумя параметрами (изменение амплитуды во времени), цифровой сигнал должен точно отражать оба параметра. Поэтому выборка производится через определенные интервалы, задаваемые стандартной частотой дискретизации; данные при этом накапливаются с определенной скоростью. Когда нужно восстановить эти данные в виде аналогового сигнала, выдача информации должна производиться точно с такой же скоростью, чтобы не произошло изменения темпа музыки (или речи) и высоты тона.

Напряжение, характеризующее амплитуду сигнала в момент преобразования, хранится в аналоговой форме в течение времени, достаточного для измерения и присвоения числового значения, соответствующего величине



ЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА считывания записи создает на выходе монохроматическое излучение, интенсивность которого изменяется в соответствии с рисунком на поверхности диска. Генерируемый лазерным диодом луч света проходит через коллиматор, устранивший расхождение луча, и расщепитель поляризованного света, который разделяет луч и часть его направляет на детектор (справа); остальная часть луча проходит через фильтр, который поворачивает ось по-

ляризации на 90°. Объектив фокусирует луч на поверхности диска. Размеры выступов на диске сравнимы с длиной волны падающего света. (На рисунке для наглядности выступы увеличены.) В результате они рассеивают свет, он не попадает на детектор и последний регистрирует уменьшение интенсивности излучения. Изменения интенсивности считаются системой как последовательность двоичных 1 и 0.

этого напряжения. Такая операция называется квантованием. При каждой выборке формируется новое число; все они образуют непрерывный ряд данных, которыми может оперировать любая цифровая система.

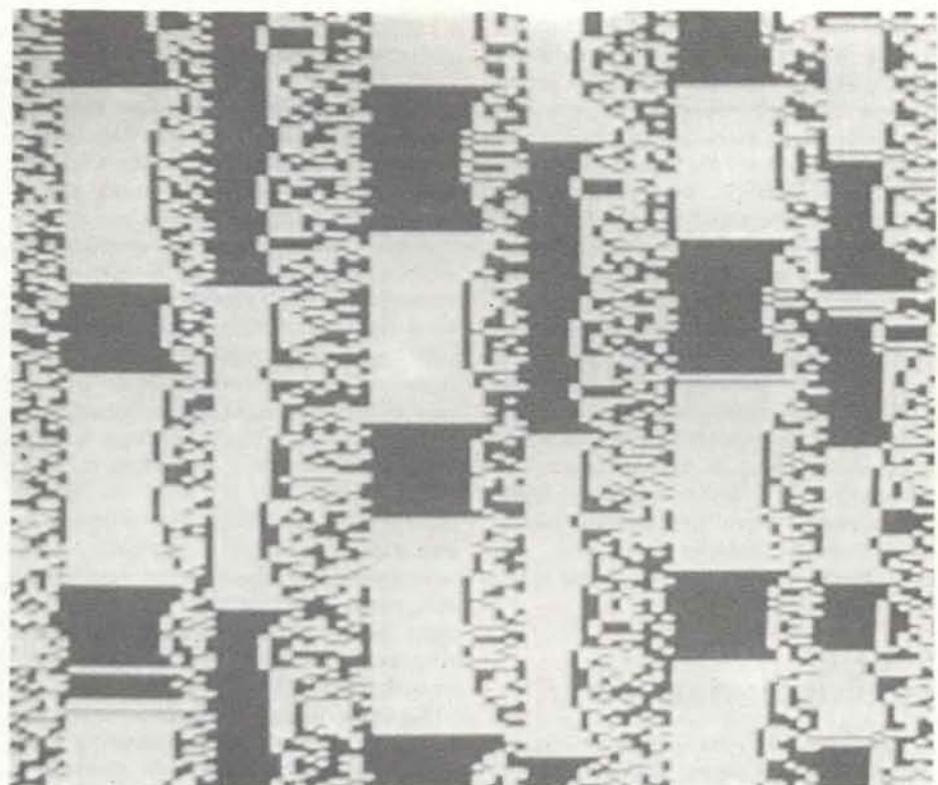
Для восстановления сигнала данные подаются на цифро-аналоговый преобразователь с такой же частотой, с какой производилась выборка. Цифроаналоговый преобразователь выдает напряжение, соответствующее значению слова данных, и хранит его до поступления нового слова. Получаемый в результате сигнал является точной копией исходного колебания.

Источники ошибок

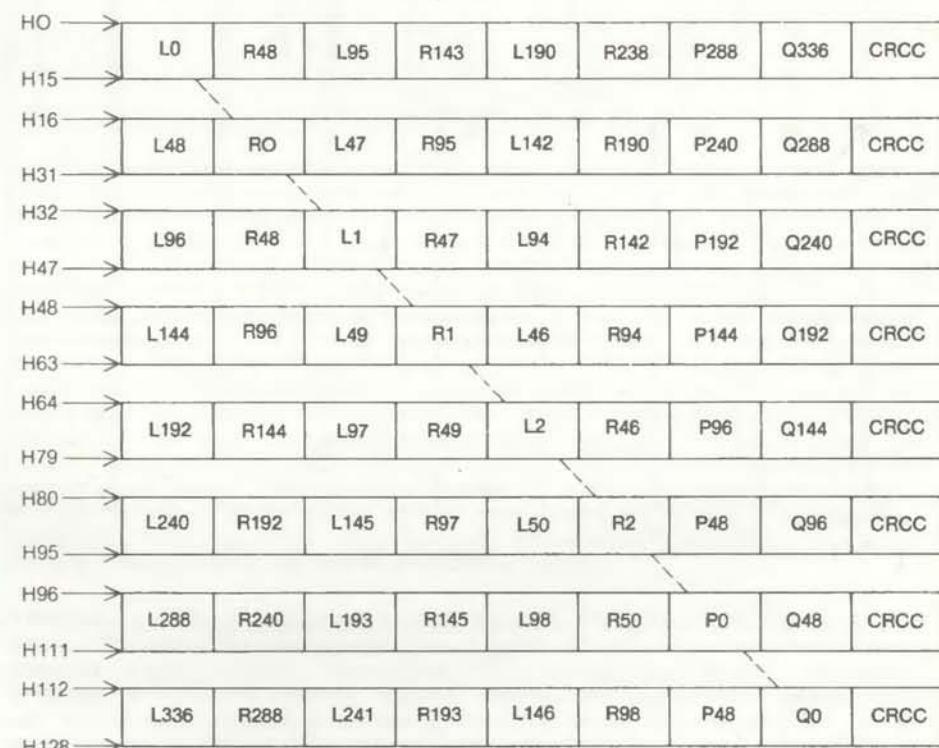
В случае неадекватной выборки возможны два типа искажения сигнала. Один связан с частотой выборки, второй — с квантованием. В том и другом случае искажения могут быть уменьшены путем более частых выборок, но при этом потребуются более сложные системы обработки данных. Вообще говоря, полностью избавиться от искажений невозможно, поскольку аналоговый сигнал описывается непрерывной функцией амплитуды от времени, а любое цифровое представление должно быть дискретным. Однако после преобразования сигнала в цифровую форму его можно передавать или копировать любое число раз, причем в него уже не будут вноситься шумы и искажения — их останется столько, сколько было в момент преобразования.

Первый тип искажений обусловлен малой частотой выборки. Если выборка производится недостаточно часто, то в течение интервала выборки амплитуда сигнала может измениться на величину, превышающую один квант. (Квант — это наименьшая величина ступеньки, используемая для описания аналогового сигнала при его дискретизации.) Другими словами, сигнал изменяется слишком быстро; система не успеет обеспечить его точной записи. При восстановлении сигнала эти изменения остаются неучтенными и, следовательно, часть информации утрачивается.

Столь быстрые изменения амплитуды вызываются теми составляющими звукового сигнала, частота которых выше половины частоты выборки. Наличие таких составляющих приводит к появлению в восстановленном сигнале гармоник, частота которых равна частоте выборки за вычетом исходной частоты. Данное явление называется наложением спектра. «Пропущенные» при выборке составляющие воспроизводятся как совершенно новые, не являющиеся гармониками исходного сигнала.



ЦИФРОВЫЕ ДАННЫЕ можно записывать не только на диске, но и на видеопленке. При воспроизведении такой записи на телевизоре двоичные цифры изображаются черными и белыми участками.



КАДР ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ, записанных на видеомагнитофонную пленку, состоит из 245 горизонтальных строк, аналогичных 128 представленным на рисунке. Каждая группа из 16 строк содержит три слова данных левого канала записи (L), три слова правого канала (R), два слова для коррекции ошибок по методу контроля четности (P, Q) и одно слово для контроля с помощью циклического избыточного кода (CRCC). Поскольку при использовании видеомагнитофонной пленки обычно теряются целые горизонтальные строки, данные записываются с чередованием (диагональная линия). Для восстановления потерянных данных могут быть использованы рассредоточенные по записи слова, применяемые для исправления ошибок.

Звук, получаемый в результате наложения спектра, не музыкальный и весьма странный. Чтобы избежать этого нежелательного эффекта, частота выборки должна быть достаточной для регистрации всех имеющих значение обертонов. Перед устройством дискретизации желательно также установить фильтр, который бы ограничил ширину полосы и исключил нежелательные составляющие. Такая фильтрация должна выполняться в аналоговой области, до выполнения дискретизации.

И наконец, фильтрация необходима и после восстановления сигнала, поскольку из-за дискретности процесса выборки выходной сигнал имеет не плавную, а ступенчатую форму. Присутствующие в нем крутые фронты соответствуют высокочастотным составляющим, которых не было в исходном сигнале.

Ошибки квантования

Искажения второго типа связаны с ошибкой квантования. Они возникают

в случае, если длина слова данных недостаточна для описания амплитуды с необходимой степенью детализации. Когда амплитудное значение сигнала находится между двумя соседними квантами, устройству дискретизации приходится выбирать один из них и тем самым вносить ошибку.

Если рассматривать достаточно длительный временной интервал, то появление таких ошибок носит случайный характер. Получаемый вследствие этого звук похож на шум, за тем лишь исключением, что возникает он только при наличии сигнала. Воспроизведение сопровождается жужжанием, и кажется, что оно связано с сигналом. Для решения проблемы во входной сигнал вводится аналоговый шум определенной амплитуды, и на его фоне шум, связанный с ошибкой квантования, маскируется. В результате этой операции шум возникает по случайному закону, и уровень слышимых искажений значительно уменьшается.

Как только в некоторый момент амплитуда сигнала представляется числом, это числовое значение необходимо

запомнить. Поскольку данные обрабатываются цифровым компьютером, из чисел формируется двоичное слово. Наиболее часто используется формат представления, называемый линейной импульсно-кодовой модуляцией, который был разработан в 1939 г. сотрудником фирмы Bell Laboratories А. Ривсом.

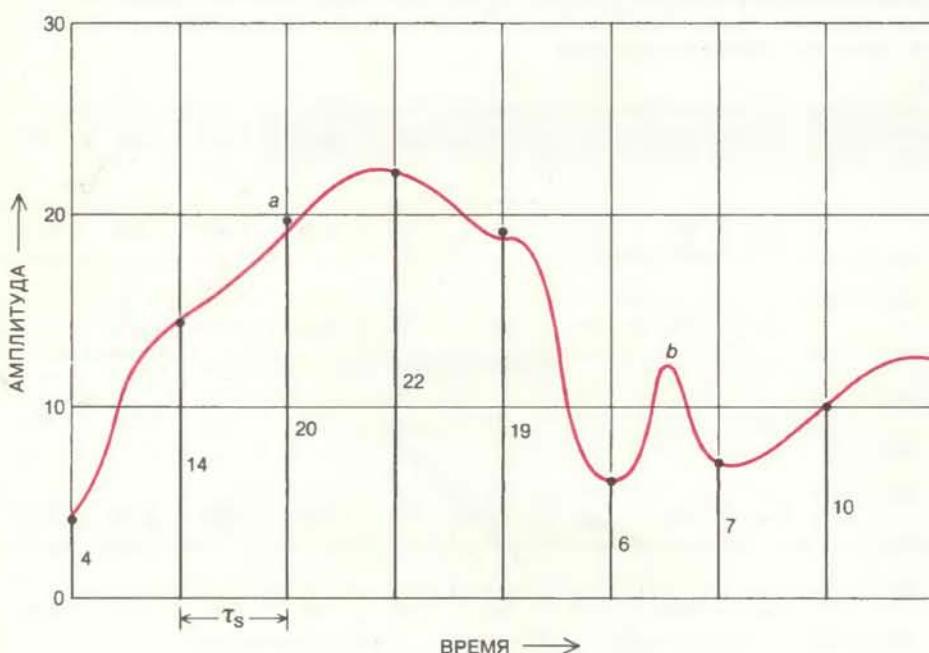
Обычно число представляется в виде 16-разрядного слова. По величине все интервалы и уровни квантования (кванты) одинаковы. Значение, равное половине полной величины (1000000000000000), соответствует отсутствию сигнала, или «беззвучной пауз». При изменении величины сигнала в одном направлении (положительном) число возрастает, стремясь к значению, представляемому всеми 1, а когда сигнал изменяется в обратном направлении (отрицательном), число уменьшается, стремясь к значению, представляемому всеми 0. 16-разрядная линейная система используется в большинстве дисков с цифровой записью, имеющихся в розничной продаже. Она обеспечивает динамический диапазон 96 дБ, что приблизительно на 20 дБ больше, чем у пластиночек с аналоговой формой записи, и примерно на 30 дБ превышает динамический диапазон записей, сделанных на фонографе.

Хотя наиболее широко распространенным методом преобразования является линейная импульсно-кодовая модуляция, его нельзя считать универсальным. В некоторых случаях применяются другие методы преобразования. Один из них предполагает уменьшение количества информации, необходимой для представления сигнала. Достигается это путем запоминания лишь разности выбранного в данный момент и предшествующего значений. Этот метод называется дельта-модуляцией (поскольку буквой «дельта» принято обозначать разность).

При использовании метода дельта-модуляции предполагается, что большая часть сигнала, подвергаемого дискретизации, изменяется непрерывно и что его значительные изменения происходят за довольно длительные (по отношению к времени выборки) интервалы времени. Такое допущение особенно важно при записи музыкальных произведений, поскольку амплитуды обертонов музыкальных инструментов обычно меньше амплитуды основного тона.

Может возникнуть вопрос: при каком методе кодирования достигается наиболее естественное звучание? Линейный метод самый простой. При достаточно больших частоте выборки и разрядности кодового слова можно достичь звучания, очень близкого к естественному.

В то же время данный метод не са-



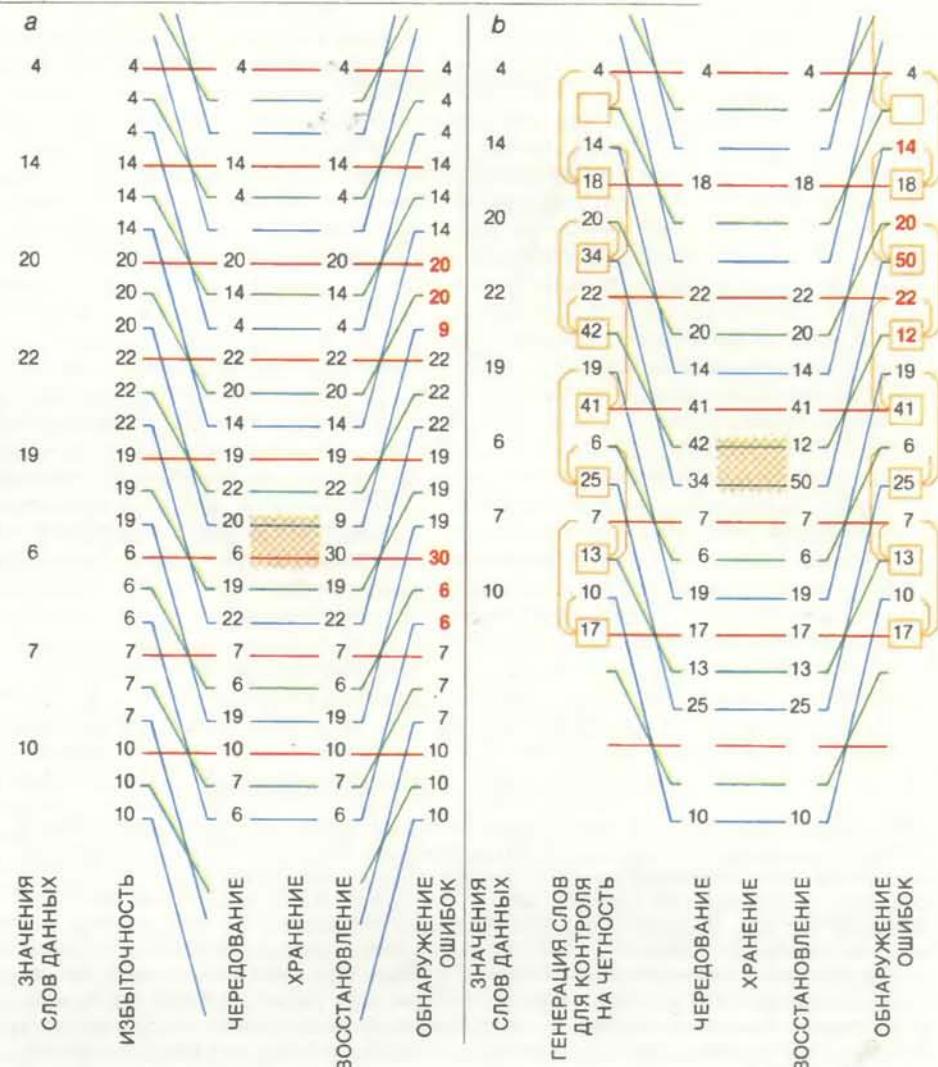
ПРОЦЕСС ДИСКРЕТИЗАЦИИ (преобразования в цифровую форму) начинается с подачи аналогового сигнала (цветная линия) на вход аналого-цифрового преобразователя. Сигнал представляет собой непрерывно изменяющееся во времени напряжение. Преобразователь делает выборку сигнала с частотой примерно 48 тыс. раз в секунду (интервал выборки τ_s). Каждой выборке соответствует точка. Амплитуды дискретных выборок, характеризующие уровень звуковых сигналов, обозначены числами. Одним из источников погрешностей может быть слишком большой шаг выборки (a). В данном случае истинное значение меньше 20, но больше 19. Если система не в состоянии различить столь небольшую разницу, она произвольно выбирает ближайшее значение; в результате воспроизведенный сигнал будет содержать «ошибку квантования». Еще одна погрешность (b) появляется, когда значительные изменения амплитуды сигнала происходят за время, меньшее τ_s . Такие изменения остаются незамеченными, поскольку частота выборки слишком мала. Вероятность появления подобных ошибок можно снизить, если увеличить частоту выборки и уменьшить уровень квантования. Но при этом придется генерировать больше слов данных, причем большего размера, а это приведет к росту объема обрабатываемых системой данных.

мый эффективный с точки зрения использования рабочего объема памяти. Мозг человека обычно не воспринимает длительно действующие сигналы от органов чувств, но зато быстро реагирует на резкие изменения. (Так, ваше сознание четко фиксирует моменты, когда вы налеваете или снимаете ботинки, но вы не замечаете их целый день, пока носите). Поэтому можно сказать, что дельта-модуляция позволяет эффективнее использовать память. Объем памяти, сэкономленный за счет использования более коротких слов, можно задействовать под дополнительные данные, получаемые в результате повышения частоты выборки. Это к тому же снижает требования к фильтрации и уменьшает возможность перегрузки в случае появления быстро изменяющихся сигналов.

Хранение данных

Существует несколько способов хранения полученных при выборке данных. Самый простой из них — это запись информации в память самой вычислительной машины. Однако при большом количестве данных использовать память машины нецелесообразно. Если выборка производится с частотой 40 кГц, то за 1 мин объем полученных данных составит 200 Мбайт. Более того, произвольный доступ, который имеют запоминающие устройства компьютера, для записи музыки не нужен, поскольку музыкальные сигналы по своей сути являются последовательными.

В цифровых компьютерах хранение данных, предполагающих последовательную выборку, производится на магнитной ленте. Во многих магнитофонах используются те же конструктивные принципы (а иногда и те же конструктивные элементы), которые применяются в накопителях на магнитной ленте цифровых компьютеров. Отличие состоит в том, что в магнитофонах запись может производиться на несколько дорожек (от различных источников). Поэтому звукооператор может



КОНТРОЛЬ ОШИБОК можно осуществлять несколькими способами. Здесь приведены два способа коррекции данных, полученных в результате выборки, показанной на рисунке на предыдущей странице. Один метод основан на введении избыточности (a). В этом случае слова данных (в левой колонке) делаются избыточными путем их повторения (вторая колонка). Поскольку на носителе данные обычно теряются группами, хранить избыточные слова рядом с оригинальными нецелесообразно. Поэтому производится чередование данных в соответствии с заданным порядком (цветные линии). Чередование выполняется до записи данных (третья колонка). Наличие ошибок (заштрихованная область), когда 20 читается как 9, а 6 как 30, обнаруживается после восстановления (четвертая колонка), как показано цветными цифрами (пятая колонка). Второй способ (b) основан на введении циклически избыточных контрольных слов. Слова, заключенные в рамку, получены суммированием пар слов данных. Ошибки обнаруживаются на выходе при несовпадении сумм. В приведенном примере 14 + 20 оказывается равным 50, а 20 + 22 — равным 12. Поскольку каждое слово данных участвует в формировании двух контрольных слов, можно выявить неправильные значения, а затем вычислить правильные и тем самым исключить ошибки.

• ДО ЗАПИСИ В ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО:

СЛОВО ДАННЫХ № 1 19 — 010011
+ СЛОВО ДАННЫХ № 2 6 — + 000110

СЛОВО, КОНТРОЛИРУЕМОЕ НА ЧЕТНОСТЬ 010101 = «21»

ПОСЛЕ ВЫВОДА:

ОТСУТСТВУЕТ СЛОВО № 1:

ОТСУТСТВУЕТ СЛОВО № 2:

ОТСУТСТВУЕТ СЛОВО, КОНТРОЛИРУЕМОЕ НА ЧЕТНОСТЬ:

СЛОВО, КОНТРОЛИРУЕМОЕ НА ЧЕТНОСТЬ

21 — 010101

— СЛОВО ДАННЫХ № 2

6 — 000110

СЛОВО ДАННЫХ № 1 010011
+ СЛОВО ДАННЫХ № 2 000110

010011
000110

СЛОВО ДАННЫХ № 1

010011

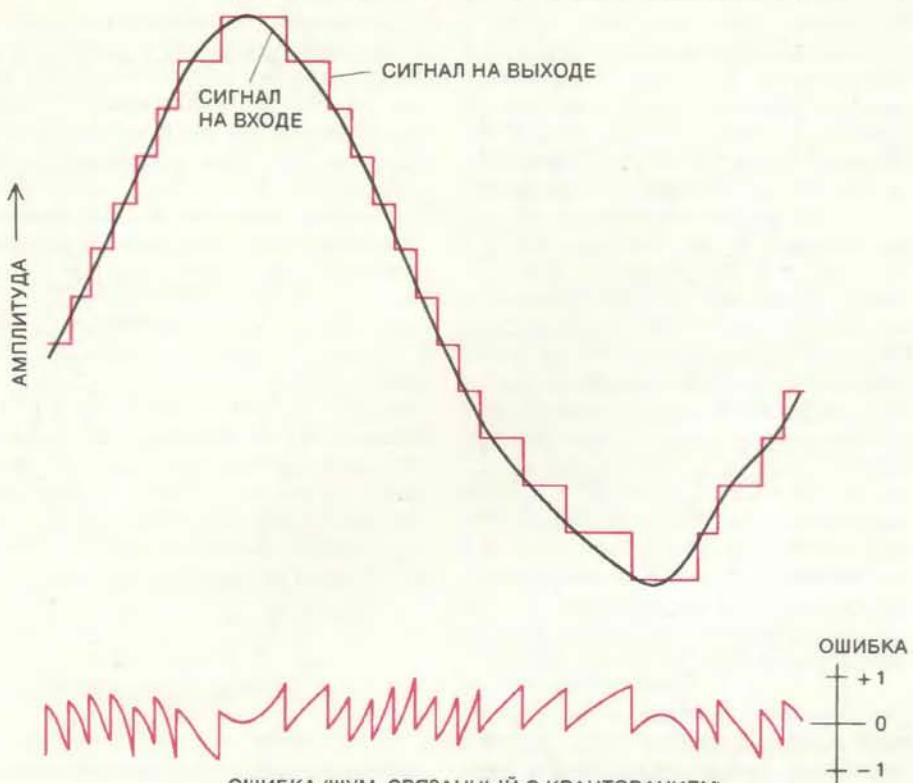
СЛОВО ДАННЫХ № 2

000110

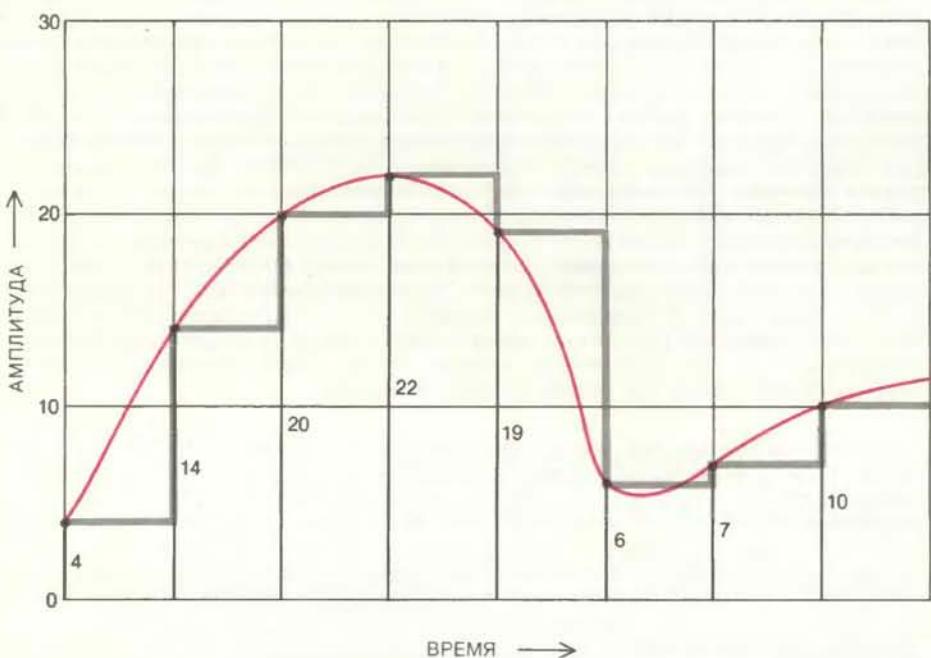
010101

ПРОВЕРКА НА ЧЕТНОСТЬ — еще один способ предотвращения ошибок. В приведенном примере двоичные слова с десятичными значениями 19 и 6 складываются без выполнения операции переноса. В результате получается контрольное слово с десятичным значением 21. Если после вывода

записанных данных любое из трех слов содержит ошибку или отсутствует, его можно восстановить (нижняя часть рисунка) при условии, что оставшиеся слова сохранили свои значения.



ШУМ КВАНТОВАНИЯ появляется из-за различия между исходным аналоговым сигналом (*непрерывная кривая*) и его цифровым представлением (*цветная ступенчатая линия*). Величина ошибок никогда не превышает высоты одной ступеньки (уровня квантования). Разность между выходным и исходным сигналами проявляется как шум, поскольку значение разницы невелико, а ее изменение во времени не совпадает с изменением ни того, ни другого сигнала. В отличие от шума, имеющего место в аналоговых системах, данный вид шума отсутствует при отсутствии сигнала. При воспроизведении же звука шум проявляется в виде жужжания. Для уменьшения шума вместе с полезным сигналом в запись вводят аналоговый шум небольшой амплитуды; за счет компенсации шумового сигнала жужжение устраняется.



ОТКОРРЕКТИРОВАННЫЕ ДАННЫЕ подаются на цифро-аналоговый преобразователь. В этом устройстве в определенные временные интервалы, соответствующие исходной частоте дискретизации, по численным значениям выборок «вычисляются» аналоговые значения. В результате получается непрерывный ступенчатый сигнал (*показан серым*). Ступенчатые переходы, связанные с дискретным характером цифровых данных, устраняются фильтром. После сглаживания выходной сигнал (*показан цветом*) достаточно точно повторяет форму исходного сигнала.

записать отдельные части музыкального произведения в разное время, а потом объединить их.

Другой распространенный метод — хранение данных на видеомагнитофонной пленке. Полоса частот видеомагнитофона обязательно должна быть широкой, чтобы можно было использовать тот огромный объем информации, который требуется для передачи широкого спектра яркости видеоизображения. В видеозаписи каждый элемент изображения представляется одним разрядом, который будет 0 или 1 в зависимости от того, является данный элемент соответственно черным или белым. Цифровой сигнал преобразуется в стандартный видеосигнал, так что для записи можно использовать любой обычный видеомагнитофон.

Для массового тиражирования цифровых записей с расчетом на их использование широким потребителем применение магнитной пленки становится неэффективным. Дело в том, что для изготовления каждой копии оригинальную пленку придется прокручивать с начала до конца, поскольку перенос записи должен производиться последовательно. Для этих целей необходима другая записывающая среда, аналогичная той, которая используется при производстве грампластинок.

В настоящее время получила распространение так называемая система компакт-диск. Она разработана совместно специалистами голландской фирмы Philips Corporation и японской фирмы Sony Corporation. Компакт-диск имеет диаметр 120 мм и толщину 1,2 мм. На одной стороне такого диска можно записать программу продолжительностью звучания 74 мин. На оригинальной матрице имеются дорожки с последовательно расположеными углублениями и ровными участками на поверхности, которые соответствуют 1 и 0 в цифровой форме записи. Поверхность с записью формуется из пластмассы методом литья по шаблону, изготовленному с носителя-оригинала. В результате на диске выступы получаются там, где на шаблоне имеются углубления. Поверхность диска покрывается слоем алюминия, чтобы улучшить отражательные свойства (поскольку считывание производится лучом лазера), и герметизируется прозрачной пластмассой.

При проигрывании диска лазерный луч попадает либо на гладкую поверхность, либо на выступ. В первом случае он будет отражен на оптическое считающее устройство, во втором — рассеян. Изменение интенсивности излучения считающее устройство воспринимает как 1, а сохранение ее уровня — как 0. Очевидно, что поверхность диска должна оставаться достаточно плоской, а оптическая система сохра-

нять свое положение практически неизменным, с тем чтобы расстояние между объективом лазерной системы и поверхностью диска не менялось. В противном случае произойдет расфокусировка луча, и он будет захватывать поверхность, превышающую по площади углубление. Для сохранения стабильности указанного расстояния имеющийся в оптической системе сервомеханизм выполняет небольшую подстройку.

Корректировка ошибок

Как правило, плотность записи в звуковых системах значительно выше, чем в обычных компьютерах. Поэтому для обнаружения и исправления ошибок применяются очень сложные методы. Поскольку для каждого вида записи характерен свой тип ошибок, то существует несколько способов их коррекции. Данные, записываемые методом импульсно-кодовой модуляции, особенно чувствительны к потере разрядов. Такая чувствительность объясняется тем, что отдельные биты соответствуют различным порядкам величины и, следовательно, вполне определенным единицам информации. Чем больший порядок представлен в потерянном разряде, тем сильнее искажается выходной сигнал. В этом случае при воспроизведении слышится сильный «щелчок».

Коррекция ошибок выполняется путем формирования новых слов и их смешения с исходными словами данных. Таким образом, новые слова подвержены влиянию тех же источников ошибок, что и исходные. Появление ошибок нельзя исключить полностью, поэтому требуется такой способ коррекции, который обеспечивает достаточно малую вероятность их сохранения.

Для проверки записанной информации на наличие ошибок ее временно заносят в динамическую буферную память. Объем буфера должен быть достаточным для размещения в ней как проверяемого слова данных, так и слов, вводимых для проверки. Кроме того, алгоритмы, применяемые для поиска и исправления ошибок, должны выполняться достаточно быстро, с тем чтобы исправленные данные выводились из буфера со скоростью, приемлемой с точки зрения режима записи.

В основе большинства способов коррекции лежит комбинация нескольких приемов. Простейший из них заключается в повторной записи каждого слова. Недостатки такого приема очевидны — удваивается требуемая емкость памяти, и, кроме того, если не делать некоторых допущений, то невозможно определить, какое из двух слов не содержит ошибки. Можно, например,

допустить, что за счет дефекта записывающей среды сразу утратится целый «кусок» данных, и в результате ошибки будут сконцентрированы в одном месте. Такое явление, называемое групповыми ошибками, как правило, возникает именно из-за повреждения носителя. Если в процессе записи слова и их дубли перемешиваются (такая ситуация называется чередованием), анализ ошибок покажет, что одно слово из каждой «поврежденной» пары обычно располагается по соседству с другими словами, имеющими такое же повреждение. Чтобы проверка путем введения избыточности была эффективной, контрольные слова должны находиться далеко друг от друга, а для определения правильных значений необходимо проверять несколько вызывающих сомнение пар слов. Этот подход требует большой емкости буферной памяти и сравнительно сложного алгоритма.

Существуют и более изощренные приемы. Так, один распространенный метод предполагает генерацию используемых для контроля циклических избыточных слов. Такое слово можно получить суммированием двух слов данных; число разрядов в новом слове на один больше, чем в исходных. При формировании контрольного слова каждое слово данных используется дважды — и всякий раз с новым «слагаемым». Если два из этих трех слов остаются неповрежденными, третье слово можно вычислить. Даже в случае повреждения всех трех слов восстановить их правильные значения можно при помощи других сумм. К сожалению, при этом возрастает число необходимых вычислений, и может случиться так, что на них не хватит времени.

Другой метод основан на проверке четности. В вычислительной технике этот способ коррекции ошибок широко распространен. Он заключается в полурядном сложении двух слов без выполнения операции переноса даже тогда, когда ее следовало бы выполнить. Результирующее слово имеет ту же разрядность, что и исходные. Если одно из этих трех слов оказывается ошибочным, то по двум другим можно вычислить его правильное значение. При этом результат может быть получен за один машинный цикл, и поэтому проверка на четность является весьма эффективным средством контроля.

Существует множество возможных комбинаций упомянутых и сходных с ними способов контроля. Реализация любой из них предполагает компромисс между необходимым объемом памяти, вероятностью пропуска ошибки и скоростью ее исправления. В целях обеспечения совместимости для каждого вида запоминающей среды должен быть разработан стандартный ме-

тод контроля. При выборе метода необходимо также учитывать, что каждой запоминающей среде присущи ошибки определенного типа.

Метод, применяемый для проверки записей на компакт-дисках, позволяет исправлять групповые ошибки размером до 14 тыс. бит. Он обеспечивает идеальную коррекцию, даже если в диске просверлить отверстие диаметром 2 мм; выходной сигнал при этом не будет искажен. Вероятность пропуска слова с ошибкой не превышает 0,005%.

Для изготовления копий, не содержащих ошибок, поток данных нужно декодировать, откорректировать, а затем вновь закодировать способом, наиболее подходящим для данной среды, даже если он идентичен исходному. Звучание копии и оригинала будет одинаковым только при условии, если не будет пропущена ни одна ошибка. Более того, износившийся оригинал можно обновить с помощью копирования, причем процесс этот можно повторять любое число раз, и каждая последующая запись будет неотличима от самой первой. В отличие от этого при копировании записей, сделанных аналоговым методом, по мере увеличения числа дубликатов происходит накопление шумов и искажений.

Иногда исходные и контрольные слова искажаются настолько сильно, что обнаруженную ошибку исправить не удается. В этом случае следует прибегнуть к одному из способов «скрытия» ошибки. Простейший, но одновременно и самый грубый способ заключается в приглушении выходного сигнала. В большинстве систем он используется тогда, когда встречаются длинные участки неразборчивых данных.

Восстановление

Наиболее предпочтительным методом восстановления поврежденной информации является формирование нового слова вместо утраченного. Хотя в области вычислительной техники такая «подтасовка» недопустима, сюда давно и широко пользуются при воспроизведении музыкальных записей с утраченными фрагментами. Один из способов восполнения пробелов основан на повторе предыдущего слова. Поскольку музыкальные сигналы изменяются сравнительно медленно, данный способ коррекции считается вполне приемлемым.

Несколько более сложный способ основан на интерполяции по известным значениям предшествующего и последующего слов. В этом случае для вычисления среднего необходим несложный алгоритм, который, несмотря на простоту, должен обеспечить получение результата до выхода слова дан-

ных из буферного запоминающего устройства.

Существуют и более сложные способы исправления поврежденных данных, например автокорреляция. Она применяется для улучшения качества изображения (путем устранения шума) преобразованных в цифровую форму снимков, которые передаются на землю с космических аппаратов. Автокорреляция является универсальным математическим приемом, позволяющим разделить поток данных на два множества: в одном элементы упорядочены (сигнал), во втором — нет (шум). По такому (или какому-либо другому) алгоритму цифровой компьютер может обрабатывать преобразованный в цифровую форму звуковой сигнал. Даже если некоторый алгоритм слишком громоздок и сложен для обработки информации непосредственно в процессе исполнения музыкального произведения, его вполне можно использовать для восстановления уже сделанных, но сильно поврежденных записей.

Возможности для композиторов

Математические алгоритмы можно применять и для изменения неповрежденных данных с целью получения различных музыкальных или звуковых эффектов. Можно, например, сделать другим соотношение между низкими и высокими частотами, ввести эффект реверберации или наложить друг на друга два и более сигналов. Кроме того, можно ускорить или замедлить темп без изменения высоты тона или, наоборот, изменить высоту тона, сохранив темп. Потенциально возможны и другие модификации, о которых в настоящее время еще никто не имеет представления, и это открывает широкие творческие возможности для композиторов.

Использование разнообразных форм обработки сигналов не единственное средство, к которому могут прибегать композиторы для получения новых звуковых эффектов. Техника цифрового преобразования позволяет генерировать звуки при участии компьютера в качестве музыкального синтезатора. Возможности получения разнообразных музыкальных звуков и специальных эффектов по замыслу композитора, который использует программные средства, предназначенные для цифровой генерации музыки, теоретически не ограничены.

Сверхновые — космические эталоны расстояния

Основной проблемой современной космологии является вопрос о том, будет ли Вселенная бесконечно расширяться или со временем она начнет сжиматься под действием собственного тяготения и произойдет полный коллапс. В настоящее время появилось мнение, что в решении этого вопроса могут помочь сверхновые — катастрофические взрывы заканчивающих свою эволюцию звезд.

Все астрономы согласны с тем, что сейчас Вселенная расширяется медленнее, чем это было, скажем, 10 млрд. лет назад. В то время, как расположенные по соседству галактики удаляются друг от друга со скоростью, пропорциональной расстоянию между ними, это соотношение для наиболее удаленных галактик не выполняется; они разбегаются быстрее, чем этого можно было бы ожидать, зная расстояния между ними. Отсюда следует, что расширение замедляется, поскольку мы наблюдаем далекие галактики такими, какими они были миллиарды лет назад: именно за это время свет от них достигает Земли. Судьба Вселенной зависит от того, насколько изменилась за это время скорость ее расширения. Если замедление достаточно велико, то можно предположить, что когда-то Вселенная перестанет расширяться и начнет сжиматься.

Для того чтобы измерить величину замедления, необходимо точно знать скорости космических объектов и расстояние до них; тогда скорость расширения будет просто равна отношению этих величин. Известно, что скорость удаления источника света можно определить по красному смещению его спектра. Значительно сложнее определить с достаточной точностью космологические расстояния; именно в решении этой проблемы и могут помочь наблюдения сверхновых.

Классический метод нахождения космологических расстояний был предложен в 20-х годах нашего столетия Э. Хабблом, который обнаружил красное смещение в спектрах галактик. В этом методе расстояние до удаленного источника света определяется путем сравнения его наблюдаемого блеска с блеском расположенного поблизости аналогичного источника, расстояние до которого известно; при этом предполагается, что собственная светимость данного объекта совпадает со светимостью объекта, расстояние до которого надо определить. Объекты, для которых предполагается, что их

светимость одинакова и не зависит от расстояния до них, называют эталонными источниками. Для измерения все возрастающих расстояний астрономы использовали набор эталонных источников, состоящий из наиболее ярких звезд различных галактик. При этом получается шкала, которую можно назвать «лестницей Хаббла»: каждая последующая величина в ней вычисляется по предыдущей.

В настоящее время некоторые исследователи, в первую очередь А. Сэндейдж и Г. Тамман из обсерваторий Маунт-Вилсон и Лас-Кампанас, выдвинули идею о том, что сверхновые I типа позволят расширить шкалу эталонных источников в сторону больших расстояний, исключив в то же время часть промежуточных этапов. Сверхновые доступны для наблюдения как в близких, так и в далеких галактиках. Сэндейдж полагает, что есть основания считать, что все сверхновые I типа имеют одинаковую светимость. Более того, все сверхновые этого типа имеют одинаковый спектр и одинаковые кривые блеска (т.е. закон изменения их блеска со временем). В основе такого единобразия, по мнению астрономов, лежит одинаковый для всех сверхновых I типа механизм образования: на испытывающий гравитационный коллапс белый карлик перетекает вещество со второго компонента двойной системы, в которую он входит.

Сэндейдж и Тамман рассчитали, используя другие методы, расстояние до ближайших галактик, в которых наблюдаются сверхновые I типа, и таким образом нашли их светимость. Как считает Сэндейдж, эти оценки хорошо согласуются с последними теоретическими расчетами. Знание светимости позволяет поместить другие известные сверхновые I типа на шкале расстояний; а это дает возможность определить современную скорость расширения (так называемую постоянную Хаббла): примерно 15 км в секунду на миллион световых лет. Однако чтобы найти скорость замедления расширения Вселенной, нужно провести наблюдения сверхновых на расстоянии несколько миллиардов световых лет. С помощью существующих телескопов это невозможно сделать. Поэтому в настоящее время несколько групп ученых ведут автоматический поиск удаленных галактик.

Некоторые астрономы считают полученное Сэндейджем и Тамманом значение постоянной Хаббла не совсем верным; так, Дж. де Воклер из Техасского университета в Остине полагает, что она примерно в два раза больше. Другие исследователи вообще считают, что шкала Хаббла — с использова-

нием сверхновых или без них — настолько малообоснована и содержит столько неопределенностей, что с ее помощью вряд ли можно получить окончательные ответы на стоящие перед космологией вопросы. Р. Вагонер из Стэнфордского университета отмечает, что такой подход к расчету замедления расширения требует принятия предположения, которое трудно проверить: сверхновые в далеких галактиках имеют такую же максимальную светимость, как и в ближайших к нам галактиках. Это предположение сомнительно, поскольку мы наблюдаем удаленные галактики на гораздо более ранней стадии их эволюции.

Вагонер предлагает использовать другой подход, основанный на методе определения расстояния, который был впервые предложен немецким астрономом В. Бааде в 1926 г. Сущность метода Бааде состоит в определении углового размера сверхновой (т.е. отношения ее радиуса к расстоянию до нее) по отношению достигшего Земли излучения к полному потоку ее излучения. Проводя измерения в различные моменты времени, можно получить угловую скорость разлета взорвавшейся звезды. Линейная скорость разлета может быть определена по доплеровскому смещению в спектре звезды, а отношение этих двух скоростей дает расстояние до нее.

До сих пор при использовании этого метода, рассчитывая излучение сверхновой, необходимо было предполагать, что звезда излучает как абсолютно черное тело, однако построенная Вагонером модель атмосферы сверхновой делает это ограничение несущественным. Недавно он проверил свою модель на относительно близкой сверхновой и обнаружил, что предсказанный теорией спектр звезды хорошо согласуется с наблюдаемым.

Метод Вагонера тоже имеет свои недостатки. Во-первых, как и в методе эталонных источников, требуется обнаружить сверхновую и провести наблюдения за короткий промежуток времени — примерно месяц, — в течение которого она имеет максимальный блеск. Во-вторых, требуется очень точно измерить полный поток излучения звезды. Однако при наблюдениях с помощью наземных телескопов трудно отделить излучение далекой сверхновой от фонового излучения галактики, в которой она расположена; дело в том, что рассеяние света земной атмосферой приводит к размыванию изображения. Кроме того, атмосфера Земли не пропускает ультрафиолетового излучения, которое могло бы дать дополнительную информацию. Чтобы использовать этот метод для определения постоянной Хаббла и темпов замедления расширения Вселенной, необходим космический телескоп, который

намечено запустить в 1986 г. В настоящее время Вагонеру надо убедить НАСА в том, что с помощью его метода можно решить вопрос о будущем Вселенной.

Древнейшие китайские колокола

ВО ВРЕМЯ празднования 35-й годовщины образования Китайской Народной Республики в пекинском павильоне Хуай-Жень собравшиеся услышали мелодичный звон колоколов, который впервые раздался 2400 лет назад. Это обстоятельство заставляет пересмотреть некоторые сложившиеся представления в истории музыки. Издаваемые колоколами звуки не оставляют сомнений в том, что в Китае уже в древности использовались такой же звукоряд и такие же методы точной настройки, как и в наши дни.

Колокола, зазвучавшие в день праздника, представляют собой копии. И тем не менее они обладают звучанием оригиналов, которые были найдены в 1978 г. при раскопках гробницы Ии, правителя древнего царства Цинь (территория нынешней провинции Хубэй), умершего около 433 г. до н.э. 65 хорошо сохранившихся колоколов имеют разный размер — от нескольких сантиметров до полутора метров в высоту.

Изящно выполненные золотой инкрустацией надписи содержат подробные сведения о музыкальных особенностях каждого колокола. Самые большие колокола представляют собой неповторимые произведения искусства. По свидетельству Э. Макклейна, заслуженного профессора музыки Нью-Йоркского университета, в те времена, когда были отлиты эти колокола, «на Западе самыми крупными были колокола чуть больше 20 см».

В отличие от европейских и индийских колоколов, круглых в поперечном сечении, китайские колокола, если смотреть на них снизу, веретенообразные. За счет этого каждый колокол со снятым языком при ударах по разным местам издает два звука существенно различной высоты. Конструктивно колокола выполнены так, что звук быстро затихает, и эта особенность позволяет использовать их в качестве музыкальных инструментов.

Какие мелодии исполнялись на колоколах при дворе правителя Ии, мы, конечно, не знаем, но звучание колоколов дает представление о музыке той поры. Полный набор колоколов перекрывает более пяти октав — от нижнего звука виолончели до верхнего звука флейты. На значительном интервале этого диапазона звуки, издаваемые разными колоколами, соответствуют современной хроматической гамме из 12 тонов (которой отвечают семь белых

и пять черных клавиш фортепиано). До сих пор многие специалисты считали, что гамма из 12 тонов стала известна китайским музыкантам в более позднюю эпоху — спустя несколько столетий после того времени, к которому относится появление этих колоколов.

Макклейн считает, что мастера, изготавлившие колокола, опирались на две различные звуковые системы при определении интервалов между нотами. На Западе эти системы известны как пифагоров строй и чистый строй. В обоих случаях относительные частоты звуков звукоряда выражаются отношениями целых чисел. Древним грекам были знакомы обе системы. Макклейн полагает, что чистый строй был создан в Вавилоне. В наборе китайских колоколов оба музыкальных строя выдержаны с поразительной точностью. За счет этого, поясняет Макклейн, интервалы между отдельными звуками настолько правильны, что «звучание некоторых октав столь же чистое, как в современных музыкальных инструментах».

Многие колокола точно «настроены» не только относительно друг друга, но и по абсолютному стандарту, в соответствии с которым относительные частоты звуков выражаются степенью 2; высота ноты до первой октавы равна 2^8 , или 256, Гц. Китайский колокол, который звучит на этой ноте, создает колебание на частоте 256, 4 Гц. Макклейн допускает, что в Китае уже в V в. до н.э. акустика, по-видимому, была развита в такой степени, что позволяла измерять соотношение частот. В Европе этому научились на 2000 лет позже.



Колокол, найденный при раскопках

Как песчаный скорпион находит свою жертву

Этот ночной хищник, обитающий в пустыне Мохаве, обнаруживает добычу не с помощью зрения или слуха: у него на ногах имеются специальные рецепторы, чувствительные к малейшим колебаниям песка

ФИЛИП Х. БРОУНЕЛ

ОДНАЖДЫ вечером несколько лет назад мы с Роджером Фарли из Калифорнийского университета в Риверсайде стояли на песчаной дюне в южной части пустыни Мохаве недалеко от Палм-Спрингс и наблюдали за тем, как песчаные скорпионы охотятся за насекомыми. Если бабочка, привлеченная светом наших фонариков, случайно касалась песка вблизи скорпиона, тот быстро поворачивался, бежал к бабочке и в большинстве случаев ему удавалось ее схватить. Легкое прикосновение веточкой к песку также вызывало активную реакцию скорпиона, однако, когда мы держали отчаянно машущую крыльями бабочку в нескольких сантиметрах от скорпиона, он не обращал на нее ни малейшего внимания. Было очевидно, что скорпион не реагировал ни на зрительные, ни на звуковые сигналы. Скорее всего, он чувствовал механические колебания песка и по нему определял, где находится жертва.

Уже тогда были основания предполагать, что механизм, с помощью которого песчаный скорпион *Paruroctonus mesaensis* обнаруживает своих жертв, необычен. Во-первых, будучи весьма примитивным представителем типа членистоногих (к которому относятся насекомые, паукообразные и ракообразные), он не имеет таких же сложных органов зрения, слуха и обоняния, какими наделены другие хищники. Во-вторых, скорпионы — животные ночные, свои убежища они покидают для охоты и спаривания лишь в темное время суток. Принимая во внимание их слабое зрение, трудно допустить, что при поисках добычи они руководствуются информацией, получаемой от зрительных рецепторов. Наконец, одно из удивительнейших охотничьих умений скорпиона состоит в его способности обнаруживать жертву, зарывшуюся в песок, которую он выкапывает с помощью больших клешней, называемых педипальпами. Безусловно, не зрение, не слух и не обоняние помогают скорпиону находить закопавшееся насекомое.

И тем не менее было нелегко

привыкнуть к мысли о том, что скорпион может обнаруживать своих жертв по вызываемым ими колебаниям песка. Биологи, изучавшие поведение животных, давно уже предполагали, что многие из них реагируют на колебания субстрата, но считали, что они не способны определять причину колебаний и место, откуда те исходят, как люди не могут определять эпицентр землетрясения по ощущаемым ими подземным толчкам. Представление об отсутствии у животных способности извлекать полезную информацию из колебаний субстрата противоречит тому, что многие животные обладают высокой чувствительностью к звуковым волнам, распространяющимся в воздухе или в воде. В этих средах животное устанавливает источник сигнала с помощью специальных обособленных от тела рецепторов, воспринимая и анализируя малейшие изменения во времени поступления стимулов или в их амплитуде. В твердых субстратах механические колебания распространяются существенно быстрее и характеризуются значительно большей длиной волны. Поэтому различия во времени поступления и в амплитуде сигналов, приходящих к разным рецепторам животного, очень малы, и еще недавно исследователи полагали, что нервная система их не воспринимает.

Песок казался особенно неподходящим субстратом для передачи информации, поскольку механические колебания в нем быстро затухают. В связи с этим «охотничьи успехи» скорпиона выглядели загадкой. Вот почему хотелось подробно изучить его поведение. Мы начали с наблюдений в природе, а впоследствии, чтобы разобраться в механизме, с помощью которого скорпион отыскивает добычу, и понять, какие свойства песка делают возможной работу этого механизма, поставили опыты в контролируемых лабораторных условиях.

ПЕСЧАНЫЙ скорпион водится на Юге пустыни Мохаве. Это местобитание — одна из самых жарких и

сухих экосистем Северной Америки. В летние дни температура на поверхности дюн часто превышает 70°С, а относительная влажность бывает близка к нулю. Однако благодаря тому, что песок впитывает влагу, на нем могут произрастать сухостойкие кустарники, как, например, прозопис, а также несколько видов однолетних трав. Эти растения не дают дюнам разрушаться от ветра и обеспечивают многочисленных обитающих здесь животных водой и пищей.

Большинство животных, населяющих дюны, — это ведущие ночной образ жизни членистоногие: паукообразные и насекомые. Днем они спасаются от царящей на поверхности иссушающей жары, «ныряя» или зарываясь в песок: уже на глубине 10 см температура падает до 40°С, что вполне терпимо для животных, а влажность поднимается до 90% и выше. Г. Пуллис из Университета Вандербильта установил, что песчаный скорпион — весьма обычный обитатель дюн, притом один из самых крупных; к концу своего 5—6-летнего жизненного цикла он может достичь 8 см в длину и 4 г веса. Благодаря таким размерам скорпион занимает крайнее положение в пищевой цепи. Он поедает любую добычу, которую может достаточно долго удерживать на месте до тех пор, пока она не будет парализована ядом, который хищник впрыскивает в ее тело через жало на конце своей хвостовой части. К числу жертв скорпиона принадлежат различные насекомые, а также более мелкие представители его собственного вида, которые составляют существенную часть рациона.

Типичная для скорпиона охота начинается с того, что он вылезает из своей норки на поверхность песка и располагается поблизости, подкарауливая животных, которые окажутся в пределах досягаемости. В ожидании добычи он часами остается неподвижным, а потом возвращается в свою норку, где может пробыть безвыходно несколько дней. С. Йокота из Аризонского университета показал, что возможность



ПЕСЧАНЫЙ СКОРПИОН, обитающий в пустыне Мохаве, ведет ночной образ жизни. Взрослая особь может достигать 8 см в длину и весить до 4 г. Скорпион — хищник, он питается насекомыми и другими членистоногими, которых хватает своими огромными клешнями и парализует ядом,

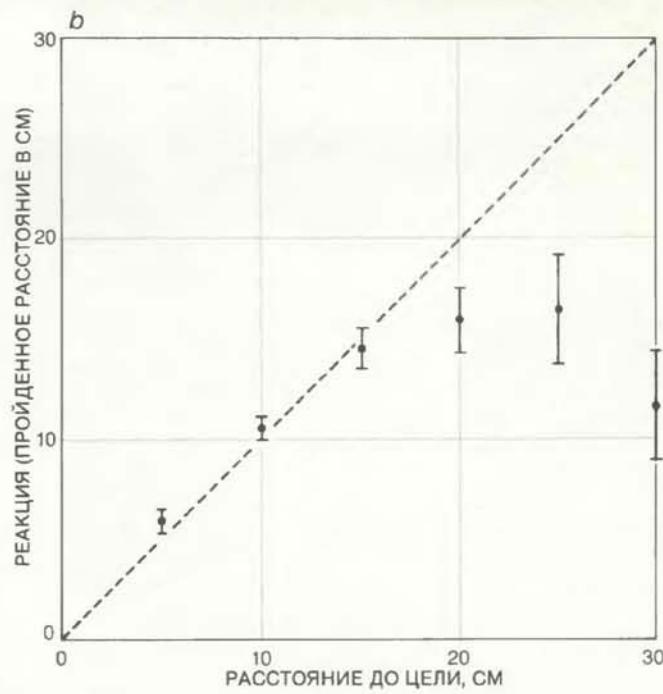
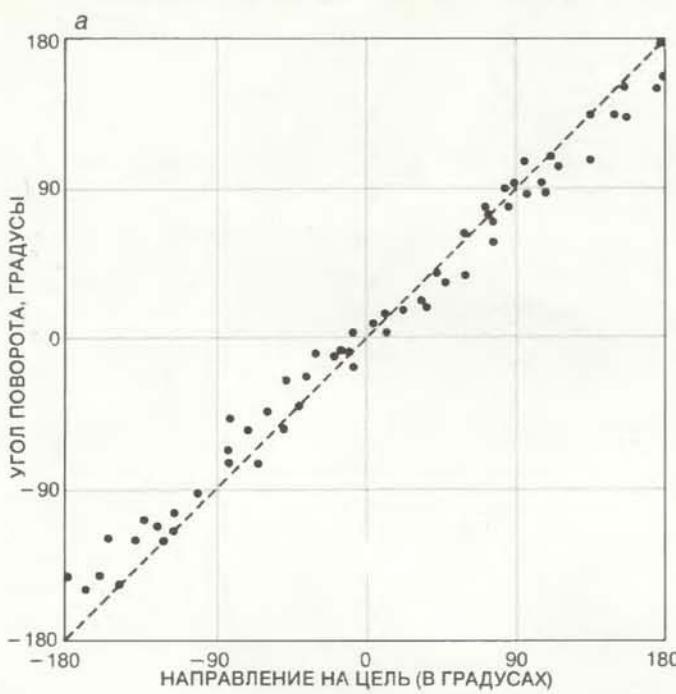
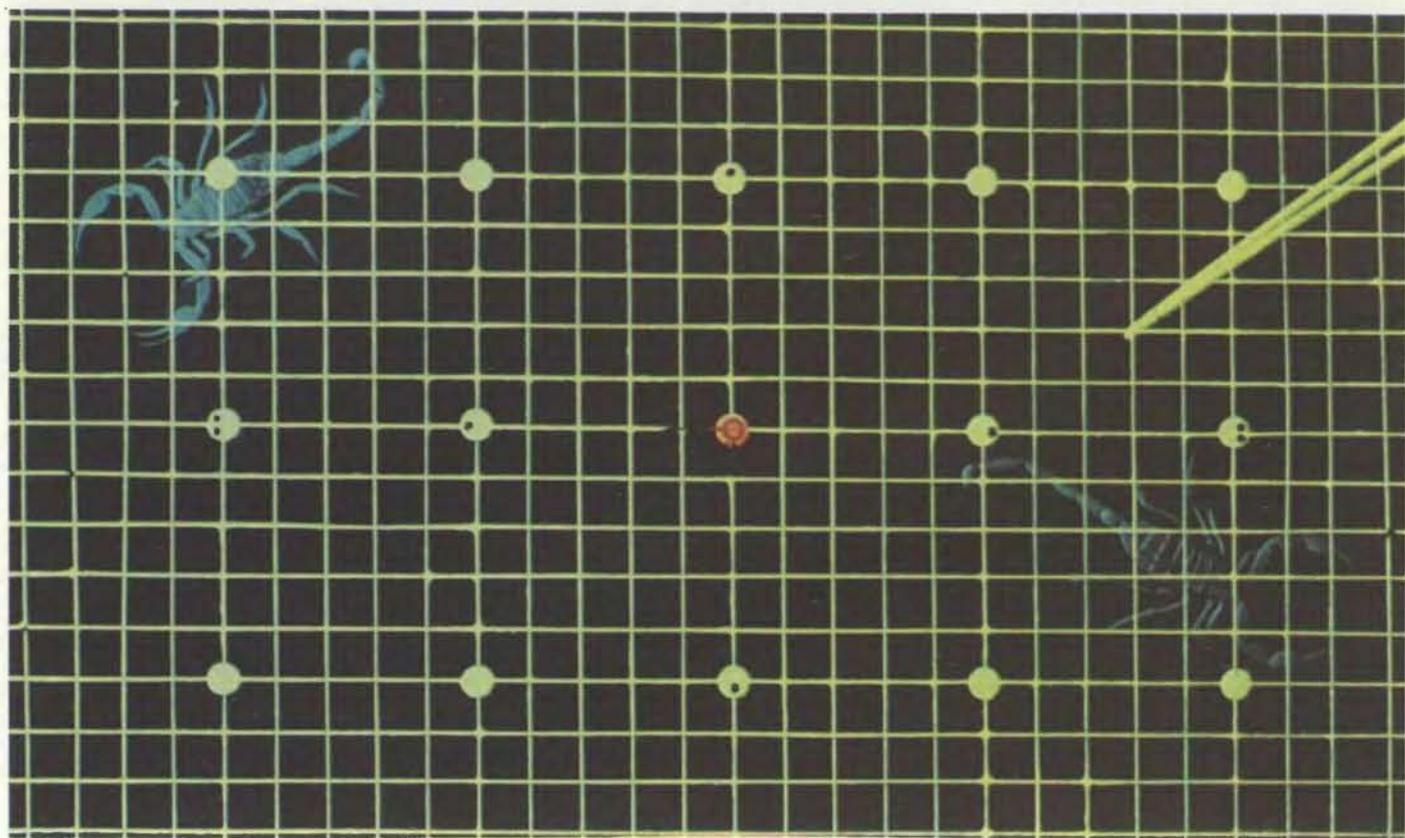
выделяющимся через отверстие в крючковидном жале на конце хвостовой части. Эта фотография, сделанная ночью, иллюстрирует необычное свойство кутикулы скорпиона — она светится в ультрафиолетовых лучах, благодаря чему можно наблюдать за его поведением в природе.

выживания при неудачной охоте обеспечивается тем, что скорпион, находясь в убежище, может «выключать» процессы метаболизма в организме и переходит в неактивное состояние.

Это позволяет ему, так сказать, поев один раз, сохранять жизнеспособность в течение недель и даже месяцев.

Как только подходящая добыча оказывается во «владениях» скорпиона,

его поведение резко меняется. Прежде всего он проявляет реакцию тревоги: педипальпы, предназначенные для хватаивания добычи, раздвигаются в стороны и вытягиваются вперед, в то же врем-



ФОТОГРАФИЯ, СДЕЛАННАЯ С БОЛЬШОЙ ВЫДЕРЖКОЙ ночью в природных условиях в ультрафиолетовых лучах, демонстрирует реакцию скорпиона на прикосновение палочкой к песку: он быстро поворачивается и бежит к этому месту. Если с первого раза скорпион не достигает цели, он ждет, когда предполагаемая добыча совершил еще одно движение. (Сторона каждого квадрата светящейся масштабной решетки равна 1 см.) В результате серии опытов удалось оценить точность, с которой скорпион определяет,

в каком направлении находится источник колебаний песка, имитирующий движения жертвы, и каково расстояние до него. В 8—10 см от цели животное в большинстве случаев поворачивалось сразу на нужный угол (а). Скорпион правильно «измеряет» расстояние до цели, если она находится в пределах 15 см от него (б). На большем расстоянии реакция становится существенно менее точной и результаты сильно варьируют. (Каждая точка на графике представляет среднее из всех опытов с данным расстоянием.)

мя все тело приподнимается над поверхностью песка. Каждое последующее движение жертвы вызывает у скорпиона реакцию ориентации: он быстро поворачивает педипальпы в направлении добычи и передвигается на несколько сантиметров ближе к ней. Если педипальпы еще не достают до жертвы, то он ждет неподвижно того момента, когда та сделает следующее движение. Охота обычно продолжается не более нескольких секунд и включает от 1 до 5 реакций ориентации, каждой из которых обязательно предшествует период неподвижности, которая немедленно нарушается при новом колебании песка «под ногами» жертвы.

Охотничьи способности скорпиона замечательно проявляются при его нападении на обитающего в пустыне роющего таракана *Arenivaga investigata*, который питается корнями растений и проделывает свои ходы под самой поверхностью песка. Когда таракан роет ход в пределах полуметра от вышедшего на охоту скорпиона, последний совершает ряд обычных реакций ориентации, передвигаясь в направлении скрытого в песке таракана до тех пор, пока не окажется в точности над своей жертвой. Теперь скорпион начинает вести себя так, как будто преследует добычу, и делает типичные для этого повороты и прыжки. Однако через несколько секунд его поведение опять изменяется; подняв заднюю часть тела, скорпион несколько раз ударяет педипальпами по песку, пока не коснется таракана и не схватит его. Затем он выкапывает добычу, совершая те же движения, что и при рытье норки.

Поскольку скорпионы активны только ночью, количественно оценить дальность и точность обнаружения ими добычи довольно трудно. К счастью, кутикула этих животных обладает уникальным свойством: в ультрафиолетовых лучах она светится желто-зеленым цветом, что позволяет наблюдать скорпиона с расстояния нескольких метров. Для получения количественных характеристик поведения скорпиона мы смонтировали на треножнике фотокамеру вместе с источником ультрафиолетового излучения, а под камерой поместили светящуюся масштабную решетку. Треножник ставили над охотящимся скорпионом, и, делая с большой выдержкой фотографии, фиксировали его реакции ориентации в ответ на легкие прикосновения к песку палочкой, имитировавшие движения жертвы.

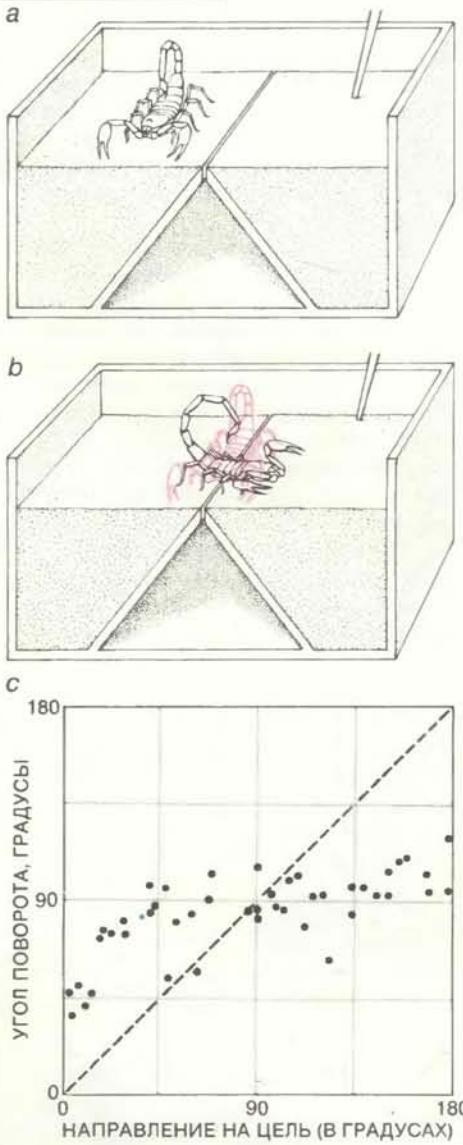
Проделанные нами измерения показали, что скорпион чувствует движение песка на расстоянии до 30 см. В пределах 10 см его оценка направления и расстояния особенно точна: стоит один раз прикоснуться к песку палочкой и скорпион сразу оказывается у «цели». Как же ему это удается?

Чтобы ответить на этот вопрос, я решил изучить поведенческие реакции ориентирования скорпиона в лабораторных условиях; однако здесь меня ожидало некоторое затруднение: помещенный в террариум, скорпион не проявлял никакого желания преследовать добычу. К счастью, у скорпиона есть еще другая поведенческая реакция — защитная, которая легко поддается изучению. Обычно скорпион старается избегать угрожающих ситуаций. Но, если потревожить его достаточно сильно, он поднимает брюшко и, круто изогнувшись, с выступающим жалом над головой, направляет его в сторону источника раздражения. Любые колебания субстрата в это время заставляют его энергично поворачиваться в сторону, откуда идет сигнал, — точно так же, как при охоте, только без продвижения вперед.

Ряд простых опытов подтвердил наше предположение о том, что поведенческие реакции скорпиона, в которых проявляется его способность ориентироваться, не связаны ни со зрительной, ни со слуховой стимуляцией. Когда все восемь глаз скорпиона замазывали непрозрачной краской, не отмечалось никаких изменений ни в чувствительности его к угрожающим сигналам, ни в точности, с которой он поворачивался в ответ на эти сигналы. Не влияли на защитную реакцию животного и звукоопоглощающие пластиинки, которые мы помещали между скорпионом и источником сигналов.

Иная картина складывалась, если в субстрате (песке) создавали воздушную прослойку, блокировавшую распространение в нем механических колебаний. Поведение животного изменилось, хотя эта прослойка не влияла на зрительные и слуховые стимулы. Когда «раздраженного» скорпиона помещали по одну сторону от воздушной преграды, а сигнал подавался по другую сторону, скорпион никак не реагировал, даже если расстояние до источника сигнала не превышало нескольких сантиметров. Однако, если скорпион хотя бы одной ногой касался субстрата на той стороне, где возник сигнал, животное немедленно поворачивалось в этом направлении. Так было показано, что для восприятия сигнала скорпиону необходимо иметь механический контакт с возмущенным, т.е. испытавшим воздействие, субстратом.

Далее оказалось, что при проявлении защитной реакции угол, на который поворачивается скорпион, зависит исключительно от того, какими ногами он касается возмущенной поверхности. Например, когда все правые ноги скорпиона находились по одну сторону от воздушной прослойки, а все левые ноги — по другую, прикосновения к песку в различных точках с левой стороны от животного всегда вызывали пово-



ОПЫТЫ С ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

показывают, что при обнаружении добычи скорпионы реагируют на механические колебания субстрата, а не на зрительные или звуковые сигналы. Если скорпион находится с одной стороны от воздушной прослойки, блокирующей распространение упругих волн, он не чувствует прикосновения к песку в нескольких сантиметрах от себя на другой стороне от преграды (a). Когда только левые ноги скорпиона стоят на испытывающем воздействие субстрате (b), скорпион поворачивается налево, но независимо от локализации источника колебаний угол поворота таков, что тело животного располагается в направлении, близком к перпендикуляру к воздушной прослойке (c). Для правильной оценки направления скорпион нуждается в информации от всех 8 ног.

рот налево, но по сравнению с правильным направлением скорпион сильно отклонялся к перпендикуляру к преграде. В этом случае из-за воздушной прослойки чувствительность скорпиона к сигналам не уменьшалась, но снижалась точность, с которой животное устанавливало направление на источник колебаний. Характер реакций скор-

пиона указывает на то, что он определяет нужный угол поворота в результате интеграции информации, поступающей от каждой из его ног. Когда я выбирочно исключал часть сигналов, мне всегда удавалось помешать скорпиону точно установить направление на источник раздражения.

Опыты с созданием воздушной прослойки показали, что скорпион извлекает информацию, необходимую ему для обнаружения жертвы, из распространяющихся по субстрату сигналов, которые он, по-видимому, воспринимает с помощью рецепторов, находящихся в ногах. Предстояло выяснить, что это за рецепторы, но прежде следовало установить природу передаваемых песком сигналов, несущих полезную для скорпиона информацию.

Последний вопрос был особенно интересен, поскольку геофизики всегда считали песок плохим проводником

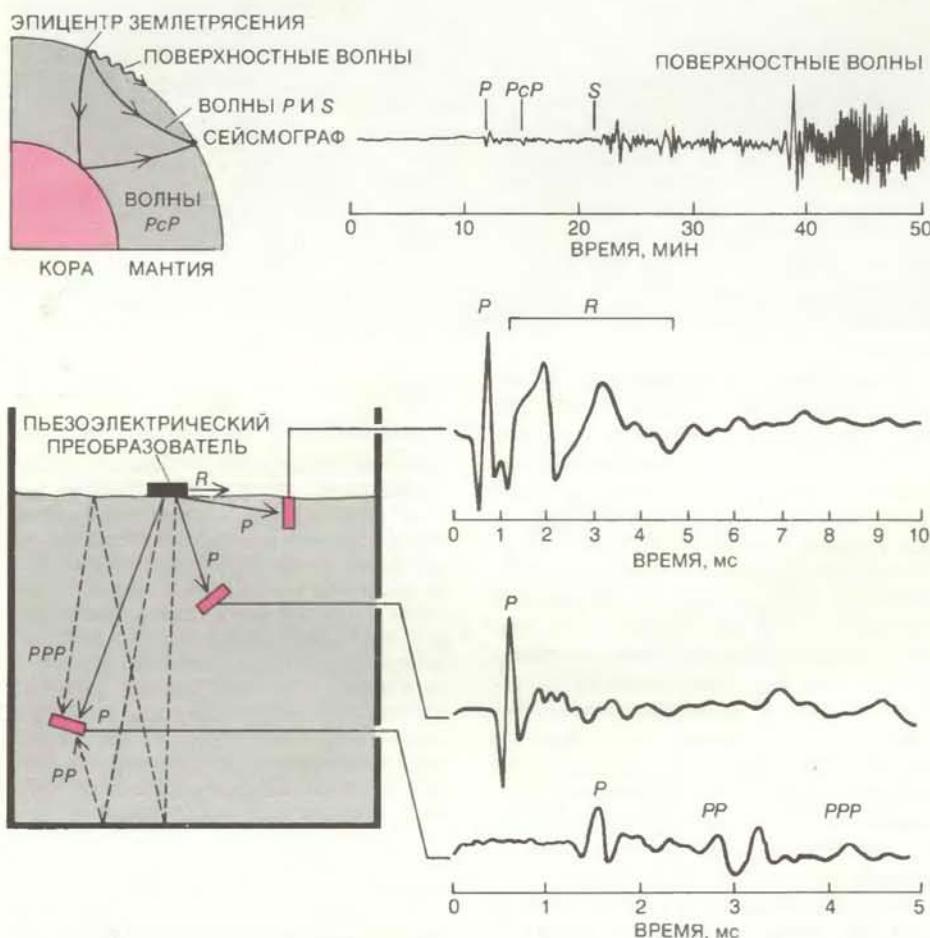
упругих волн, чему есть две причины. Во-первых, песок представляет собой гранулярный рыхлый субстрат, в котором соседние частицы не прилегают плотно одна к другой. В то время как в плотном твердом субстрате, например в камне, давление, приложенное к одной частице, изменяет положение другой и это изменение распространяется в виде упругой волны, в песке кинетическая энергия быстро рассеивается из-за трения при скольжении частиц относительно друг друга. В неупругом субстрате сильнее затухают низкочастотные (длинноволновые) колебания. А при высокой частоте колебаний длины волн так малы, что приближаются к линейным размерам частиц песка. Песчинки отражают и рассеивают их, отфильтровывая таким образом высокочастотные компоненты от проходящей волны. В результате этих двух процессов — затухания низкочастотных и

рассеивания высокочастотных компонентов — песок будет пропускать упругие волны лишь в очень узком диапазоне частот, а может быть, не будет пропускать их вовсе.

TEM не менее было ясно, что скорпионы получают какой-то сигнал, и поэтому я решил изучить проводящие свойства песка более детально. С этой целью я помещал в ящике с песком на разной глубине и на поверхности пьезоэлектрические сейсмометры. Такой сейсмометр представляет собой диск из кристаллического кварца, в котором при давлении на плоские стороны возникает электрический ток. С помощью пьезоэлектрического преобразователя я вызывал периодические колебательные движения субстрата на некотором расстоянии от сейсмометров. В первых же опытах показания сейсмометров подтвердили то, о чём можно было догадываться на основании наблюдений за поведением скорпионов: песок довольно хорошо проводит механические колебания на расстоянии до нескольких дециметров.

Нужно было, однако, еще разобраться, что же, собственно, показывают сейсмометры. В твердых средах могут распространяться упругие волны четырех типов. Из них волны сжатия и сдвига — это объемные сферические волны. Волны сжатия (звук) заставляют частицы колебаться вперед и назад вдоль направления распространения волны, а в волнах сдвига частицы движутся перпендикулярно ей. Упругие колебания двух других типов распространяются вдоль поверхности. Из них интерес для нас могут представлять лишь рэлеевские волны; в них движение частиц происходит по эллипсу, большая полуось которого перпендикулярна поверхности, а малая параллельна направлению распространения волны.

В моих опытах пьезоэлектрические детекторы улавливали два отчетливых сигнала, проходящих через ящик с песком: одна волна, относительно быстрая, распространялась как по поверхности, так и в толще песка, а вторая, медленная, — только по поверхности. Поворачивая детекторы так, чтобы их оси максимальной чувствительности оказывались под различными углами к направлению распространения сигнала, мне удалось определить характер движения частиц при прохождении этих волн. Оказалось, что быстрая волна является волной сжатия, а более медленная — рэлеевской волной. Движение частиц, характерное для волн сдвига, детекторами не обнаруживалось, что неудивительно, поскольку распространение таких волн целиком зависит от сил сдвига, действующих между соседними слоями



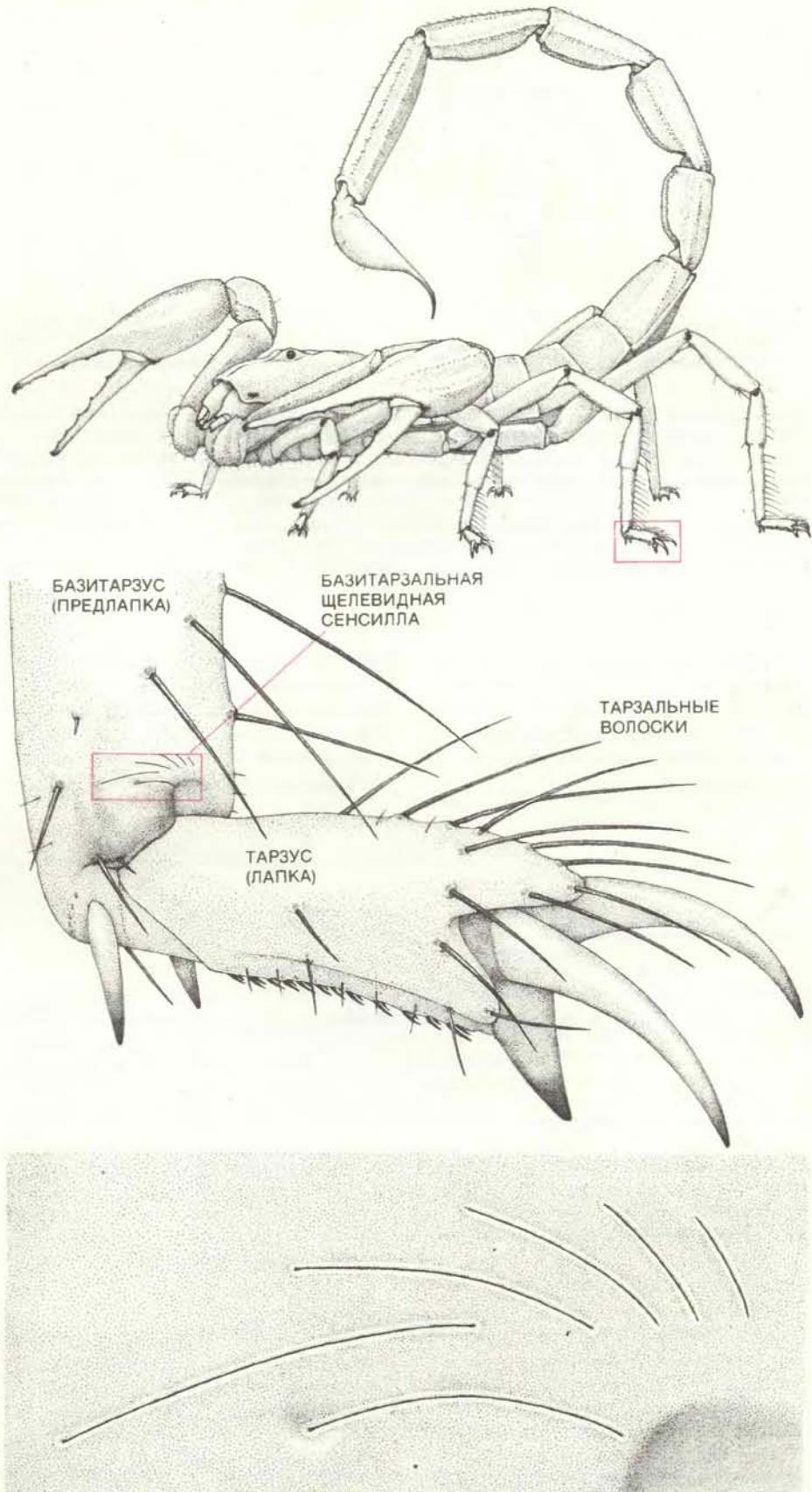
УПРУГИЕ ВОЛНЫ при землетрясении регистрируются сейсмографом за тысячи километров от эпицентра (вверху); волны того же типа распространяются на короткие расстояния в песке при слабых механических колебаниях, создаваемых пьезоэлектрическим преобразователем (внизу). При землетрясении возникают объемные волны — сжатия (P) и сдвига (S) — и поверхностные волны — рэлеевские (R) и волны Лява. P-волны распространяются быстро и первыми улавливаются сейсмографом, после чего регистрируется их отражение от земной коры (Pcp), а затем — волны сдвига и поверхностные волны. В песке распространяются только P- и R-волны. В ящике с песком пьезоэлектрические детекторы (цветные прямоугольники) регистрируют у поверхности и P- и R-волны, а на глубине 6 и 19,5 см только P-волны и их отражение от стенок ящика и поверхности песка.

частиц и стремящихся восстановить форму каждого малого объема среды, а в сыпучих средах, подобных песку, эти силы очень малы.

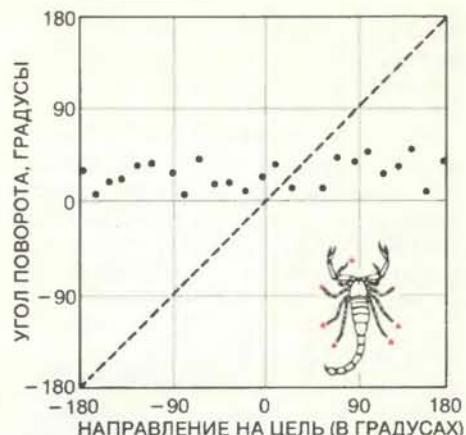
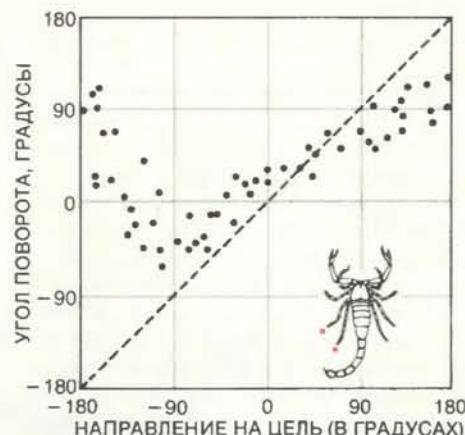
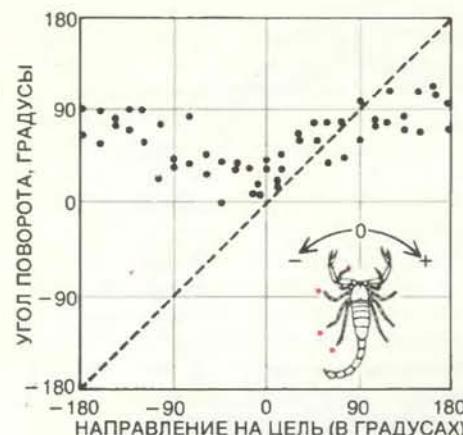
Итак, песок вопреки установленвшейся за ним репутации сильно поглощающей механические колебания среды оказался проводником упругих волн по крайней мере двух типов. И физические свойства этих волн — диапазон частот и скорость прохождения — таковы, что животные, имеющие соответствующие чувствительные рецепторы, могут улавливать их на расстоянии нескольких дециметров от источника и принимать информацию, которую они несут.

Для того чтобы установить, насколько успешно волны различных частот и длин проходят через песок, я проанализировал формы волн сжатия, регистрируемых на разных расстояниях от постоянного источника. Эта процедура, называемая анализом Фурье, позволяет определить, до какой степени при прохождении сложного сигнала через среду затухают составляющие его волны с различными частотами. Я обнаружил, что песок ведет себя как весьма хороший проводник упругих волн в интервале частот 0,1—5 кГц. В сигналах, зарегистрированных на относительно большом расстоянии от источника, доминировали частоты около 1 кГц, а это как раз та частота, к которой механорецепторы большинства животных высокочувствительны. Кроме того, в песке этим частотам соответствуют достаточно короткие волны (длиной несколько сантиметров), так что такие мелкие существа, как скорпионы, способны улавливать разницу во времени поступления отдельных волн к рецепторам, расположенным на теле в разных местах.

Может быть, наиболее удивительным свойством механических колебаний в песке оказалась низкая скорость их прохождения. Через большинство природных твердых субстратов упругие волны проходят с высокой скоростью, что и было одной из главных причин, по которым этологи склонялись к тому, чтобы исключить вибрации субстрата из числа факторов, способных вызывать у животных реакции ориентации. Из-за этой высокой скорости прохождения животное не может уловить разницу во времени поступления или в амплитуде колебаний к разным рецепторам и использовать эти характеристики для установления местонахождения источника волн. Измерения показали, однако, что волны сжатия распространяются в рыхлом поверхностном слое песка со скоростью примерно 120 м/с, т.е. в два с лишним раза медленнее, чем звук в воздухе; в плотном песке их скорость составляет примерно 200 м/с. Эти величины поч-



МЕХАНОРЕЦЕПТОРЫ ДВУХ ТИПОВ находятся на тарзальных (концевых) сегментах ног скорпиона. Они чувствительны к слабым механическим колебаниям субстрата. Волоски, выступающие по бокам и снизу тарзуса (лапки), контактируют с песчинками и, вероятно, воспринимают горизонтальное движение частиц, происходящее в волнах сжатия. Базитарзальная щелевидная сенсилла представляет собой совокупность кутикулярных складок, похожих на щели. Этот рецептор особенно чувствителен к колебаниям, от которых кутикулярные щели сжимаются в направлении, перпендикулярном их продольным осям, и способен улавливать упругие волны (по-видимому, рэлеевские) с амплитудой около 1 Å.



РОЛЬ ЩЕЛЕВИДНЫХ СЕНСИЛЛ в определении направления на цель. Все или несколько щелевидных сенсилл прокалывали иглой (показано цветными точками), а затем вызывали колебания субстрата, источник которых находился под разными углами по отношению к оси тела скорпиона. Когда «выключены» щелевидные сенсиллы на всех ногах, животное не чувствует никаких колебаний, кроме самых сильных. Если разрушена часть сенсилл, скорпион поворачивается в сторону неповрежденных ног, причем его ошибка возрастает с увеличением числа проколотых сенсилл.

Например, когда повреждены 4 левые ноги (слева), скорпион всегда поворачивается направо, даже если источник колебаний субстрата находится слева от него. Эти наблюдения показывают, что в норме скорпион определяет направление на источник колебаний путем интеграции информации от всех 8 щелевидных сенсилл.

ти на порядок меньше, чем скорость звуковой волны в большинстве твердых тел. Рэлеевские волны проходят по песку еще медленнее, скорость их распространения просто поразительна — 40—50 м/с.

ИТАК, скорпионы, по-видимому, улавливают как волны сжатия, так и рэлеевские волны и руководствуются ими при поисках добычи. Следующей задачей было выяснить, какие именно колебания воспринимают скорпионы и

с помощью каких рецепторов.

Естественно было искать рецепторы на сегментах лапок скорпиона, т.е. на «ступнях» его ног, поскольку, согласно нашим наблюдениям, именно они и только они должны войти в контакт с



ОТВЕТ МЕХАНОРЕЦЕПТОРОВ на упругие волны, распространяющиеся в песке, можно наблюдать, если ввести тонкие проволочки в концевые сегменты ног скорпиона и зарегистрировать биоэлектрические сигналы (потенциалы действия), которые передаются от рецепторов по ножному нерву в головной мозг. Пьезоэлектрический детектор (на рисунке не показан), помещенныйный в песок около лапки скорпиона, отмечает проходящие волны. Когда в песке возникают механические колебания, первыми к лапке поступают волны сжатия (1), они стимулируют тарзальные волоски и вызывают потенциалы действия с большой амплитудой. Через

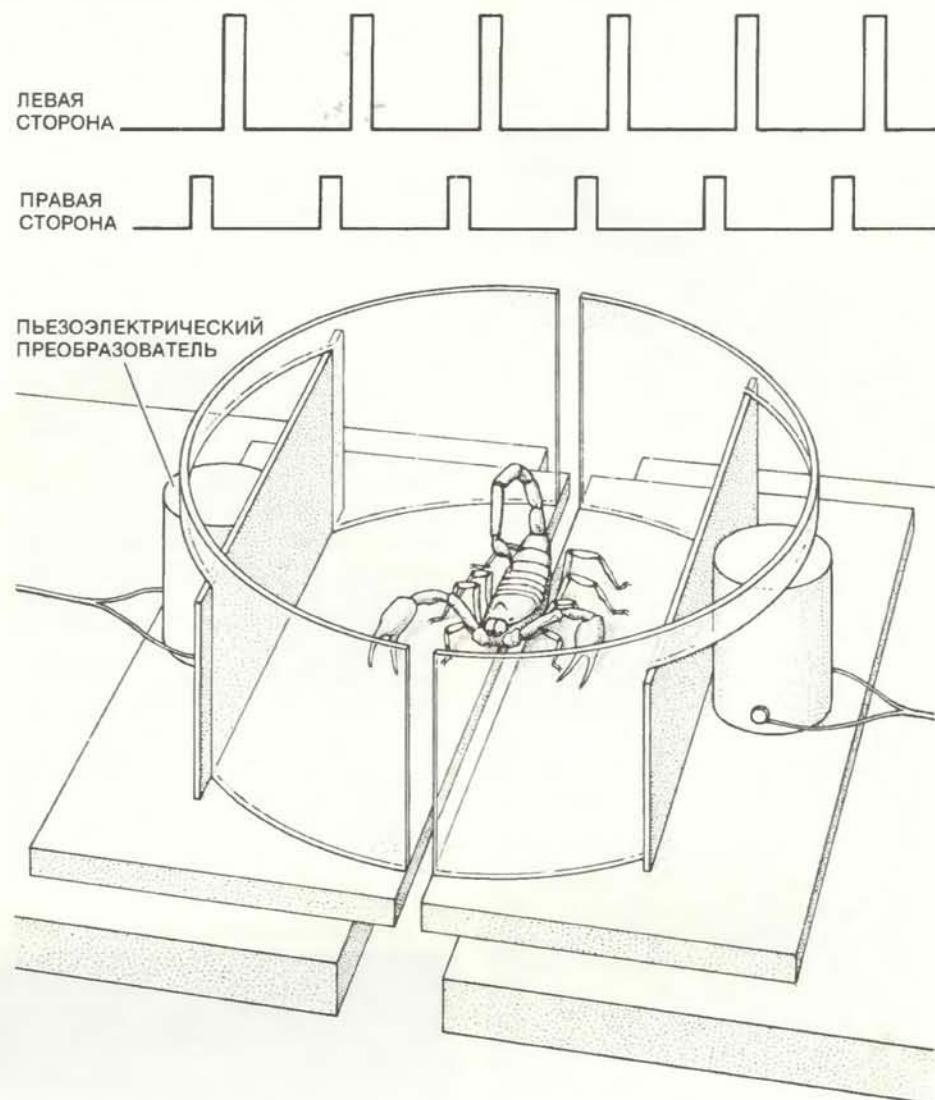
несколько миллисекунд (2) вследствие вертикального движения частиц песка в более медленно распространяющихся рэлеевских волнах сжимаются щелевидные сенсиллы и появляются потенциалы действия с меньшей амплитудой. Раздражение щелевидных сенсилл рэлеевскими волнами, по-видимому, является основным фактором при установлении скорпионом направления на источник колебаний; возможно, что расстояние до источника он определяет по разнице во времени (запаздыванию) стимуляции двух типов механорецепторов двумя типами волн.

субстратом, для того чтобы скорпион смог ориентироваться в пространстве. На каждой из восьми ног скорпиона имеется несколько кутикулярных образований, которые могли бы выполнять функции mechanoreцепторов. К этим образованиям относятся волосковые сенсиллы, шпоры, коготки и еще одна специфическая структура, так называемая щелевидная сенсилла, свойственная всем паукообразным. Щелевидная сенсилла представляла особый интерес, поскольку было известно, что у пауков гомологичное ей образование — лировидный орган — воспринимает вибрации паутинной сети, к которым пауки так необычайно чувствительны.

Тарзальные (т.е. находящиеся на лапках) щелевидные сенсиллы скорпиона действительно представляют собой главный элемент механизма, с помощью которого скорпион обнаруживает свою жертву. Продемонстрировать это было нетрудно. Когда тонкой иглой прокалывали все тарзальные щелевидные сенсиллы, поведение скорпиона не изменялось, за тем исключением, что он становился «слеп и глух» ко всем колебаниям субстрата, кроме самых интенсивных. Когда же прокалывали рецепторы только на левых ногах, скорпион вел себя, по существу, так же, как в опытах с воздушной прослойкой в песке: в ответ на искусственно вызванное колебание субстрата он стремился повернуться на 90° вправо, т.е. в ту сторону, на которой рецепторы остались интактными. Поскольку поведение в этих двух случаях однотипно, можно сделать вывод, что разрушение щелевидных сенсилл на одной стороне тела равноценно прекращению всех сигналов, воспринимаемых с этой стороны.

Аналогичным образом «выключение» рецепторов на двух соседних ногах приводило к тому, что реакция ориентации, оставаясь в большинстве случаев достаточно точной, нарушалась, когда источник сигналов был расположен вблизи этих ног. Наконец, если разрушали все рецепторы, за исключением двух на соседних ногах, скорпион неизменно поворачивался в сторону оставшихся рецепторов независимо от того, где находился источник сигналов. Очевидно, для точного определения местоположения источника скорпиону необходима информация, поступающая со всех щелевидных сенсилл.

Благодаря тому что ноги у скорпиона довольно большие, можно вводить тонкие проволочки в концевые сегменты и регистрировать потенциалы действия — биоэлектрические сигналы, идущие от рецепторов к головному мозгу. Было установлено, что потенциалы действия, возникающие во время ответной реакции на колебание суб-



СКОРПИОН ОПРЕДЕЛЯЕТ НАПРАВЛЕНИЕ НА ЦЕЛЬ по тому, какие ноги первыми получают стимул в виде рэлеевской волны. В эксперименте скорпиона сажали на помост, разделенный посередине щелью, так что его правые ноги можно было стимулировать независимо от левых. Величины импульсов на каждой стороне площадки регистрировались осциллографом. Скорпион всегда поворачивался в сторону ног, первыми получивших стимул, даже если на другую сторону помоста подавался более мощный сигнал. Из этого следует, что скорпион определяет направление на источник колебаний по разнице в относительной интенсивности, а во времени между стимуляцией левых и правых ног. Опыты показали, что скорпионы способны улавливать очень небольшую разницу во времени — около 0,2 мс, но наиболее четко реагируют, когда она составляет 1—2 мс, а как раз за такое время рэлеевская волна проходит расстояние между ногами на разных сторонах тела скорпиона, которое равно 4—6 см.

страга, различаются по величине. Вначале появлялись потенциалы большей амплитуды — они коррелировали с поступлением к рецепторам на лапках относительно быстро распространяющихся волн сжатия. Потенциалы меньшей величины регистрировались позже — когда до рецепторов доходили более медленные рэлеевские волны.

Впоследствии мне удалось установить, с какими конкретно рецепторами связаны выявленные два типа биоэлектрических сигналов. Я выборочно стимулировал каждый из тарзальных

механорецепторов и выяснил, что большие по величине потенциалы являются ответом на раздражение чувствительных волосков на лапке, а меньшие исходят от щелевидных сенсилл. То есть волоски воспринимают волны сжатия, а щелевидные сенсиллы реагируют на поступление рэлеевских волн.

РАЗНИЦА в характере чувствительности рецепторов этих двух типов становится понятной, если принять во внимание, как движутся частицы субстрата при распространении восприни-

маемых этими рецепторами волн. Ф. Барт и его коллеги из Университета Гете во Франкфурте (ФРГ) показали, что щелевидная сенсилла особенно чувствительна к силам, сжимающим щель в направлении, перпендикулярном ее продольной оси. Именно такое сжатие осуществляется проходящая рэлеевская волна, поскольку вызываемое ею вертикальное движение частиц толкает концевой сегмент ноги вверх. А волосковые сенсиллы, находящиеся на нижней и боковых поверхностях ноги, погружены в песок и поэтому способны воспринимать горизонтальное движение частиц, возникающее при прохождении волн сжатия.

Конечно, для скорпиона цель не в том, чтобы просто уловить движения частиц песка, — ему надо установить местонахождение жертвы. Каким-то образом скорпион извлекает из распространения волн нужную информацию и использует ее, чтобы определить положение источника колебаний. Поскольку, как было показано, щелевидные сенсиллы играют решающую роль в определении направления на источник колебаний, рэлеевские волны представляют собой, по-видимому, тот сигнал, на основании которого устанавливается нужный угол поворота. Однако ни в строении щелевидных сенсилл и чувствительных волосков, ни в физиологии ответа нет ничего, что бы указывало на нацеленность рецепторов в том или ином направлении. Другими словами, независимо от угла, под которым приходит волна механических колебаний, рецепторы скорпиона реагируют одинаково. Значит, скорпион определяет направление на добычу путем сравнительного анализа информации от двух пространственно разделенных рецепторов, прореагировавших на прохождение одной и той же волны.

Восемь ног взрослого скорпиона образуют округлое сенсорное поле диаметром 4–6 см. Это сравнительно большое пространство в принципе может работать одним из двух способов. Во-первых, направление на источник волн можно определять по запаздыванию, т.е. разнице во времени раздражения рецепторов, находящихся ближе к источнику, и рецепторов, расположенных дальше от него; в этом случае скорпион просто поворачивается в направлении тех рецепторов, которые получили сигнал первыми. При диаметре сенсорного поля 5 см время запаздывания равно примерно 1 мс, поскольку рэлеевские волны распространяются со скоростью 50 м/с. Для волн сжатия, распространяющихся со скоростью 150 м/с, это время составит около 0,3 мс. Многие животные определяют направление на источник волн сжатия, распространяющихся в воздухе, при меньшем времени запаздыва-

ния; например, человеку, чтобы понять, где находится источник звука, достаточно менее 10 мкс разницы во времени поступления звуковой волны к левому уху и к правому. Во-вторых, направление на источник волн можно определять по разнице в интенсивности стимуляции разных рецепторов. По мере продвижения волны ее амплитуда уменьшается отчасти из-за того, что фронт волны расширяется, и ее энергия соответственно распределяется по все большей площади, а отчасти из-за поглощения сигнала средой. Поэтому рецепторы, расположенные ближе к источнику колебаний, получают более интенсивный стимул.

Чтобы установить, какой из двух способов используется скорпионом, я сделал специальное приспособление. Оно представляло собой помост, разделенный посередине узкой щелью. Каждая его половина была снабжена отдельным механическим вибратором, так что можно было вызывать колебание одной половины независимо от другой. Скорпиона помешали «верхом» над щелью, так что левые ноги попадали на одну сторону, а правые на другую, и включали вибраторы, причем время и интенсивность колебаний были разными для каждой половины помоста.

Это приспособление позволяло предложить скорпиону следующую дилемму. В естественной ситуации ноги скорпиона, которые находятся ближе к источнику колебаний, стимулируются раньше и сильнее. На разделенной пополам площадке можно было дифференцировать время и интенсивность колебаний: например, подавать к правым ногам импульс раньше, но вдвое слабее, чем к левым ногам. Скорпион должен был выбрать то, что для него важнее. Эксперимент повторяли многократно, и скорпион неизменно поворачивался направо независимо от интенсивности стимула, поступавшего к левым ногам. Следовательно, для установления направления на источник колебаний скорпион руководствуется именно временем получения сигнала, а не его относительной интенсивностью.

Следует отметить, что скорпион безошибочно определял, какие ноги получали сигнал первыми. Судя по быстроте и точности поворотов скорпиона вправо или влево, оптимальное время запаздывания сигнала составляет 1–2 мс. За одну миллисекунду поверхность волны проходит 5 см, т.е. как раз пересекает сенсорное поле скорпиона. Однако реакции скорпиона остаются достаточно четкими даже при запаздывании всего на 0,2 мс.

ОСТАЕТСЯ выяснить, как скорпион определяет расстояние до жертвы. Как показали наши наблюдения в при-

роде, скорпион чувствует добычу уже на расстоянии около 15 см, а если до нее не более 10 см, то он ошибается крайне редко. К сожалению, из-за того, что скорпионы отказываются охотиться в лабораторных условиях, не удается исследовать механизм оценки расстояния до жертвы, так что в этом вопросе мы пока находимся в области предположений. Можно лишь сказать, что при определении расстояния, так же как и при определении направления, должны восприниматься различия во времени поступления и в амплитуде сигналов, приходящих к разным рецепторам. Вполне вероятно также, что та информация, которую несут волны сжатия и которая, по-видимому, не нужна для реакций ориентации, используется скорпионом для определения расстояния до добычи. Можно предположить, что скорпион регистрирует разницу во времени стимуляции тарзальных волосков волнами сжатия и щелевидной сенсиллы медленнее распространяющимися рэлеевскими волнами, а эта величина должна быть пропорциональна расстоянию до жертвы. Возможен и другой механизм, основанный на восприятии затухания сигналов. В песке амплитуда упругих волн быстро уменьшается; в особенности это относится к волнам сжатия, поскольку фронт этих волн трехмерный в отличие от двумерного фронта поверхностных волн и энергия распределяется по большей площади. Когда скорпион находится близко к источнику колебаний, он должен ощущать гораздо большую разницу в интенсивности стимуляции находящихся на разном расстоянии от источника ног, чем вдали от источника.

То, что животное, тем более живущее на песке, в своей жизнедеятельности полагается исключительно на информацию, передающуюся через субстрат, может показаться противоречивым здравому смыслу. Тем не менее песчаный скорпион, извлекающий информацию из колебаний песка, вероятно, вовсе не уникален в этом отношении. Другие природные субстраты, скажем лист, или яблоко, или веточка дерева, также могут предоставлять населяющим их мелким животным важную для тех информацию, передавая ее на небольшие расстояния благодаря своей форме или физическим свойствам. Песчаный скорпион — лишь один представитель из все увеличивающегося списка животных (среди них пауки, строящие норки с крышками, муравьиный лев, манящий краб и др.), которым ноги служат не только для передвижения, но и для «прислушивания» и которые по возникающим в твердом субстрате механическим колебаниям определяют, где находится их источник.

Наука и общество

Нобелевские премии 1984 года

Физика

НОБЕЛЕВСКАЯ премия по физике 1984 г. — это символическое признание усилий сотен ученых, исследования которых позволили открыть в 1983 г. три новые частицы — промежуточные векторные бозоны W^+ , W^- и Z^0 , обмен которыми обусловливает слабое взаимодействие. Экспериментальное доказательство существования этих трех частиц было решающим этапом в подтверждении теории электрослабого взаимодействия, которой в настоящее время придерживаются многие физики, считая ее одним из важнейших достижений XX в. для объяснения фундаментальных природных процессов.

Премию получили совместно два наиболее одаренных и деятельных члена рабочей группы — Карло Руббия из Гарвардского университета и ЦЕРНа (Европейская организация ядерных исследований, Швейцария) и Симон ван

дер Мир, который тоже работает в ЦЕРНе.

Еще 15 лет назад считалось, что четыре существующих в природе фундаментальных взаимодействия — электромагнитное, слабое, сильное и гравитационное — проявляются независимо друг от друга. Например, радиус действия слабых сил составляет около 10^{-16} см (что соответствует нескольким тысячным долям диаметра ядра атома водорода), тогда как радиус действия электромагнитных сил бесконечен. Тем не менее в теории электрослабого взаимодействия и слабые и электромагнитные силы рассматриваются как разные проявления единого взаимодействия.

Согласно этой теории (за разработку которой в 1979 г. Нобелевской премии были удостоены С. Вайнберг, А. Салам и Ш. Глэшоу), три векторных бозона, открытые в ЦЕРНе, служат переносчиками слабого взаимодействия, точно так же как фотон является переносчиком электромагнитного взаимодействия. Однако в отличие от фотона, масса которого равна нулю, три векторных бозона — очень массивные частицы;

их масса, как считают теоретики, составляет 80—90 млрд. электронвольт.

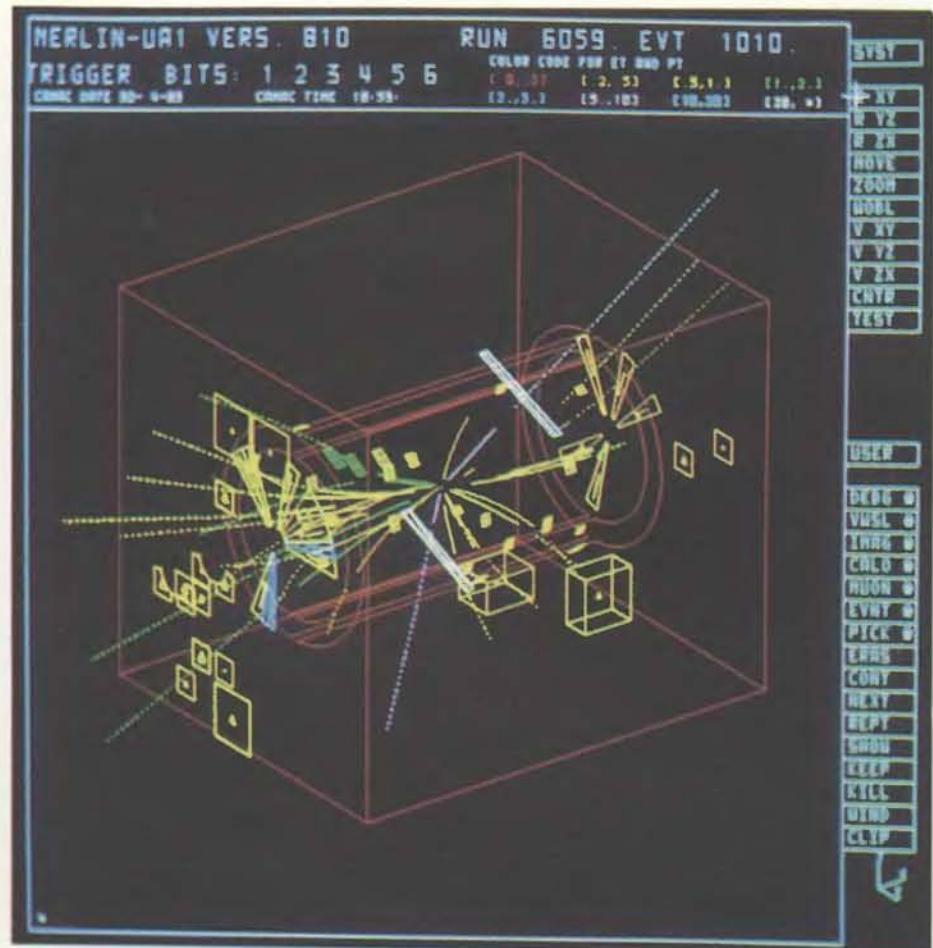
Вплоть до последнего времени считалось, что существующие ускорители не обладают достаточной мощностью, чтобы получить частицы со столь большой массой. Руббия предложил перестроить имеющийся в ЦЕРНе большой кольцевой ускоритель, на котором осуществлялась бомбардировка неподвижной мишени ускоренными протонами, в установку со встречными пучками: два пучка — протонов и антипротонов — ускоряются в противоположных направлениях и затем сталкиваются. Энергия, выделяющаяся при каждом таком столкновении, значительно выше, чем в случае бомбардировки неподвижной мишени пучком протонов.

Поскольку антипротоны получить трудно, только несколько таких частиц может участвовать в столкновениях; поэтому пучок должен быть высоко сколлинированным, чтобы число столкновений было достаточным для получения статистически достоверного результата. Для решения проблемы фокусировки пучка ван дер Мир предложил оригинальную идею — «охлаждать» пучок антипротонов, чтобы избежать разброса энергии антипротонов (метод стохастического охлаждения). Датчики, расположенные в разных точках кольца ускорителя, регистрируют степень рассеяния пучка. Сигнал от датчика передается строго на противоположную сторону кольца и попадает на корректирующее устройство до того, как сгусток антипротонов достигнет этого места. Корректирующее устройство включает дополнительное магнитное поле, которое направляет сгусток антипротонов в нужном направлении.

Физиология и медицина

В СВОЕЙ автобиографии Ф. Бернет, лауреат Нобелевской премии 1960 г. по физиологии и медицине, назвал Нильса Кая Ерне «самым умным из ныне живущих иммунологов». В октябре 1984 г. Ерне вместе с двумя другими иммунологами был удостоен Нобелевской премии. Комитет по Нобелевским премиям признал Ерне «крупным теоретиком в области иммунологии», а разработку метода моноклональных антител, осуществленную двумя другими лауреатами — Цезарем Мильштейном и Георгом Кёлером, — «одним из самых важных методических достижений в медицинской биологии в 70-е годы».

Ерне, датчанин по происхождению, до того как стал директором Базельского института иммунологии в Швейцарии, работал в США и ФРГ. Им предложены три теоретические концепции. Его теория образования анти-



Появление событий с участием электрона и позитрона (белые линии) в столкновении протонов и антипротонов было первым свидетельством существования Z^0 -бозона

тел, опубликованная в 1955 г., вошла в современное представление об иммунной системе — системе, защищающей организм от разнообразных и многочисленных чужеродных веществ, с большей частью которых он ранее не сталкивался.

На поверхности любого антигена (вируса, бактерии или другой чужеродной частицы), внедряющегося в организм, имеются компоненты, называемые антигенными детерминантами. Иммунная система организма реагирует на них размножением специфических антител, которые связываются с антигеном, с чего и начинается действие механизма его нейтрализации. В 50-е годы были общеприняты теории, предполагавшие, что сам чужеродный антиген выдает информацию, на основании которой образуются специфические антитела, способные связываться с ним.

По теории Ерне, не внедрение антигена есть сигнал для новообразования определенных антител: антиген избирательно взаимодействует с «комплементарным» ему антителом из огромного запаса уже существующих. Работы Бернета подтвердили это: он показал, что антиген действительно «отбирает» определенный клон иммунокомпетентных клеток, а именно В-лимфоцитов, уже запрограммированных на вырабатывание антител нужного вида.

Вторая теория Ерне дает объяснение того, как в вилочковой железе созревают другие клетки иммунной системы, Т-лимфоциты, и как они «научаются» отличать «свое» от «чужого».

И наконец, третья теория Ерне, разработанная им в 1973 г., утверждает, что иммунную систему следует рассматривать как саморегулирующуюся «функциональную сеть» взаимодействующих антител и лимфоцитов (см. Ерне Н. The Immune System. «Scientific American» 1973, July). Ерне полагает, что в организме содержатся антитела против антигенных детерминант не только чужеродных молекул, но и собственных антител и рецепторов собственных Т-клеток и что взаимодействие всех этих антител и антиантител либо стимулирует, либо подавляет реакцию иммунной системы на чужеродный антиген.

Мильштейн писал: «Что, если комунибудь удастся получить отдельную клетку, продуцирующую антитела одного-единственного типа, и вырастить из нее культуру?». Именно за то, что Мильштейну и Кёлеру удалось сделать это, им и присуждена премия.

Если животному ввести чужеродное вещество, его сыворотка будет содержать смесь многих антител, которые связываются более или менееочно с рядом антигенных детерминант; выделить из сыворотки антитела одного конкретного типа, которые связыва-

лись бы лишь с определенными, известными детерминантами, невозможно. Однако каждый вид антител получается из В-лимфоцитов одной определенной линии — отсюда и риторический вопрос Мильштейна. Проблема заключалась в том, что обычная клетка, продуцирующая антитела, не может развиваться в культуре ткани. Мильштейн и Кёлер решили эту проблему.

В 1975 г. Мильштейн был старшим научным сотрудником в лаборатории молекулярной биологии Совета медицинских исследований в Кембридже, а Кёлер стажировался в постдокторантуре. (Впоследствии он переехал в Базель, где работал Ерне.) Им удалось соединить нормальные лимфоциты, взятые у мыши, иммунизированной определенным антигеном, с миеломными клетками — клетками опухоли иммунной системы (будучи злокачественными, они бессмертны). Полученные в результате их слияния клетки — гибриды — сохраняют как способность лимфоцитов синтезировать определенные антитела, так и свойство клеток миеломы неограниченно расти в культуре. Индивидуальную гибридому можно выделить и культивировать, так что она даст начало клону клеток. Такой клон продуцирует в большом количестве антитела одного вида, которые распознают единственную антигенную детерминанту. Это и есть моноклональные антитела.

Моноклональные антитела стали повседневным инструментом для обнаружения, распознавания и выделения молекул из сложных смесей и из тканей. Их использование в медицине весьма многообещающее: они могут служить для разрушения злокачественных образований. Есть надежда, что удастся получить моноклональные антитела, которые будут взаимодействовать только с антигеном поверхности раковых клеток определенного вида. Если такие антитела соединить с каким-либо «противораковым» агентом, то получится иммунотоксин, нацеленный на конкретные опухолевые клетки и способный убить их, не причинив вреда нормальным клеткам.

ХИМИЯ

НОБЕЛЕВСКУЮ премию по химии в 1984 г. получил Р. Брюс Меррифилл за «простую и гениальную» идею автоматического синтеза белков, которая открывает совершенно новые возможности в области химии белков и пептидов, а также нуклеиновых кислот.

В конце 50-х годов Меррифилл начал разрабатывать способ последовательной сборки аминокислот в пептиды. Пептид — это как бы упрощенный вариант белка; пептиды, как и белки, представляют собой цепочки аминокислот, но гораздо более короткие.

Метод Меррифилда позволял осуществить автоматический синтез длинного белка. Первым полученным таким путем белком был инсулин, синтезированный Меррифиллом и его коллегами в 1965 г.

По методу Меррифилда первая аминокислота связывается ковалентно с гранулой полистирола; остальные аминокислотные звенья присоединяются по одному в нужной последовательности путем стандартной реакции, которую можно автоматизировать. По окончании синтеза образовавшаяся полипептидная цепь легко отделяется от носителя.

Эта простая идея имела далеко идущие последствия. Появилась возможность исследовать, как зависят биологические функции белков (в том числе гормонов, ферментов и антител) от их структуры. Такого рода исследования важны потому, что находят практическое применение в медицине.

Предложенный Меррифиллом способ синтеза белковых соединений оказался полезным при разработке метода моноклональных антител. На твердофазных носителях синтезируют пептидные антигены, которые в свою очередь нужны для получения клонов гибридных клеток, продуцирующих в большом количестве антитела к этим антигенам.

В ряде лабораторий по методу Меррифилда получают синтетические вакцины против таких вирусных заболеваний, как грипп, бешенство, гепатит. При этом синтезируется та часть белка оболочки вирусной частицы, которая обладает антигенными свойствами и поэтому вызывает в организме человека или животного образование антител. Синтетические вакцины выгодно отличаются от получаемых обычным путем естественных вакцин (представляющих собой препараты убитых или ослабленных вирусов), которые могут сохранять вирулентность.

Другая область применения твердофазного химического синтеза пептидов — производство нужных в медицине биологически активных соединений, в числе которых гипофизарный гормон АКТГ (гормон роста) и тиреоидный гормон кальцитонин. В лаборатории Меррифилда синтезирован глюкагон — белок, продуцируемый поджелудочной железой. Этот гормон повышает содержание сахара в крови, ускоряя расщепление гликогена в печени. Следующий этап работы — синтез аналогов глюкагона для получения его ингибиторов. Такие вещества должны конкурировать с глюкагоном за связывание с соответствующими активными центрами на печеночных клетках, но не будут стимулировать образование глюкозы, поэтому с их помощью можно было бы снижать уровень сахара в крови у больных диабетом и умень-

шать необходимую им дозу инсулина. Метод Меррифилда пригоден и для разработки новых лекарств. Например, в его лаборатории исследовали анафилатоксин СЗа. Этот полипептид состоит из 77 аминокислот; он имеет значение в развитии воспалительного процесса и других явлений, сопровождающих ответ иммунной системы организма на инфекцию. Синтезирован ряд пептидов — отрезков последовательности токсина; оказалось, что активной частью молекулы являются последние 5 аминокислот. Задача теперь в том, чтобы синтезировать препарат, который бы нейтрализовал СЗа и тем самым оказывал бы противовоспалительное действие. Такое лекарство нужно при астме, ревматоидном артрите и родственных им заболеваниях.

Экономика

КАК ведется учет заключаемых между покупателями и поставщиками миллионов сделок, являющихся показателем экономической активности в стране? До 50-х годов для этого не существовало никаких систематизированных методов, и при оценке состояния экономики в стране многие показатели оставались неучтенными.

Примерно 30 лет назад Ричард Стоун из Кембриджского университета приступил к разработке системы национальных счетов, которая теперь широко применяется на практике. Экономически развитые страны используют эту систему (сокращенно она называется SNA, а полное ее название — system of national accounts) для оценки состояния своей экономики; международные организации с ее помощью проводят сопоставительный анализ уровней экономического развития различных стран. В прошлом году за разработку этой системы Стоун был удостоен Нобелевской премии в области экономики.

Стоун начал с анализа сделок между частными лицами, частными и государственными секторами экономики и иностранными государствами. Он заметил, что такие сделки, как правило, были двусторонними: расходы одной стороны становились доходами для другой. Тогда Стоун придумал такую процедуру, которая в системе бухгалтерского учета по методу двойной записи позволяла суммировать данные по огромному числу сделок и составлять сводки по секторам (т.е. в зависимости от категории участвующих в сделке сторон).

Система национальных счетов состоит из строго определенных категорий бухгалтерского учета, которые в совокупности дают полное представление о том, как производится в стране валовый национальный продукт и как он распределяется и используется. При этом не требуются никакие специаль-

ные методы математической статистики. В США данные, которые подлежат сбору для оценки состояния экономики, включают экономические показатели, фиксируемые при переписях, проводимых Бюро переписей (при министерстве торговли США); сведения, содержащиеся в сводках о доходах, составляемых Налоговой службой США; результаты ежемесячно проводимого учета приходов и расходов федерального правительства, который делает министерство финансов, и итоговые показатели баланса платежей страны в международной торговле.

В. Леонтьев из Института экономического анализа при Нью-Йоркском университете, удостоенный Нобелевской премии в области экономики в 1973 г. за разработку метода «затраты — выпуск» (который является составной частью системы национальных счетов), считает награждение Стоуна в высшей степени заслуженным. По его мнению, Стоун является «одним из немногих экономистов нынешнего поколения, которые не теоретизируют и не дают советов, а делают значительный вклад в развитие экономики как эмпирической науки».

Издательство МИР предлагает:

R. Шерифф, Л. Гелдарт

РАЗВЕДОЧНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

В двух частях
Перевод с английского

Двухтомное руководство видных американских геофизиков, в котором детально рассмотрены все аспекты современной разведочной сейсмологии.

В первом томе изложены основы сейсмического метода исследования земных недр и поисков полезных ископаемых. Во втором томе описываются методы обработки сейсмических данных и дается их интерпретация с целью изучения строения земных недр и обнаружения залежей полезных ископаемых. Книгу отличают педагогическое мастерство, четкость изложения, умелое использование иллюстративного материала, в том числе из разведочной практики. К каждой главе даны хорошо подобранные задачи для самостоятельного решения.

Содержание 1 тома: Теория сейсмических волн. Геометрия траекторий сейсмических волн. Характеристики сейсмических событий. Метод и оборудование для отраженных сейсмических полей. Метод преломленных волн. Содержание 2 тома: Сейсмические скорости — их характеристики, прием и первичный анализ. Обработка сейсмических данных — применение ЭВМ, программирование, фильтрация. Принципы геологической интерпретации сейсмических данных. Тектонический палеогеографический и фаунистический анализ сейсмических разрезов. Математические приложения.

Для студентов, преподавателей и специалистов по разведочной геофизике. Может служить учебным пособием.

1986, 59 л. Цена 9 р. 50 к. за комплект.

Предварительные заказы на книги выпуска 1986 г.

принимаются магазинами — опорными пунктами издательства «Мир» с января — февраля, а остальными магазинами научно-технической литературы — с апреля — мая 1985 г.

Издательство заказов не принимает



Лесное древоводство

Долгое время считали, что производство древесины неизбежно предусматривает замораживание вложенного капитала на длительный период.

Применение современных агротехнических методов позволяет опровергнуть эту точку зрения

ЖОРЖ ТУЗЭ

ЦЕЛЬЮ специализированного лесного древоводства является производство древесины в условиях, близких к существующим в сельскохозяйственном производстве. Специализация лесного древоводства обусловлена рядом требований к его продукции, которая идет на производство древесной массы для целлюлозно-бумажной промышленности, строевого леса, а также высококачественной древесины для столярных и деревообделочных работ. В некоторых своих аспектах древоводство близко к производству промышленных культур для текстильной и сахарной промышленности, но отличается от него тем, что, несмотря на интенсификацию, его производственный цикл длится много лет. Наконец, специализированное лесное древоводство значительно отличается от традиционного лесоводства, так как в задачу последнего входит не только производство древесины, но и поддержание леса в экологическом равновесии.

Потребление древесины в современной промышленности постоянно растет. Во многих странах, в частности в странах Общего рынка, древесина образует один из основных вкладов в дефицит платежного баланса; во Франции, например, в 1983 г. этот дефицит выразился в сумме 12,7 млрд. франков. В некоторых странах с сухим климатом нехватка древесины тормозит развитие экономики, иногда превращается в настоящее бедствие, подобное нехватке продуктов питания.

Было бы ошибкой думать, что природные лесные богатства Северной Америки, Северной Европы, Советского Союза, а также огромные площади непроходимых тропических лесов смогут удовлетворить мировые потребности в древесине. Леса быстро истощаются. Швеция, превратившаяся за несколько десятилетий в импортера леса, служит тому красноречивым примером. Во второй половине XVIII в. в Швеции была вырублена значительная часть лесов, и стране пришлось восстанавливать свои лесные богатства; последствия этой чрезмерной эксплуатации начинают сглаживаться только сейчас. Что же касается тропических

лесов, то их неоднородность, огромные затраты при эксплуатации затрудняют использование их запасов. Впрочем, эти запасы не столь огромны, как считают некоторые.

Древесина, заготовляемая в лесах (за исключением той, которую дают хвойные леса стран с умеренным и холодным климатом в Северном полушарии), довольно неоднородна по составу и качеству. Достаточно посмотреть на тот материал, который получается при вырубке лиственного леса вдоль дорог, чтобы понять, что такая древесина не отвечает всем требованиям, предъявляемым к промышленному сырью. Специализированное лесное древоводство должно производить однородное сырье.

Наконец, по многим причинам промышленные леса стран традиционного лесоводства дороги: их создание требует сложных и длительных лесоводческих мероприятий, которые увеличивают их стоимость на корню. С другой стороны, выход древесины с гектара относительно невысок, исключение составляет лишь сплошная вырубка. К тому же забота о сохранении леса, который остается на корню, затрудняет и удороожает эксплуатацию. Таким образом, на рынке древесины, являющейся открытым международным рынком, господствуют крупные производители, хищнически эксплуатирующие леса, часто применяющие сплошную вырубку, стремящиеся достичь наибольших экономических выгод.

Для решения перечисленных проблем некоторые производители древесины отказываются от экстенсивного лесоводства в пользу интенсивного. Эта идея не нова, хотя начиная с XVIII в. облесение как метод создания лесов заменило лесное древоводство. Целенаправленное лесное древоводство было известно еще древнеримским агрономам; много писали о нем и их последователи в XVI в. Как это часто бывает, когда речь идет о лесах, новые идеи имеют большую историю.

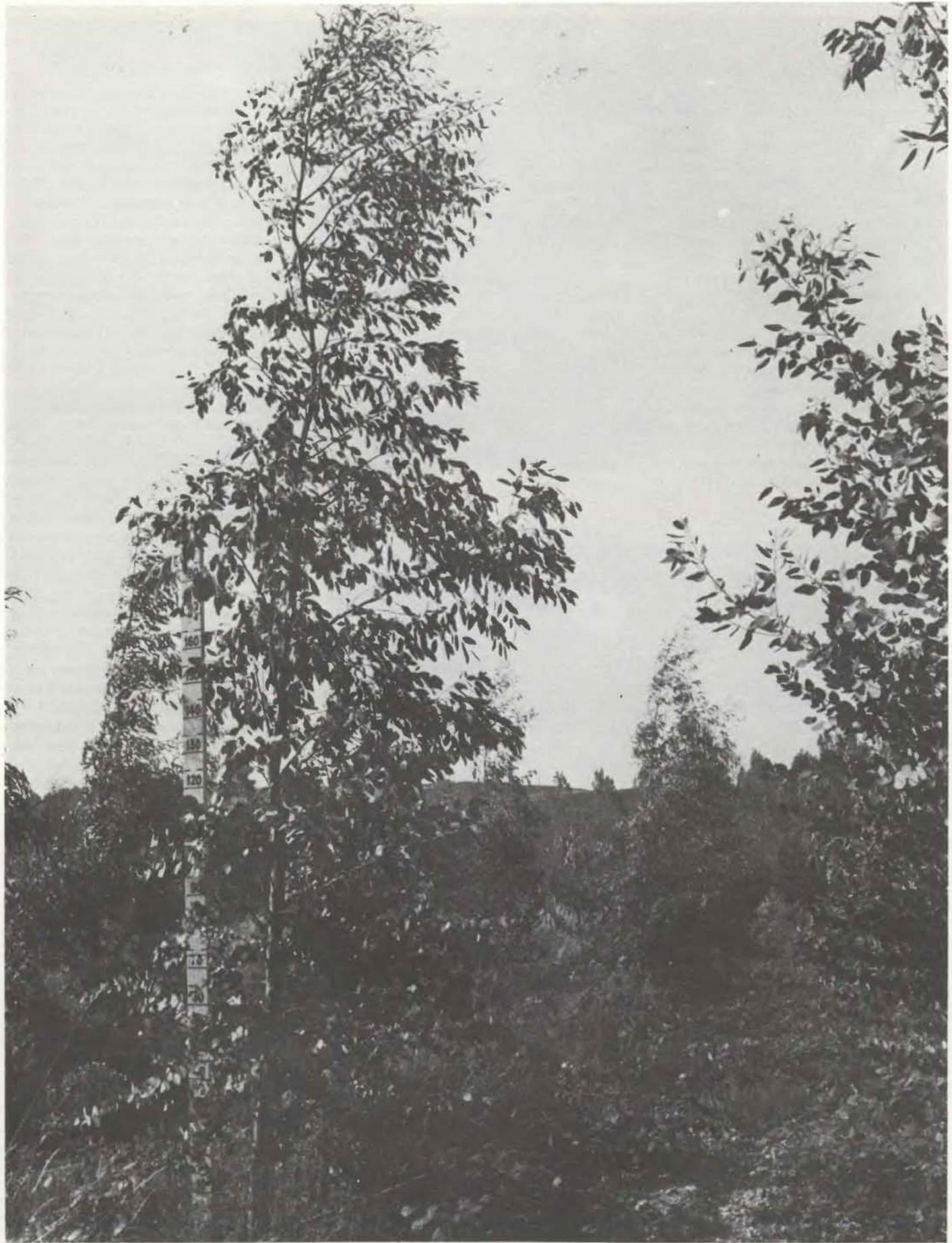
Для практического осуществления специализированного лесного древоводства необходимо, чтобы увеличению капиталовложений соответствова-

вал значительный рост продуктивности. Другими словами, капиталовложения, направленные на интенсификацию, должны позволить производить больше древесины за меньший срок и с меньшими затратами. (Когда речь идет о продуктивности, лесоводы имеют в виду и количество продукции, и длительность производственного цикла.)

Проблемы древесной культуры

В сельском хозяйстве интенсификация достигается путем улучшения возделываемой культуры и совершенствования агротехнических методов. Точно так же обстоит дело и с любой древесной культурой: необходимо постоянное улучшение таких показателей, как прямизна и цилиндричность стволов, тонкость веток, а также мощность насаждений. Улучшение культивируемых деревьев должно обязательно сопровождаться разработкой агротехнических приемов подготовки почвы и внесением веществ, увеличивающих выход древесины. Однако сельскохозяйственная модель слишком приблизительна. Лесное древоводство включает несколько стадий (например, стадию питомника), не свойственных сельскому хозяйству; к тому же производственный цикл длится несколько лет, а значит, необходимо планировать промежуточные агротехнические мероприятия с учетом финансового равновесия всего производственного цикла.

Какие трудности возникают при работе с древесной культурой? Первая проблема связана с однородностью насаждений, образуемых деревьями одного вида, или нескольких клонов: деревья одного массива, имеющие один и тот же генотип, страдают от одних и тех же вредителей и от одних и тех же неблагоприятных климатических условий. Мы вернемся ниже к вопросу о необходимых мерах, устраниющих отрицательное воздействие этого фактора. Заметим, однако, что разнообразие экологических условий заставляет культивировать различные виды и клони, иначе чересчур большие площа-



ЛЕСНОЕ ДРЕВОВОДСТВО, основанное на селекции растений и на применении усовершенствованных и специфических методов агротехники, позволяет получать деревья, скорость роста которых еще несколько десятилетий назад считалась невероятной. На фотографии представлен двух-

летний эвкалипт *Eucalyptus gunnii*, уже достигший высоты 4 м. Эвкалипты вырубаются в возрасте от 8 до 20 лет, их древесина используется для изготовления древесной массы для бумажной промышленности.

окажутся заняты одним и тем же видом или клоном. Кроме того, в такой стране, как Франция, где насаждения на площади 15 га считаются довольно значительными, можно создавать только дробные массивы. Однако на примере моноклональной культуры тополей можно видеть, что однородность плантации не обязательно приводит к ее исчезновению.

Разрушение почв, которое является следствием применения подобной агротехники, также вызывает беспокойство. В частности, монокультура способствует выщелачиванию почв: ценные химические элементы и растворимые химические вещества мигрируют из поверхностных слоев почвы (элювиальных) в более глубокие слои (иллювиальные). И выщелачивание, и скопление одинаково вредны. Заметим, впрочем, что лесные почвы выщелачиваются в результате естественной эволюции (наиболее известный пример — это разрушение почв в дубовых лесах Атлантического побережья). В то же

время в больших интенсивных фруктовых садах не наблюдалось значительное и необратимое быстрое разрушение почв.

Таким образом, не следует недооценивать значение агротехнических приемов. Накопление грубого гумуса в хвойных плантациях — это следствие их загущения; как только плантации прореживаются и свет достигает почвы и согревает ее, грубый гумус минерализуется и исчезает. Культивация почвы, при которой однородные слои почвы перемешиваются и питательные вещества поднимаются с глубины в верхностный слой, компенсирует выщелачивание. Отрицательное экологическое воздействие оказывается незначительным ввиду того, что данный тип агротехники применяется на ограниченных площадях: ожидаемый выход древесины превосходит 20 м^3 с гектара в год и, следовательно, 1,5 млн. га площади должны давать вдвое больше древесины, чем 12 млн. га промышленного леса Франции.



НЕЗАУРДНАЯ ОСОБЬ появляется иногда в результате удачной генетической рекомбинации, при скрещивании очень удаленных географических рас или различных, но совместимых видов. Как правило, в природе на 3000-5000 особей появляется одно такое дерево (на фото оно отмечено белой полоской). Оно может послужить основателем искомого клона.

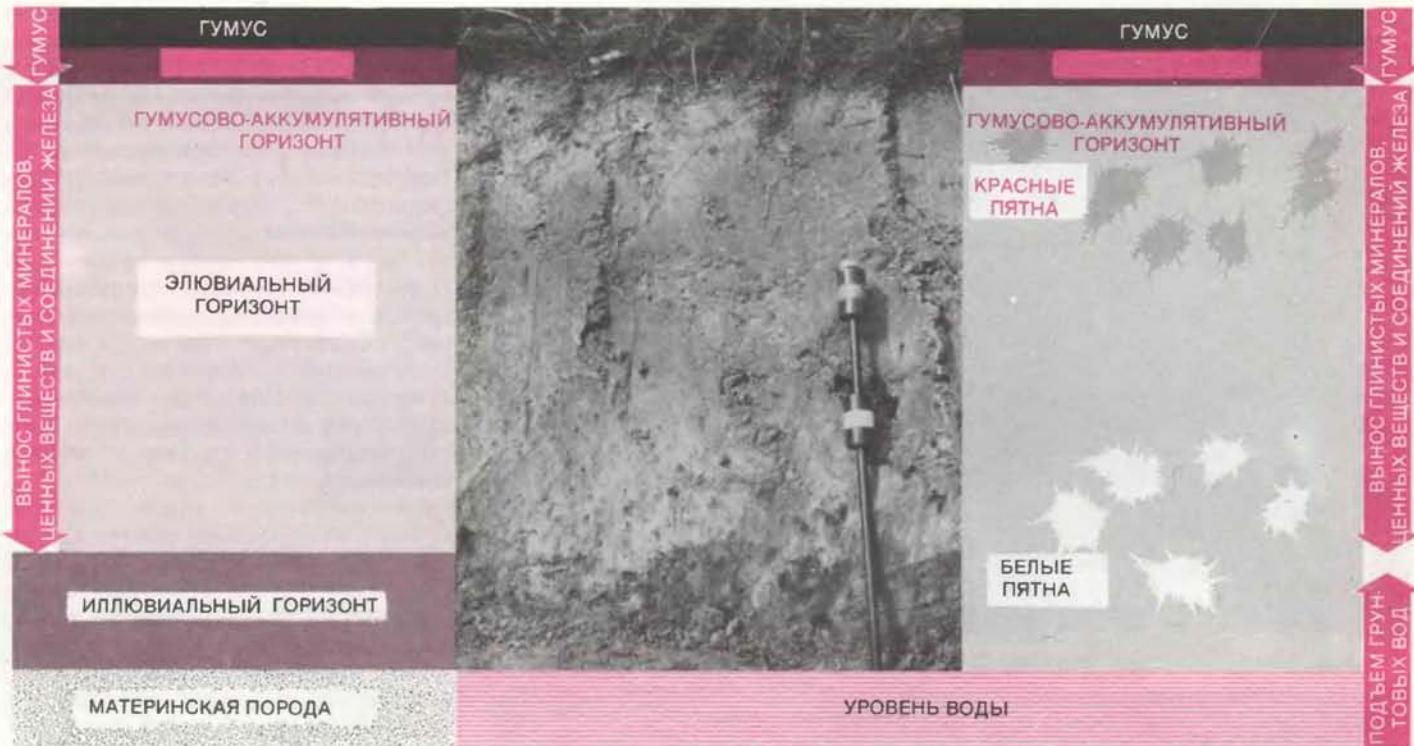
Улучшение древесных пород

Какие деревья следует культивировать? Задача специализированного лесного дрововодства состоит в производстве сырья для определенных отраслей промышленности, поэтому свойства древесины и качество леса должны изменяться в соответствии с промышленными требованиями. Тем не менее, как всякая промышленная культура, лес должен обладать, в частности, высокой естественной продуктивностью. Разные виды имеют различные скорости роста. Продуктивность дубового леса не превышает 3 м^3 с гектара в год, в то время как приморская сосна ландского массива дает в год в среднем 7 м^3 с гектара.

Продуктивность — это не единственный критерий при отборе пород для культивирования; необходимо также, чтобы высокая скорость роста проявлялась с самого начала жизни дерева. Кривая роста дерева имеет всегда форму сигмоиды: в первые годы жизни рост идет медленно, затем ускоряется и достигает максимума. Длительность начального (латентного) периода медленного роста бывает различной; у некоторых деревьев, как, например, у сосны, он длительный (говорят, что они долго «приживаются»); у других, например у эвкалипта, активный рост наблюдается с самого начала. Важна не только высокая продуктивность, но и быстрое созревание, то, что лесоводы называют сокращением срока обрата.

Следующим требованием, предъявляемым к деревьям, является их конкурентоспособность. Продуктивность массива зависит от двух факторов: роста деревьев и плодородия почвы. Для достижения наибольшей продуктивности надо было бы занять всю поверхность отведенного участка. Однако деревьям необходимо определенное жизненное пространство как в воздухе, так и, что часто забывают, в почве, причем эти потребности изменяются с возрастом. Искусство лесовода заключается в том, чтобы в каждый период развития дерева дать ему пространство, достаточное для его нормального роста. В то же время лесовод должен ограничивать это пространство, чтобы наиболее эффективно использовать плодородные почвы. С помощью многочисленных вырубок деревья прореживают, оставляя самые крепкие и лучше других сформированные.

Правда, такие мероприятия дороги и продукция получается неоднородной. Этот метод неприменим в лесном дрововодстве, которое предполагает выборочную вырубку, например для производства древесной массы, до окончательной вырубки. Таким образом, плантация должна быть с самого нача-



ГОРИЗОНТЫ — это слои почвы, которые образуются в результате изменений, обусловленных в основном движением вод; химический состав и внешний вид почвы в пределах горизонта однородны. В выщелоченной почве (слева) за гумусово-аккумулятивным горизонтом следует элювиальный, из которого мелкие частицы и минеральные соли частично вымыты, а за ним иллювиальный, под которым находится

материнская порода. Псевдоглеевая почва (справа) — результат двойного движения вод: с одной стороны, происходит иллювиация, с другой стороны, в результате подъема грунтовых вод происходит элювиация. Эти явления приводят к возникновению химически частично обедненного и очень плотного горизонта.

ла спланирована с учетом конечного результата, хотя это и влечет за собой потери в продуктивности в первые годы. Для уменьшения этих потерь выбираются наиболее конкурентоспособные виды и растения.

Выбор видов

Улучшение должно проводиться на четырех уровнях: вида, географической расы, семейства и, наконец, отдельной особи. В каждом данном месте число видов значительно изменилось за геологический период. В теплом и влажном климате флора стала разнообразной и возникло много видов. Во время экологических катаклизмов, таких, как оледенения в конце третичного и начале четвертичного периодов, часть видов на территории нынешней Франции была уничтожена; в то же время примерно на тех же широтах в других частях земного шара, в меньшей степени затронутых ледниками, флора сохранилась лучше. Современный климат Франции позволил бы хорошо расти многим видам из числа исчезнувших в ледниковый период, если бы их можно было интродукционировать вновь. Некоторые из них более способны к росту и более продуктивны, чем наши самые мощные местные виды.

Прежде чем пытаться улучшить

местные растения, возникшие в результате естественного отбора в более жестких, чем в настоящее время, экологических условиях, мы пытаемся интродукционировать виды, существующие в тех регионах, которые в климатическом отношении сопоставимы с местами интродукции в нашей стране. Таким образом, при отборе видов учитываются их мощность, продуктивность, а также технические качества древесины и ее способность удовлетворять специфическим потребностям отдельных отраслей промышленности. Очень часто интродукция означает возвращение растения на родину: секвойя, например, не является для Франции экзотическим растением, так как она росла в Нормандии и на юго-западе страны несколько десятков тысяч лет назад.

Выбор географической расы

Естественный ареал вида занимает иногда зоны с весьма различными климатом и почвами. В процессе адаптации к конкретным условиям складываются географические расы. При выборе вида нужно учитывать его географическое происхождение с тем, чтобы разведение его в новых условиях было наиболее результативным.

Ареалы некоторых видов очень раздроблены и состоят из довольно удаленных друг от друга «пятен», в пределах которых деревья в той или иной степени родственны друг другу. Для этих видов приспособляемость потомства у любой расы заведомо слаба. Ареалы других видов обширны и непрерывны. Некоторые свойства этих видов изменяются в зависимости от широты и высоты места. Такие изменения называются клинальными. Среди видов, имеющих клинальные изменения, нетрудно найти географическую расу, хорошо приспособленную к климату зоны интродукции.

В обоих случаях единственный способ отбора — эксперимент. В случае видов с пятнистым ареалом вследствие изоляции действовали различные механизмы отбора, но давление отбора не обязательно было сильным; так что вид по крайней мере в части ареала сохранил широкие возможности к адаптации. Зато в непрерывных ареалах видов с клинальными изменениями почти всегда можно найти популяцию, обитающую в экологической обстановке, аналогичной условиям в районе предполагаемой интродукции.

Таким образом, прежде чем приступить к интродукции, надо сделать довольно полный анализ образцов географических рас вида, провести испытания во всей зоне, где предполагают



осуществить его насаждение. Так была установлена закономерная зависимость мощности вида от его географического происхождения. Например, у ели *Picea sitchensis* в Бретани чем южнее произрастает разновидность, тем большей мощностью отличаются посадки; у сосны *Pinus radiata* в Стране Басков наблюдается обратная зависимость. В других случаях, например у сосны обыкновенной *Pinus sylvestris*, признаки различных географических рас и их адаптация к среде не подчиняются никаким законам. Они отражают случайные факторы процесса миграции в результате последовательных фаз расширения и сужения естественного ареала.

Выбор семейства

Внутри одной географической расы, занимающей несколько тысяч гектаров в зоне естественного произрастания, выделяются популяции, которые состоят в свою очередь из субпопуляций, образованных несколькими семьями (от 10 до 100), обычно находящимися в родстве вследствие долголетия производителей (от 100 до 1000 лет) и обилия семенного материала, распространяющегося вокруг них. Такое родство, более или менее выраженное в зависимости от способа распространения мужских половых клеток (пыльцы), свойственно лесным деревьям.

В целях селекции в субпопуляциях данной расы отбираются особи с наиболее ярко выраженными признаками этих субпопуляций. На семенных участках делаются прививки материала, взятого с деревьев, и таким образом получают начальную популяцию, называемую F_0 . Перекрестное опыление — естественное или искусственное — позволяет получить в популяции F_0 гетерозиготное сочетание генов, в результате чего достигается первое генетическое преимущество (это явление называется аддитивностью): гибриды обычно более устойчивы, чем гомозиготы.

АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ лесного древоводства часто заимствуются из практики земледелия. Для успешного роста деревьев корневая система должна развиваться пропорционально росту ствола. Корневая система дерева занимает большой объем и пронизывает несколько почвенных горизонтов. Подготовленная почва не должна содержать непроходимых для корней горизонтов. Глубокая вспашка (вверху) применяется для смешивания горизонтов, задержания воды и уменьшения плотности почвы. Участок обрабатывается гербицидами и удобряется. Вслед за механизированной посадкой деревьев (в середине) производится обработка насаждений (внизу) для уничтожения сорняков. Деревья, посаженные с необходимой плотностью, растут до момента вырубки в течение 20-25 лет.

готные особи. С участка F_0 удаляются особи со слабой способностью к рекомбинации; при этом производители (F_0) оцениваются по свойствам их потомства в первом поколении (F_1). Путем селекции экземпляров F_1 , привитых на втором участке, получают дочернюю популяцию (F_2), усовершенствованную в результате двух первых этапов отбора.

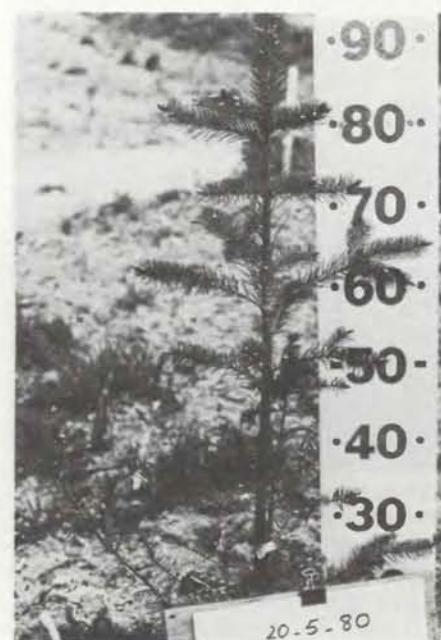
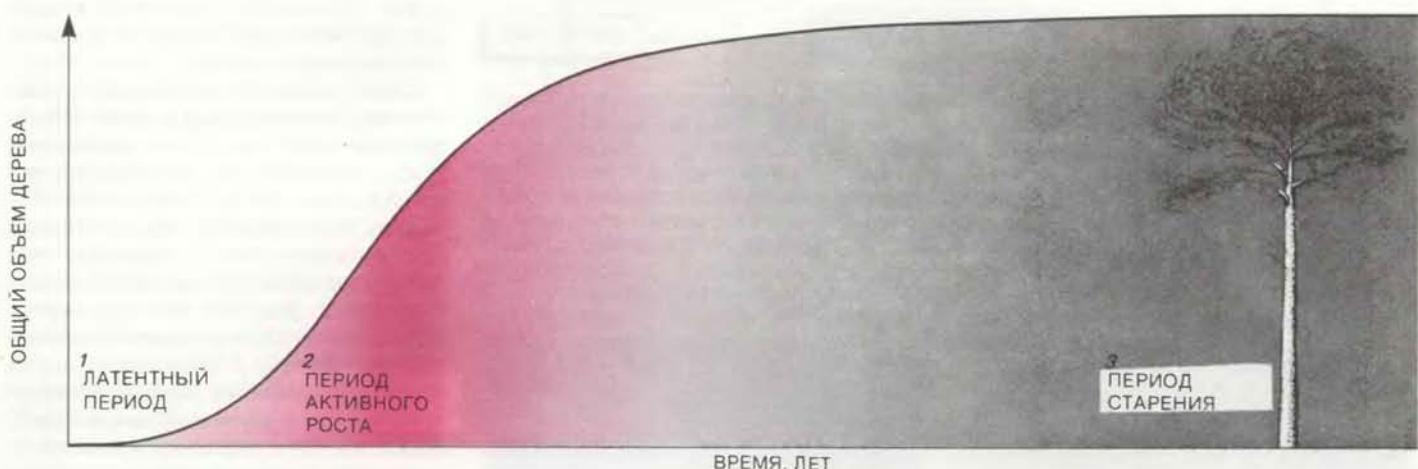
Подобную селекцию можно продолжать на нескольких поколениях, однако она имеет ряд недостатков. Во-первых, ввиду того что отбор проводится в полевых условиях, с течением времени неизбежно возникает состояние родства даже тогда, когда популяция F_0 достигает нескольких сотен особей. Во-вторых, в силу тех же причин невозможно воспользоваться преимуществами специфических благоприятных комбинаций между двумя отдельными родительскими формами. В-третьих,

один признак часто зависит от нескольких генов, поэтому при селекции генов со слабой наследуемостью аддитивность постепенно уменьшается. В-четвертых, некоторые благоприятные признаки скрещены с неблагоприятными, вследствие чего нередко приходится довольствоваться компромиссом. И наконец, по истечении нескольких десятилетий сказываются последствия начального выбора. Селекция занимает длительный срок хотя бы потому, что цветение деревьев часто наступает довольно поздно: эвкалипт зацветает на третьем году жизни, на приморской сосне стробилы появляются только к шести годам, а на ели — только к двадцати. Правда, химическим путем можно ускорить сроки цветения, но эта операция осуществима лишь на небольшом количестве деревьев.

Были попытки устраниТЬ некоторые недостатки и ускорить процесс селек-

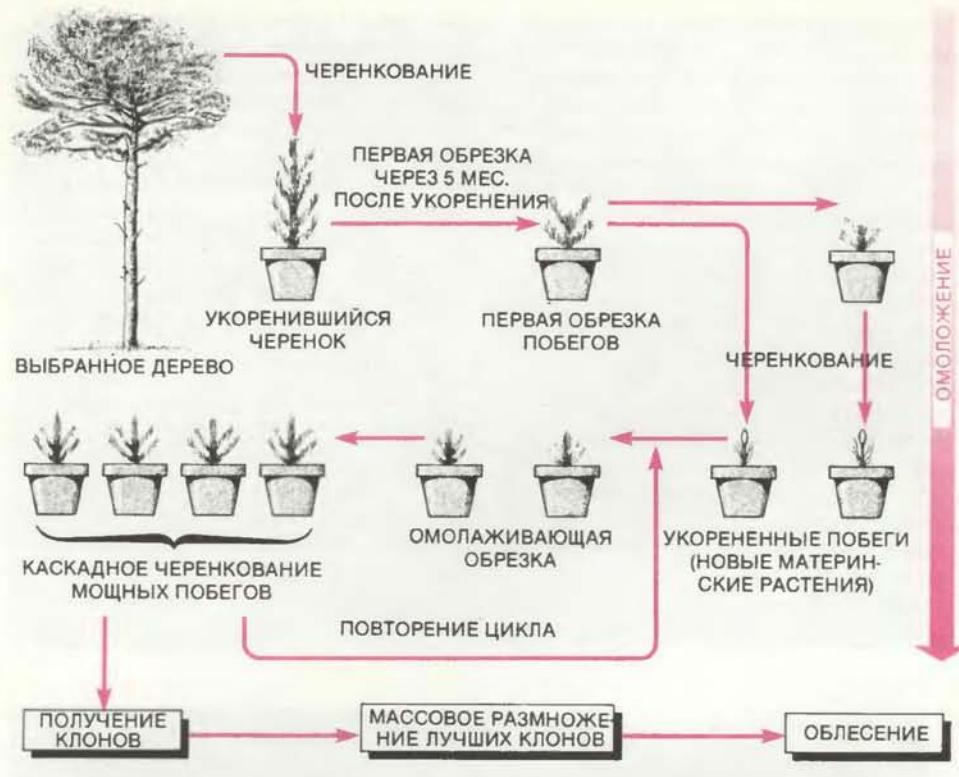
ции. Вместо отбора и прививки особей можно, например, создать участок одной семьи, состоящий из всего потомства особей F_0 или его большей части. Внутри участка производится индивидуальная селекция по нескольким признакам с учетом свойств семьи и наследуемости каждого признака; при этом оптимизируют аддитивность двух или нескольких признаков, находящихся в неблагоприятной корреляции на уровне популяции. Такие работы были проведены с сосной приморской *Pinus pinaster*.

В естественных популяциях встречаются незаурядные экземпляры, возникшие в результате случайных удачных генетических рекомбинаций. Иногда в практике контролируемого скрещивания получаются чрезвычайно удачные подборы пар, демонстрирующие удивительные и неожиданные свойства генетической рекомбинации.



КРИВАЯ РОСТА ДЕРЕВА (вверху) имеет вид сигмоиды: вначале (латентный период) скорость роста очень мала (1), затем следуют фаза активного роста, соответствующая зрелости (2), и вторая фаза медленного роста, соответствующая

периоду старения дерева (3). У разных видов скорости роста различны. Внизу: эвкалипт *Eucalyptus gunnii* (слева), пихта *Abies pectinata* (в середине) и дугласия *Pseudotsuga menziesii* (справа), возраст всех трех экземпляров 4 года.



ВЕГЕТАТИВНОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ черенками позволяет размножать незаурядные особи, полученные в результате удачной генетической рекомбинации. Черенкование всегда требует «омоложения» материнского растения. Для этого прибегают к химической обработке и обрезке. Используются прикорневые побеги, например пневматическая поросль: развитие корневой системы материнского растения стимулируют выращиванием на подогретых аэрированных субстратах. Например, с отобранными особями сосны приморской берутся черенки и укореняются. Через 4-5 месяцев проводят первую осеннюю обрезку, что стимулирует появление побегов. Их срезают и сажают: они станут новыми материнскими растениями. Затем с помощью омолаживающих обрезок и каскадного черенкования получают крепкие молодые саженцы, среди которых отбирают особи, дающие лучшие клоны, и, наконец, переходят к их массовому размножению.

Селекция на уровне отдельных особей

Появление незаурядных экземпляров происходит гораздо чаще при гибридизации генетически далеких особей при скрещивании растений, имеющих разное географическое происхождение (но принадлежащих к одному виду), или при межвидовом скрещивании (когда оно возможно или когда его можно сделать таковым). Здесь речь идет о гетерозисе, явлении еще недостаточно понятном, связанном с гетерозиготностью.

Явление гетерозиса было успешно использовано при разведении ив и тополей. Ивовые, тополя и ивы, являются двудомными растениями (мужские и женские цветки располагаются на разных растениях), и у них часто наблюдается естественная гибридизация. Начиная с античных времен в естественных популяциях ив и тополей вели отбор на продуктивность и другие признаки. Традиционные для Франции клони тополей «Блан дю Пуату», «Тардиф де Шампань» и «Робюста», выведенные в XIX в., а также итальянский тополь и «Серотина», выведенные в XVII в., появились в результате такого отбора. В

течение последних тридцати лет проводилась искусственная систематическая гибридизация тополей различных видов и географических рас. Показатели современных клонов вдвое превосходят показатели использованных родительских форм, так что, если раньше тополя срубали в возрасте 25-30 лет, в настоящее время они вырубаются в возрасте 15-18 лет.

Однако для практического применения индивидуальной селекции надо иметь возможность размножать выдающиеся особи. Перспективным может оказаться вегетативное размножение, в частности черенкование. Некоторые деревья легко поддаются черенкованию; что касается пород, разводимых для получения древесины, они иногда черенкуются с трудом. Членкование лучше проводить, пока возраст растения не превышает нескольких месяцев. Позже образование корней происходит медленнее и труднее, ведь черенок сохраняет те темпы роста, которые были у него на материнском растении.

Чтобы из черенка регенерировало нормально растущее дерево, надо привести выбранное растение в физиологическое состояние, допускающее членкование, т.е. омолодить его. Это

вполне возможно — ведь растительная клетка сохраняет «totipotentialность», т.е. способна дедифференцироваться и снова дифференцироваться в другом направлении. В растении клетки постоянно находятся под влиянием веществ двух типов: специализирующихся (ауксины и гиббереллины), вырабатываемых наземной частью растения, и деспециализирующихся (типа цитокинина), продуцируемых корневой системой.

Задача состоит в том, чтобы с помощью различных воздействий изменить соотношение ауксинов и цитокининов в тканях на обратное. Для этого предпочитают использовать части растения, близкие к корням, — такие, как пневматическая поросль, которая моложе верхних частей растения. С помощью питательных субстратов, аэрированных, нагретых до нужной температуры, удобренных и увлажненных, в срезанных частях стимулируют развитие корней. После того как они укореняются, начинают делать частые и низкие подрезки. И, конечно, применяют все возможные меры, обеспечивающие здоровье состояния растений.

Современная методика омоложения, одновременно изящная и эффективная, предполагает предельно возможное уменьшение черенка и его выращивание в стерильных условиях на искусственной желеобразной среде, которая служит опорой. В эту среду вносят минеральные вещества, витамины, сахара, а также гормоны для регулирования развития. Самый современный метод заключается в культивировании *in vitro* меристемы — недифференцированной верхушечной или камбальной ткани, клетки которой сохранили свою totipotentialность (камбий — это пролиферирующий слой клеток, благодаря которому стебель растет в толщину). Этот метод только начинает разрабатываться. Он был испытан на дугласии *Pseudotsuga menziesii* и на секвойе *Sequoia sempervirens* в лаборатории Ассоциации лес—целлюлоза. Наконец, некоторые лаборатории используют культуру протопластов (клеток, лишенных внешней оболочки) для определенных пород, в частности для сосны приморской (исследования в Университете Бордо). Цель этого метода — получить дерево из одной клетки и осуществить (на клеточном уровне) межвидовую гибридизацию путем слияния протопластов в тех случаях, когда ее невозможно реализовать обычным способом.

Однако культура *in vitro* возможна только при омоложении. Микрочеренок, достигший нескольких сантиметров в длину, извлекают, разрезают и каждую часть сажают отдельно для получения растения; эта операция повторяется многократно. Интервал между пикировками — примерно три недели, за это время число клеток увеличивается вчетверо. Такая методика

позволяет быстро получить множество копий данного дерева.

Не все клоны можно размножать так быстро. Некоторые очень старые клоны плохо поддаются реактивации: почки, из которых они выросли, были за-программированы на рост «старческого типа». У определенных пород это состояние настолько стабильно, что размножение черенками трудно осуществимо. Для одновременного использования аддитивности и преимуществ выдающихся особей можно либо создавать биклоновые семенные участки с двумя родительскими формами, проявляющими высокую способность к рекомбинации (и не дающими семян при самоопылении), либо проводить контролируемые скрещивания между этими двумя формами и как можно чаще применять на молодых посадках в ювенильной стадии технику садового размножения.

При индивидуальном отборе получают гораздо больше интересных особей, чем при групповом; кроме того, этот метод гораздо эффективнее, так как позволяет удвоить объем древесины данного возраста на данной площади. Он успешно применяется при размножении елей и еще более успешно при размножении эвкалиптов.

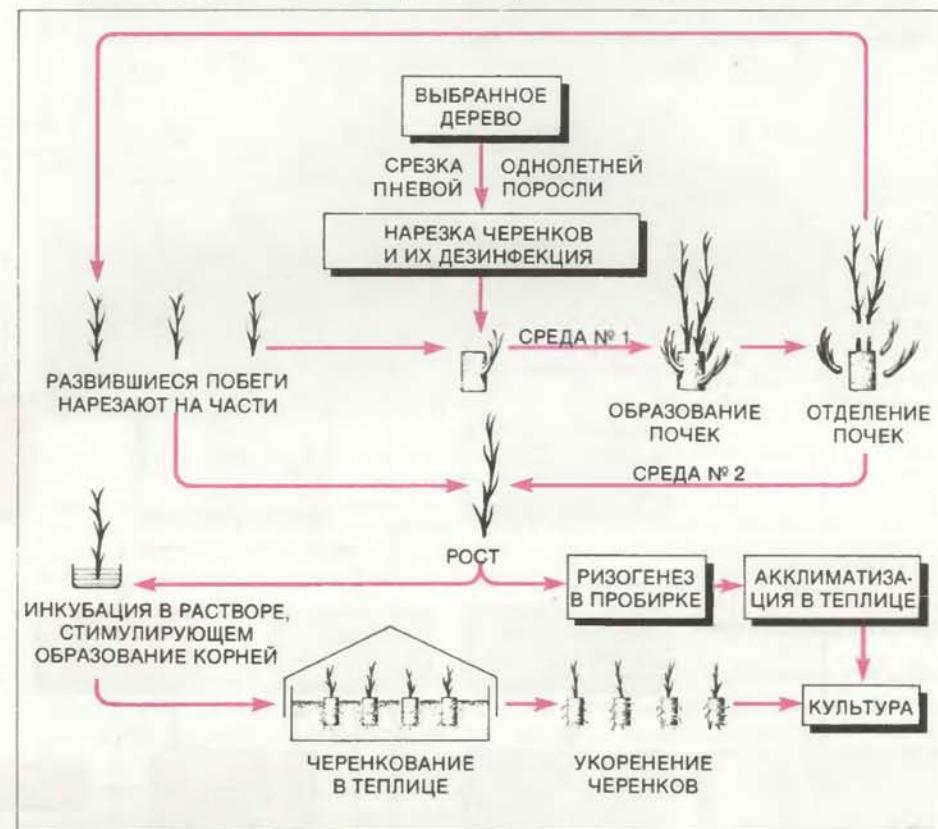
Важное преимущество вегетативного размножения состоит в возможности сохранения редких комбинаций признаков, что неосуществимо при полевом размножении. В частности, можно объединять признаки, находящиеся между собой в обратной корреляции: например, высокую продуктивность с устойчивостью к болезням, поздним распусканием почек, холодоустойчивостью и другими свойствами, определяющими неприхотливость растения. Создание эвкалиптов для умеренно холодного климата — удачный пример селекции такого типа. Так, обнаружив среди *Eucalyptus gunnii* несколько редких особей, устойчивых к сильным холодам, исследователи пытались сочетать эти адаптивные признаки с признаками *Eucalyptus dalrympleana*. Из полученных полугибридов взяли несколько особенно продуктивных особей, которые были размножены вегетативно. Эти клоны оказываются лучше приспособленными, чем исходные расы. Существуют и другие подобные гибриды, например *Pinus radiata* и *Pinus attenuata*. У сосны приморской добились сочетания прямостоятельности корсиканской расы с высокой продуктивностью ландской расы.

Путь от изысканий в области селекции до их практического применения в промышленном разведении леса очень долгий. Примером тому может служить уже упомянутое разведение тополей. На получение удовлетворяющего коммерческим требованиям клона даже при успешной гибридизации требуется

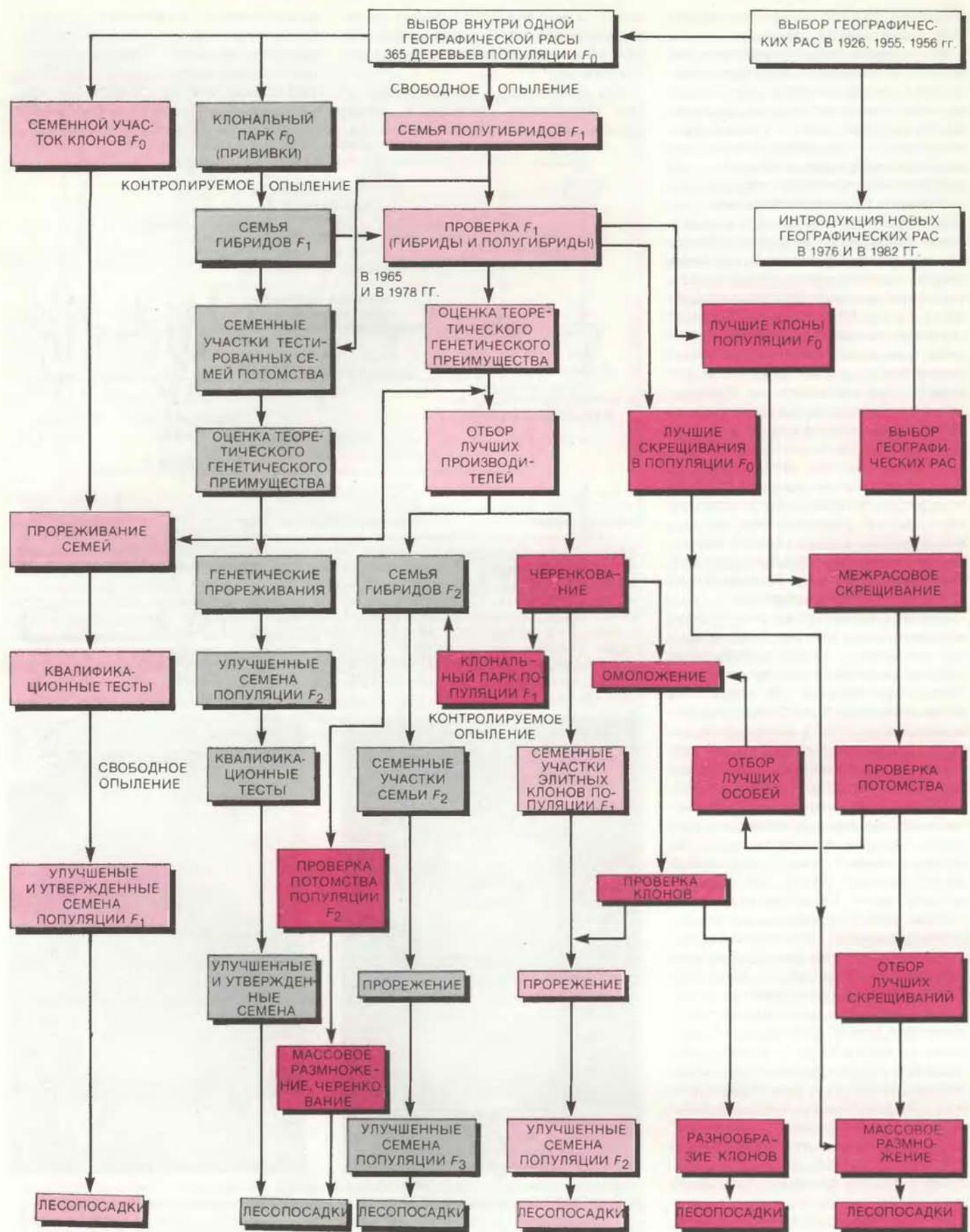
около 12 лет, еще 15 лет уходит на создание плантаций. Опишем, каким этапам этого процесса соответствуют наши работы.

Мы приступили к производству семян генетически улучшенной сосны приморской и улучшенных клонов, вы-

водим клонами елей и холодоустойчивых эвкалиптов, деревьев, которые уже появляются на рынке. Микрочеренкование в лабораторных условиях полностью освоено для таких пород, как эвкалипт, секвойя и сосна. Техника микрочеренкования дугласии и ели обыкно-



КУЛЬТИВИРОВАНИЕ IN VITRO позволяет быстро размножать некоторые деревья. Так был получен и размножен эвкалипт. От выбранного растения взяли черенки длиной 10-20 мм однолетней пневой поросли. Их дезинфицировали и поместили в стерильную питательную среду, где они активно образовывали почки, которые срезались и подращивались для получения либо укорененных растений (в случае эвкалипта), либо отростков, которые после выдерживания в ризогенном растворе и черенкования в теплице дают укороченные растения — саженцы, готовые к высадке (этот метод используется при размножении *Sequoia sempervirens*, легко укореняющейся *in vivo*.) На фото внизу изображены два этапа этого процесса: образование почек и выращивание культуры в теплице под пластиковым укрытием.



ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ сосны приморской, начатого в 1960 г., было использовано несколько методик. Классический отбор проводится двумя способами. Обычный путь — уничтожение недостаточно хороших особей на семенных участках элитной популяции (розовые прямоугольники). Другой способ — скрещивание элитных особей на семенных участках семьи (серые прямоугольники). Однако этот метод длите-

лен, и результаты выбора, сделанного в самом начале, скаживаются десятилетия спустя. В настоящее время все больше и больше используется индивидуальный отбор (красные прямоугольники). При этом вегетативным способом размножаются лучшие особи, полученные на всех стадиях генетического улучшения. Индивидуальный отбор основан на методах размножения *in vitro* и на омолаживании деревьев.

венной нуждается в доработке. Уже получена культура меристем секвойи и достигнуты некоторые успехи в этой области с дугласией, однако метод протопластов находится еще на стадии лабораторных исследований. Слияние клеток осуществлено пока только у недревесных растений, например у *Nicotiana*.

В настоящее время можно получать саженцы клонов сосны приморской, ели обыкновенной, секвойи и эвкалипта. Скоро будут созданы клоны других пород сосны, орешника и дуба. Затем мы приступим к созданию клонов дугласии. Эти растения будут получены путем черенкования в питомниках.

Производство саженцев

Опытные лесоводы утверждают, что основное условие успешного облесения заключается в использовании качественных саженцев. Что такое качественный саженец? Традиционно считается, что саженец должен быть хорошо сформирован, несколько приземист и обладать хорошо развитой корневой системой. В питомнике саженцы такого типа получают на третий или четвертый год выращивания. Очевидно, что по экономическим соображениям требуется сократить этот срок до нескольких месяцев. Саженец должен быть, кроме того, одревесневшим, не нитевидным, здоровым и без изъянов. Он не должен иметь следов термического и водного поражения.

Качество корневой системы играет важную роль, так как корни очень хрупки и корневые волоски быстро гибнут под воздействием воздуха и солнечных лучей. Эти обстоятельства создают неудобства при посадке саженцев традиционным путем, т.е. с обнаженными корнями, так как часть корневой мочки разрушается при выкапывании, а другая часть неизбежно пересыхает при транспортировке.

В настоящее время практикуют посадку саженцев с комком земли, но контейнеры (горшочки из глины, бумаги или пластика), которые при этом используются, часто деформируют корни. Если растущий корень встречает препятствие, то он отклоняется от первоначального направления роста и принимает форму спирали. Вместо того чтобы расстегаться, корни необратимо переплетаются, и на деформированных таким образом корнях новые корневые волоски не образуются даже после удаления контейнера. Когда переплетенные корни вырастают, на них возникают «ушемления»; деревья с деформированной корневой системой плохо растут, слабо впитывают воду из почвы и поэтому страдают от засухи, а также неустойчивы к ветру. Проблема решается благодаря использованию горшочков с проницаемыми стен-



ЛЕСОСЕКИ С КОРОТКИМ СРОКОМ ОБОРОТА, предназначенные для производства биомассы, получили распространение во всем мире. Чаще всего в таких лесосеках разводят тополя. Во Франции 2000 га этой культуры дают древесную массу для производства бумаги и древесных плит. Выход сухой древесины составляет 12-15 т с гектара в год. Лесосеки с коротким сроком оборота приносят чистый доход, приблизительно равный доходу, получаемому от однолетней культуры.

ками: часть корней, вышедшая за пределы горшочка, отмирает на воздухе, но внутри образуются корневые волоски.

Корневая система окружена богатой микрофлорой, включающей грибы, микоризу и многочисленные бактерии. Микоризу образуют грибы-симбионты, которые живут либо снаружи, формируя «муфточки» вокруг корневых волосков, либо внутри тканей корня. Грибы поставляют растению различные вещества и в некоторых случаях совершенно необходимы для его выживания. Микрофлора часто видоспецифична, однако некоторые грибы могут сосуществовать с различными видами. Бактерии ризосферы также специфичны и тоже принимают участие в питании дерева, например снабжают его азотом; для того чтобы рост таких бактерий не был подавлен предшествующей микрофлорой, прикорневые комки предварительно стерилизуют, а затем вводят в них нужные грибы и бактерии. Введение микрофлоры, в частности микоризации, имеет ряд трудностей, которые в настоящее время преодолеваются.

После посадки рост и физиологическое равновесие саженцев зависят от сбалансированности питания и постоянства гидротермических условий. До недавнего времени питание деревьев осуществлялось с помощью питательных растворов, но из-за технических трудностей в настоящее время предпочтитают примешивать к субстрату специальные удобрения замедленного действия, выбранные в соответствии с

влажностью и температурой. Удобрений замедленного действия выпускают все больше, но надо еще много сделать для того, чтобы они отвечали реальным потребностям деревьев.

Гидротермический контроль необходим для того, чтобы избежать температурных и водных поражений. Для ускорения роста саженцы выращиваются в парниках при температуре до 35 °C дозированным поливом или на водяной подушке; в этом случае комки земли с саженцами располагают на фильтре из минерального волокна. За месяц до окончания цикла саженцы выносят из парников и закаляют на воздухе при обильном поливе. Это необходимо потому, что парниковая атмосфера замедляет одревеснение, и травоядный саженец, не прошедший промежуточную стадию закаливания, быстро пересыхает в обычных условиях.

Посадка молодых деревьев

Для роста деревьев необходимо, чтобы их корни развивались в соответствии с ростом ствола. Корневая система дерева занимает довольно значительный объем и пронизывает несколько почвенных горизонтов. Следовательно, почва должна быть влажной, теплой и не содержать горизонтов, непроницаемых для корней (алиосов) или же гидроморфных (глей и псевлоглей).

Для улучшения условий произрастания саженцев посадка предваряется ра-

ботами по мелиорации и обработке почвы. Открытый дренаж должен обеспечивать сток излишка воды и уменьшать гидроморфность почвы, не вызывая ее пересыхания. Нарушение водонепроницаемого слоя не должно приводить к появлению на поверхности вредных для растения веществ. Предварительное внесение фосфатных удобрений способствует последующему активному росту корневой системы, а внесение азотных удобрений непосредственно под растение обеспечивает его питательными веществами в первые месяцы жизни.

Развитие саженцев часто угнетается сорняками, которые захватывают верхние наиболее рыхлые горизонты почвы, препятствуют росту корней и поглощают часть воды, необходимой для деревьев. До начала жаркого периода для уничтожения сорняков участки можно обработать гербицидами (погавляющими всхожесть). Однако это может привести к нежелательным последствиям, если новая флора окажется более вредной, чем уничтоженная. Поэтому предпочтение отдается специфической избирательной обработке, соответствующей особенностям флоры на конкретных участках. Однако надежных рецептов здесь пока еще нет.

Пути развития специализированного лесного древоводства

Специализированное лесное древоводство существует уже давно. Например, разведение тополей нелесного типа позволяет производить высококачественную фанерную древесину за 15-20 лет. Лесосеки с коротким сроком оборота, предназначенные для производства древесной массы, используемой в целлюлозно-бумажной промышленности, для изготовления древесных плит, а также для химической промышленности и энергетики, дают пример современного лесного древоводства. По своим агротехническим приемам, периодичности и объему урожая этот способ лесного древоводства имеет сходство с сельскохозяйственным производством. Лесосеки с коротким сроком оборота, дающие в год 12-15 т сухой древесины, приносят чистый доход, приблизительно равный доходу от однолетней культуры. Речь идет о производстве биомассы, которое развивается в настоящее время во всем мире. Во Франции под такими посадками занято около 2000 га земель.

При создании лесосек с коротким сроком оборота используют все приемы, о которых говорилось выше: поиск и получение исключительных особей из адаптированных географических рас новых культур, современную агротехнику, механизацию всего процесса. Вся по-

лучаемая продукция одной древесной породы состоит из древесины одинакового качества со стволами деревьев одинакового объема — 100-150 дм³.

Оригинальность лесного древоводства, новой отрасли лесоводства, имеющего многовековую предисторию, заключается в применении упорядоченного и механизированного про-

цесса, начинающегося с создания культуры в лаборатории и включающего выращивание саженцев в автоматически контролируемых условиях. Небезынтересно отметить, что эта схема, основанная по сути на агрономических методах, начинает использоваться и для некоторых сельскохозяйственных культур, например свеклы.

Наука и общество

НАСА — за, ученые — против

КАК сообщает сотрудник Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства Дж. Ходж, ответственный за планирование работ, предусмотренных проектом создания пилотируемой космической станции, НАСА «получило от администрации 8 млрд. долл. на осуществление некоторого проекта в период до 1992 г.»

Под этим «некоторым проектом», по всей вероятности, и понимается создание пилотируемой космической станции. Но пока остается не ясным, какого типа будет эта станция и для чего она будет предназначена. Многие американские ученые критически настроены в отношении проекта и уверяют, что НАСА и государственная администрация решили, что им нужна космическая станция, и определили затраты на ее создание, не договорившись о том, каким целям она будет служить. По словам этих ученых, проект создания космической станции разработан скорее под давлением правительства, а не потому, что это диктуется жизненной необходимостью.

Несмотря на отсутствие полной определенности, сама идея строительства пилотируемой космической станции пользуется широкой популярностью. Президент Рейган в одном из своих «обращений» в 1984 г. весьма восторженно отзывался об этой станции. Космическая станция, о которой идет речь, и ее «партнер» по программе создания пилотируемых аппаратов «Спейс шаттл» всячески рекламировались в выступлении президента во время инструктивного совещания с представителями прессы по поводу будущих исследований космического пространства. На этом совещании выступал не только президент, но и директор проекта создания упомянутой космической станции Ф. Калбертсон. Среди приглашенных были ответственные работники таких крупнейших издательств, как «Лос-Анджелес таймс», «Нью-Йорк таймс», «Вашингтон пост», «Нейчер», «Ньюсик», «Сайнс», «Сайентифик Америкн», «Тайм» и трех основных телекомпаний.

Администрация также приняла меры к расширению промышленной базы для реализации намеченной программы. Корпорации получили заказы на разработку технологии производства полупроводников, лекарственных препаратов и других товаров, рассчитанных на применение в уникальных условиях космической станции.

К созданию новой космической станции НАСА старалось привлечь и научные круги. Чтобы приглушить широко распространенный скептицизм по поводу проекта, оно назначило комиссию ученых во главе с П. Бэнксом, профессором электромеханики Станфордского университета, в задачу которой входило обоснование назначения и возможных путей использования космической станции; прошлым летом комиссия заседала в Станфорде в течение недели.

Комиссия сделала предварительное заключение, что на борту пилотируемой космической станции, безусловно, могут быть осуществлены полезные эксперименты. Отмечалась также вероятность использования станции в будущем в качестве цеха сборки планетарных зондов. В то же время некоторые члены комиссии высказали мнение, что большинство экспериментов, особенно физических и астрономических, может быть выполнено не хуже на непилотируемой орбитальной станции. Действительно, из-за вибрации и высокой температуры наиболее «тонкие» эксперименты и наблюдения придется проводить не на самой станции, а на сопровождающих ее автономных орбитальных платформах.

Противников проекта охватывает все большая тревога. Эхом полемики, развернувшейся в связи с программой создания «Шатлов», звучат высказывания многих ученых о том, что сооружение космической станции отвлечет средства и внимание от весьма результативной, хотя и менее «помпезной» программы запуска непилотируемых аппаратов. Они считают, что программа создания пилотируемых аппаратов пользуется солидной поддержкой со стороны конгрессменов, государственных чиновников и промышленников и их мнение представляет непреодоли-

мую силу в решении вопросов финансирования. Критики проекта полагают также, что создание космической станции было задумано с целью оправдать разработку космического корабля «Спейс шаттл», который оказался неэкономичным в качестве аппарата для запуска спутников; по планам же НАСА, «Спейс шаттл» будет доставлять людей и грузы на космическую станцию и обратно.

Ответственные работники НАСА утверждают, что решение о создании космической станции не будет препятствовать осуществлению программы запуска непилотируемых аппаратов. Они подчеркивают, что начиная с середины 60-х годов финансирование космических исследований составляет постоянную долю бюджета НАСА. Это означает, говорят они, что любое увеличение бюджета НАСА влечет за собой соответствующее увеличение средств, выделяемых на космические исследования.

Дж. Вэн Аллен из Университета шт. Айова выступает против дорогостоящих программ изучения космического пространства. Вэн Аллен — известный ученый в области исследования атмосферы на больших высотах с помощью ракет, спутников и космических зондов. Ему принадлежит открытие поясов, названных его именем. Ученый отмечает, что другие, менее «заметные» научные учреждения, например Геологическое управление США, сумели провести весьма удачные научные работы в космосе. Вэн Аллен также не согласен с утверждением НАСА о том, что затраты на разработку непилотируемых аппаратов росли пропорционально увеличению расходов на создание пилотируемых аппаратов. Он и другие ученые указывают, что в результате превышения запланированных расходов на создание «Спейс шаттл» в конце 70-х годов финансирование некоторых программ было значительно сокращено. Вэн Аллен напоминает также о том, что еще в 1981 г. федеральное правительство предложило существенно сократить программу исследования Солнечной системы.

Другие критически настроенные ученые, например Т. Голд из Корнеллского университета, говорят, что неблагоприятное воздействие разработки и запуска «Спейс шаттл» на космические исследования проявилось в отмене предполагавшегося полета к комете Галлея в 1986 г. Голд утверждает, что с середины 70-х годов, когда в программу по созданию «Спейс шаттл» были вложены основные финансовые средства, другие научные программы, которые были бы естественным продолжением более ранних работ, просто не начались. Эти программы включали в себя создание нового спутника Луны и второго космического аппарата для по-

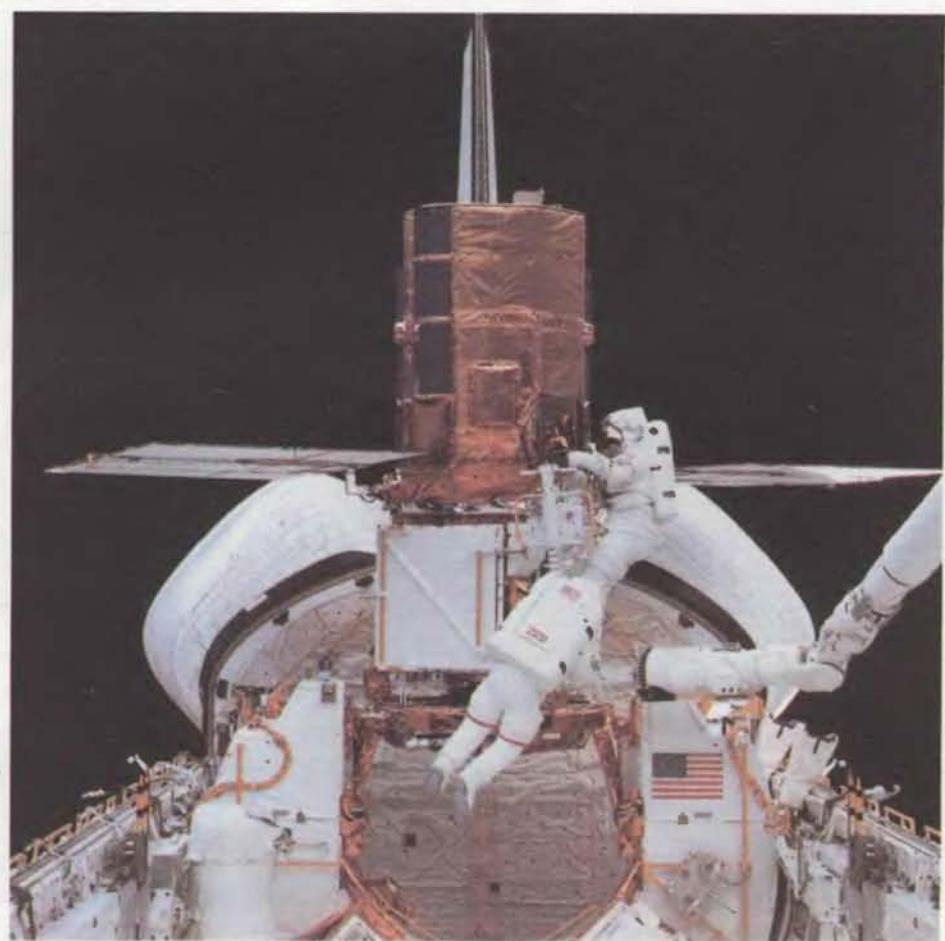
садки на Марс. Если космическая станция будет построена, тенденция замораживания новых проектов продолжится и в будущем. Такие проекты, как создание орбитального телескопа, по-видимому, не будут заморожены, что же касается проекта запуска зонда «Галилео» к Юпитеру и программы исследования Венеры, то их реализация в связи с созданием космической станции сомнительна.

Другой ученый Корнеллского университета Дж. Веверка считает, что основная опасность заключается не столько в том, что не осуществляются научные программы, которые позволят получить новую информацию, сколько в том, что сократится финансирование работ, связанных с анализом уже полученных данных. Он считает, что сокращение бюджета, вызванное превышением расходов на разработку и запуск «Спейс шаттл», послужило причиной задержки анализа результатов исследований потока заряженных частиц в атмосфере Юпитера, полученных с помощью аппаратов «Пионер-10» и «Пионер-11». Из-за этой задержки в основу конструкции зонда «Галилео» были заложены неверные модели. Когда информация наконец появилась, зонд пришлось частично переделать. Дж. Веверка добавляет, что не менее

четверти снимков с орбитального модуля «Викинг» так и не было подробно проанализировано.

Опасения, что создание космической станции вызовет сокращение других программ, не лишены оснований. Восьми миллиардов долларов, о которых говорил Ходж, не хватит на полную комплектацию станции. Эта предварительная сумма отпущена лишь на постройку основного модуля и отсеков для космонавтов, вокруг которых будут формироваться остальные узлы станции. Фактически указанная сумма не включает даже расходы, связанные с доставкой узлов космической станции на орбиту; эти работы будут произведены за счет средств, отпущенных на программу «Спейс шаттл». Некоторые члены Комитета банков неофициально оценили общую стоимость проекта в 20 млрд. долл. (по курсу 1984 г.).

Вэн Аллен и его единомышленники опасаются, что большие ассигнования, по существу, на менее гибкую (в сравнении с альтернативной) программу запуска пилотируемых аппаратов могут причинять постоянный ущерб сравнительно недорогой программе использования непилотируемых космических аппаратов, которая успешно развивается уже на протяжении 26 лет.



Сменная бригада космонавтов на пилотируемой станции производит работы по починке спутника «Солар Максимум»

Мысленное вращение объекта

Мысленное вращение объекта в точности воспроизводит физическую операцию вращения. Существует возможность объективно изучить этот умственный процесс и таким образом получить количественную характеристику одной из форм пространственного мышления

ЛИНН А. КУПЕР, РОДЖЕР Н. ШЕПАРД

ЧТО такое мышление? Предварительный ответ на этот вопрос дают результаты самонаблюдения. Некоторые умственные процессы имеют вербальную форму и подобны своему рода беззвучной беседе человека с самим собой. Другие умственные процессы являются визуальными, что означает способность человека вызывать в уме образы и манипулировать ими без слов. Несмотря на очевидность существования этих образов, механизмы образного мышления долгое время не поддавались экспериментальному анализу и количественным оценкам. Как же можно «измерить» и проанализировать научными методами этот на вид недоступный, субъективный умственный процесс?

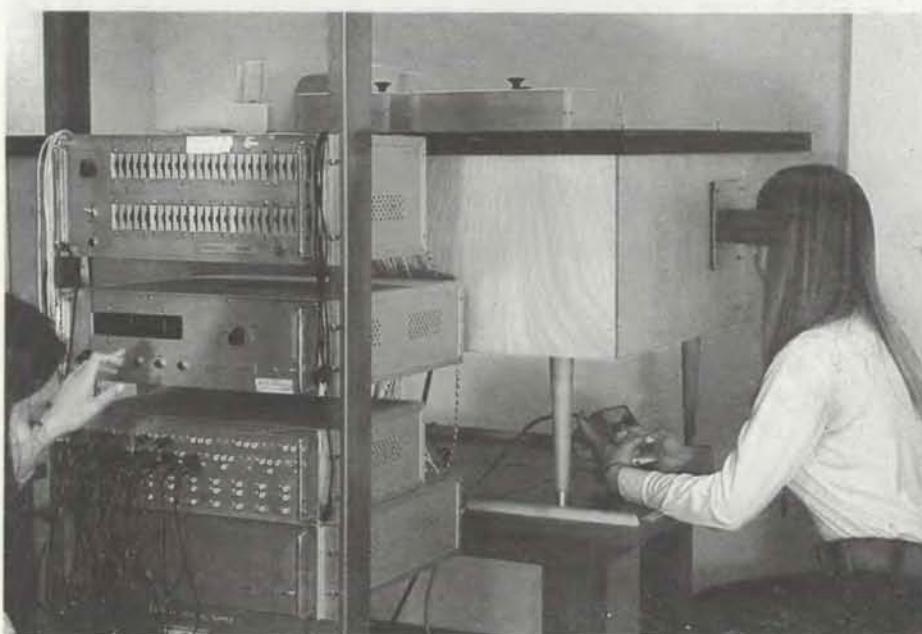
Поиск ответа на поставленный вопрос мы начали с разработки экспериментов для исследования одной формы мышления — мысленных пространственных операций. Наши результаты

опытным путем подтверждают то, что субъективно считается очевидным: человеческий ум способен моделировать физические процессы в рамках свойственных для реального мира геометрических ограничений. В повседневной жизни можно найти массу доказательств существования подобных умственных операций. Поставим, к примеру, такой вопрос: как пронести журнальный столик через узкий дверной проем, не складывая его ножки? Большинство людей скажут, что им необходимо вообразить следующий процесс: столик переворачивается на бок, две его ножки заносятся в проем, затем столик поворачивается и уже целиком проносится в дверь. Этот вид пространственного воображения свойствен не только человеку. Один из авторов статьи был свидетелем того, как овчарка доставала длинную палку, переброшенную через забор, в котором отсутствовала вертикальная доска.

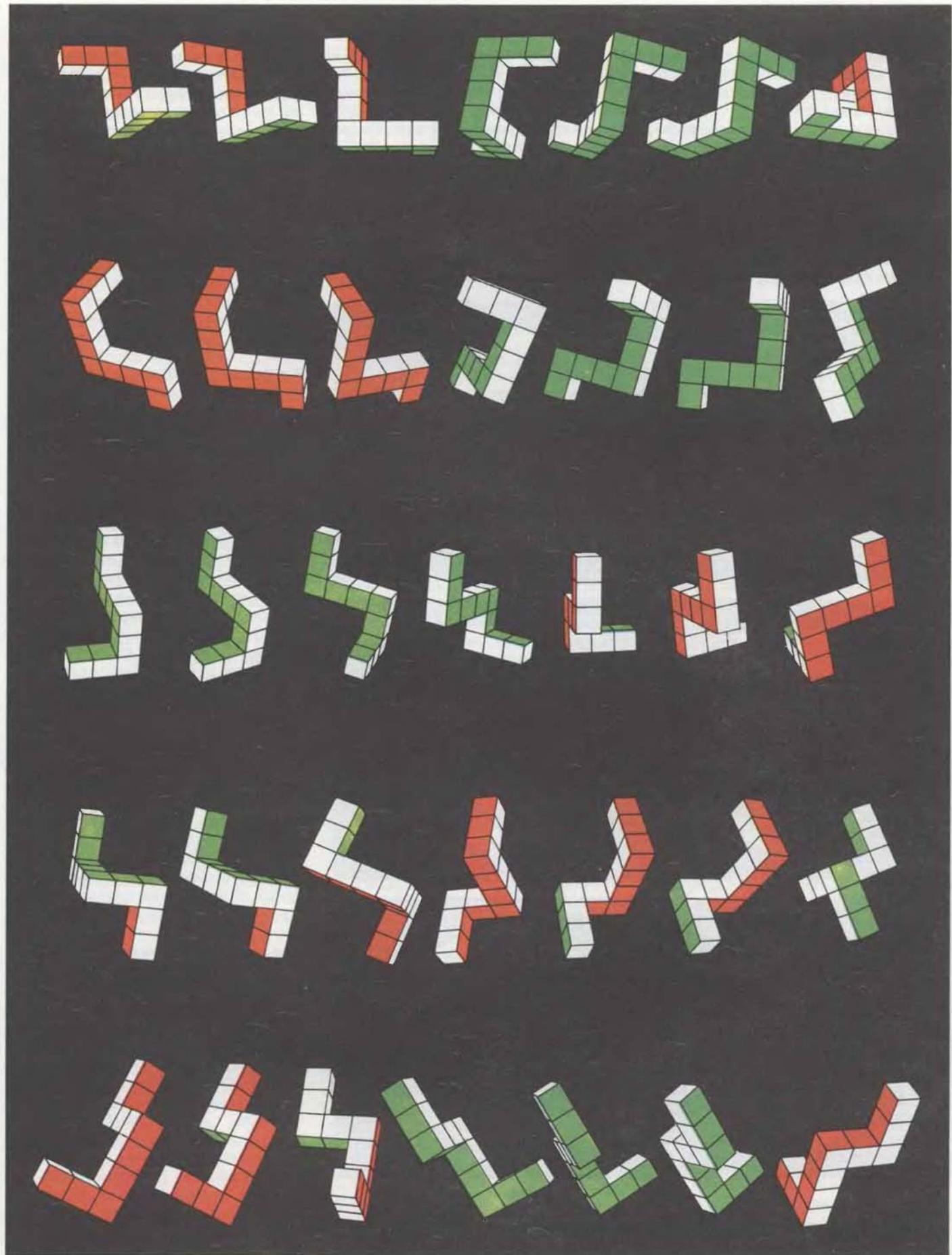
Происходило это следующим образом. Собака проникла в щель, схватила в зубы палку и, повернувшись, двинулась назад к отверстию. В последний момент она вдруг остановилась и после некоторой паузы повернула голову на 90°. Держа палку в таком положении, она свободно пролезла через щель в заборе. Надо полагать, что операция «обдумывания» во время паузы носила в голове у собаки невербальный характер. Возникает вопрос: не заключалась ли эта операция в мысленном вращении? (И кстати, не с помощью ли пространственной визуализации, нежели словесного заключения, вы, читатель, поняли, какое затруднение могла испытать собака, не поверни она голову, и каким образом она его избежала?)

Способность мысленно представлять объекты или совокупности объектов, а также их перемещение в пространстве имеет большое значение в повседневной жизни — в планировании действий и предсказании их результатов. Эта способность может играть важную роль и в процессе абстрактного мышления. Многие ученые отмечают, что наиболее значительные их достижения явились результатом анализа, отправной точкой которого служило мысленное представление пространственных отношений и трансформаций. Два наиболее известных примера — это образ структуры молекулы бензола, возникший у Ф. Кекуле, и визуализированное представление механизма паровой машины у Джеймса Уатта. А. Эйнштейн также отмечал, что пришел к теории относительности благодаря «визуализации... эффектов, последствий и возможностей», визуализации, имевшей форму «более или менее ясных образов, свободно воспроизводимых и комбинируемых».

Однако, несмотря на приведенные примеры, субъективные качественные оценки — даже те из них, которые были сделаны учеными, — не могут заменить объективных количественных методов. Как отмечал в 1923 г. выдающийся психофизиолог К. Лешли, «самонаблюдение можно использовать в качестве предварительного анализа, за



ТАХИСТОСКОП позволяет измерять время реакции на зрительный стимул. Когда экспериментатор нажимает на кнопку, на экране появляется изображение и включается секундомер. Реакция испытуемого фиксируется путем нажатия на контрольную кнопку; при этом останавливается секундомер, который показывает время, прошедшее между предъявлением стимула и реакцией.



ТРЕХМЕРНЫЕ ОБЪЕКТЫ в различных положениях рисовались на экране с помощью ЭВМ. Время, необходимое испытуемому для того, чтобы вынести решение об идентичности двух объектов, повернутых относительно друг друга, было

пропорционально углу их относительного поворота. Из этого можно заключить, что испытуемый должен был представить себе первый объект, повернутый в положение второго, для того чтобы решить, совпадают ли они.

которым должны последовать объективные измерения». Такая систематическая разработка проблемы, связанной с изучением мысленного пространственного представления, осуществлялась медленно.

В первой половине XX в. перед исследователями стояли препятствия теоретического плана. В это время американские бихевиористы, начиная от Дж. Уотсона и кончая Б. Скиннером, пытались отделить психологию от ее интроспективных основ в философии и установить для нее собственную эмпирическую базу. Бихевиористы настаи-

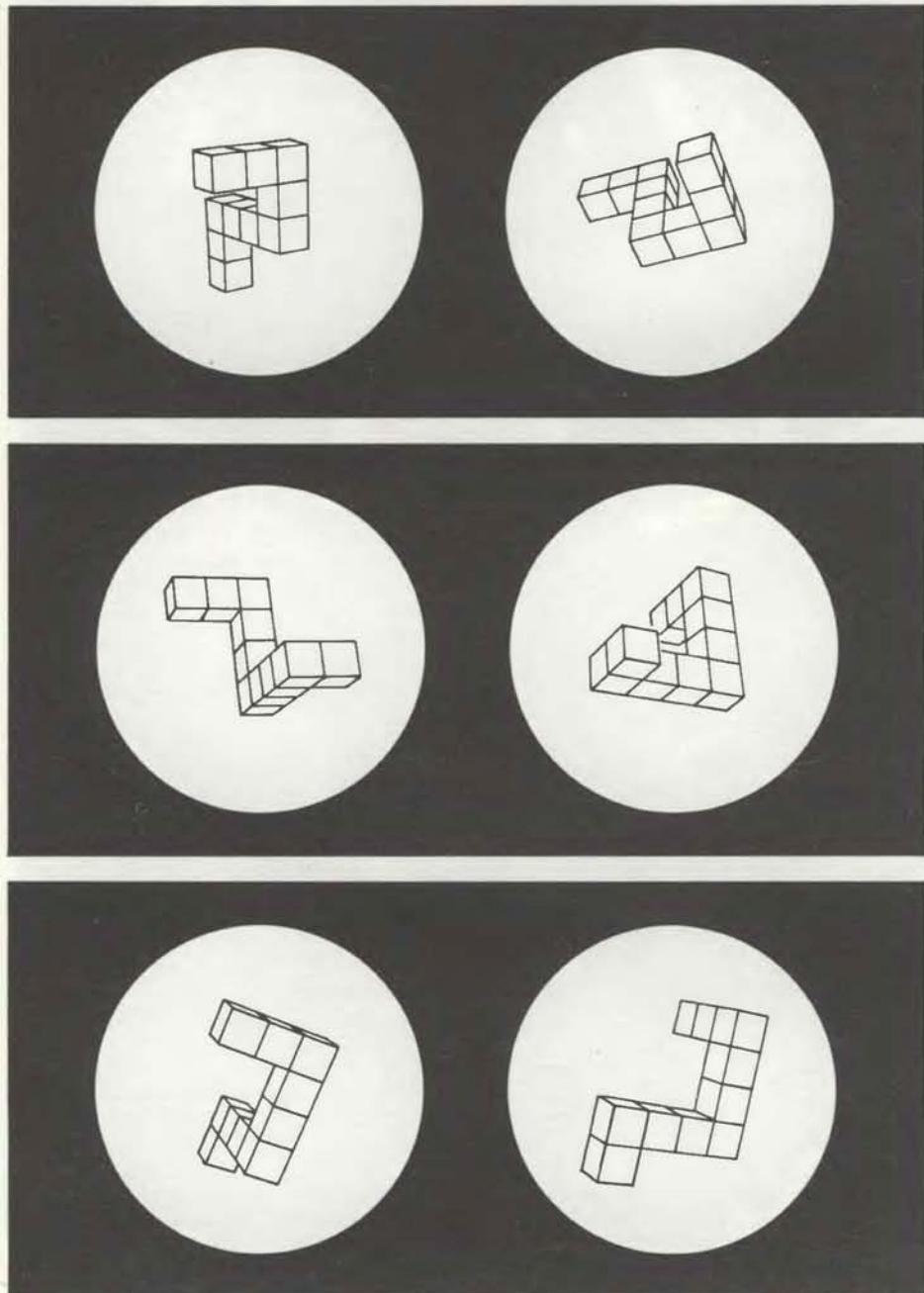
вали на том, что каждый научный термин должен соответствовать объективно точно установленным стимулу и реакции. Вследствие этого они изгоняли из психологии такие термины, как сознание, ум, мышление и воображение, описывающие субъективные феномены. Объектами лабораторных исследований бихевиористов были физически контролируемые события (крыса нажимает на педаль, голубь ударяет клювом по рычагу и т.д.), но не скрытые психические процессы.

На протяжении второй половины нашего века новые исследования начали

разрушать барьеры, воздвигнутые бихевиористами на пути к познанию структур и процессов мышления. Известный лингвист Н. Хомский предложил вескую аргументацию в пользу того, что языковое поведение направляется врожденными схемами, полностью не признаваемыми бихевиористами. Психологи-экспериментаторы представляли все более неоспоримые доказательства, подтверждающие возможность использования количественных показателей для исследования умственных процессов на основе объективно полученных данных.

НАШИ эксперименты были направлены на изучение одного игнорируемого бихевиористами умственного процесса; при этом мы намеревались удовлетворить их требованию оперировать только с объективными количественными данными. Первые шаги в исследовании пространственного воображения, предпринятые в 1971 г. Р. Шепардом совместно с аспиранткой Д. Мешлер, удовлетворяли этому критерию. Каждая экспериментальная серия считалась объективной в том смысле, что реакции испытуемого на стимул могли быть объективно оценены как правильные или ошибочные; результаты одновременно носили и количественный характер, поскольку фиксируемой переменной было время, необходимое испытуемому для ответа.

Перед испытуемыми стояла задача сравнения построенных вычислительной машиной рисунков, которые предъявлялись парами. Каждый рисунок изображал трехмерный объект, состоящий из десяти кубиков, грани которых соединялись так, что образующаяся фигура была похожа на рычаг, изогнутый в трех местах под прямым углом (см. рисунок на с. 59). Одни пары рисунков-стимулов изображали одинаковые объекты, по-разному ориентированные в пространстве. Другие пары, чередующиеся с первыми в случайному порядке, представляли объекты, различающиеся между собой как по форме, так и по ориентации. Это были энантиоморфные структуры, т.е. такие структуры, одна из которых является зеркальным отражением другой (подобно правой и левой руке). В каждой серии в течение точно контролируемого времени на задней стенке тахистоскопа, представляющего собой темный ящик, испытуемому предъявлялся зрительный стимул: экспериментатор вставлял в тахистоскоп пару рисунков и нажимал кнопку устройства для их освещения, одновременно включая секундомер. Испытуемый должен был как можно быстрее сравнить изображения и нажать один из двух рычагов: правый, если изображенные объекты имели, по его мнению, одинаковую форму, и левый, если он считал, что они различаются. Одновременно



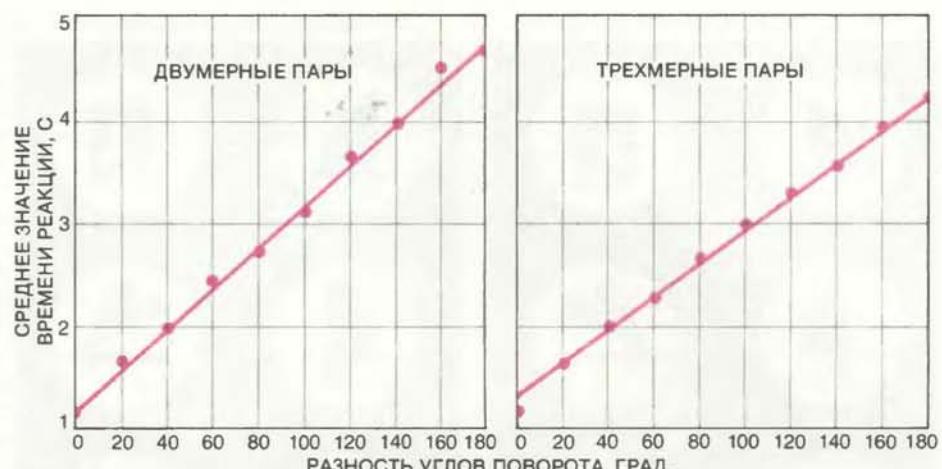
ПАРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ пространственных объектов, предъявляемые испытуемым в первом эксперименте авторов статьи, были трех типов. Пары первого типа состояли из идентичных объектов, повернутых относительно друг друга в плоскости экрана (вверху). Пары второго типа состояли из идентичных объектов, относительный поворот которых совершился в трех измерениях (включая глубину изображения) (в середине). Испытуемые одинаково быстро устанавливали идентичность изображений в парах обоих типов. Это значит, что они мысленно представляли трехмерные тела, врачающиеся в пространстве. Парные изображения третьего типа состояли из энантиоморфных (зеркальных) конфигураций (внизу).

останавливался секундомер, показывающий затраченное на сравнение время.

Поскольку пары рисунков представляли объекты, либо идентичные, либо относящиеся друг к другу как нормальный и зеркальный варианты, испытуемые не могли опираться при сравнении на отдельные внешние признаки. К примеру, число кубиков, расположенных между двумя соседними точками изгибов, было одинаковым как в идентичных, так и в энантиоморфных объектах. Таким образом, опора на явные отличительные признаки исключалась. По словам испытуемых, сравнение двух объектов могло осуществляться только путем мысленного поворота одного из них в положение, занимаемое другим, с последующим установлением степени их совпадения. Обычно испытуемые говорили, что они мысленно поворачивали объект, находящийся слева, до тех пор, пока его верхний отрезок не устанавливался параллельно соответствующему отрезку объекта, находящегося справа. Затем они пытались мысленно проследить, ориентирована ли остальная часть первого объекта в том же направлении, что и сходная часть второго.

Подтверждением субъективных ответов испытуемых служили объективные данные о времени реакции — от момента предъявления рисунка до нажатия рычага. Время реакции изменялось прямо пропорционально углу, под которым один объект был повернут относительно другого. Когда объекты были ориентированы одинаково, испытуемым требовалось около 1 с для определения их идентичности; с увеличением угла поворота время реакции возрастало и достигало в среднем 4,4 с при максимально возможном угле — 180°. У всех восьми испытуемых было отмечено прямо пропорциональное увеличение времени реакции; индивидуальные особенности приводили к различию в крутизне линейной функции.

Эта прямая пропорциональность свидетельствует о том, что испытуемые сравнивали объекты, мысленно представляя, как один из них поворачивается с постоянной скоростью — в среднем 180° за 3,4 с (4,4 с минус 1 с, затрачиваемая на сравнение двух объектов, ориентированных одинаково), т.е. со средней скоростью 53° в секунду. Человек может использовать и другие способы для сравнения идентичных и энантиоморфных объектов, однако время, затраченное на реализацию любого из этих способов, не будет пропорционально углу относительного поворота сравниваемых фигур. В частности, исключена возможность того, что испытуемые анализировали каждый рисунок пары независимо, т.е. мысленно преобразовывали структуру объекта в некоторую закодированную форму и затем сравнивали результаты. С по-



СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ РЕАКЦИИ возрастало пропорционально углу относительного поворота двух идентичных объектов. Линейная зависимость свидетельствует о том, что в основе сравнения объектов лежит процесс мысленного вращения. Крутизна линейной функции, по которой можно вычислить скорость мысленного вращения, была одинаковой для поворотов фигур как в плоскости, так и в пространстве.

мошью одного из таких кодов можно было бы описать, например, ряд элементов структуры и последовательность расположения ее изгибов следующим образом: 2П2В2Л1, что означает «2 кубика, изгиб вправо, 2 кубика, изгиб вверх, 2 кубика, изгиб влево, 1 кубик». Время, необходимое на составление такого кода, вероятно, зависит от пространственной ориентации объекта. Однако поскольку кодирование каждого рисунка осуществляется независимо, то сумма времени, затраченная на анализ обоих рисунков не обязана изменяться в соответствии с углом поворота их относительно друг друга.

Наши результаты не только свидетельствуют о том, что основу сравнения составляет мысленное вращение, но также показывают, что мысленные образы отражают трехмерную структуру объектов, а не совокупности их двумерных признаков. В половине пар рисунков идентичные объекты были представлены развернутыми относительно друг друга в плоскости рисунка. На остальных рисунках вращение захватывало третье измерение — глубину (см. рисунок на с. 60). Хотя трехмерные объекты в каждой паре рисунков второго типа идентичны, их графические изображения, т.е. сочетания линий и углов на плоскости, существенно различаются: поворот, выходящий за плоскость рисунка, вносит некоторые элементы объекта в плоскость рисунка, в то время как другие элементы исчезают из этой плоскости.

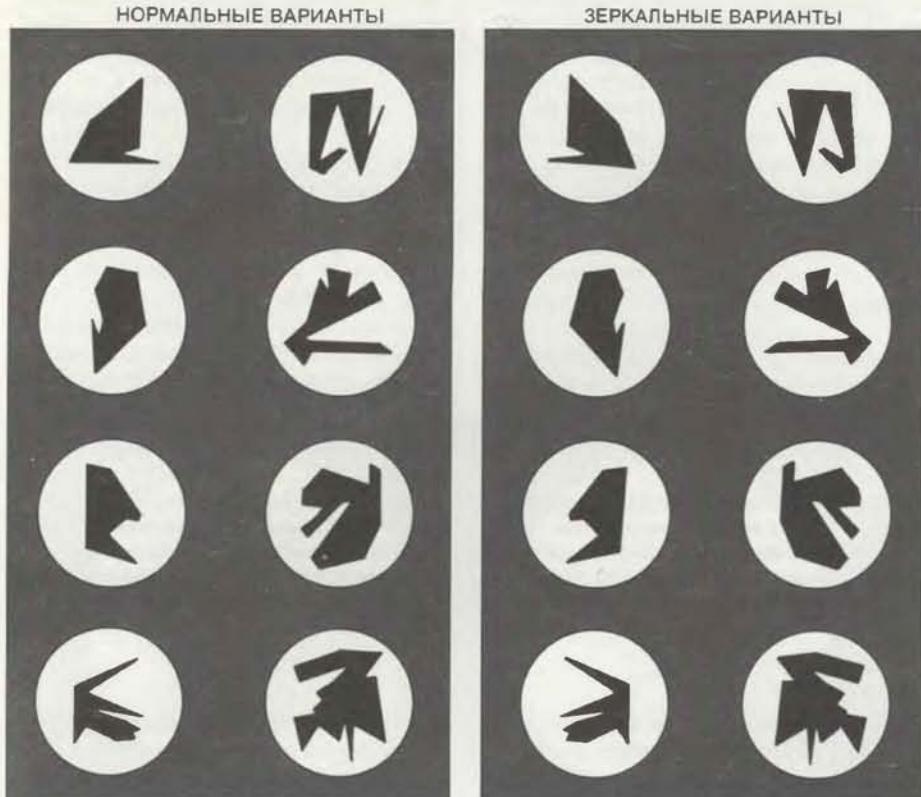
Несмотря на это, крутизна функции, описывающей время реакции, затраченное на сравнение пар рисунков второго типа, была не больше крутизны соответствующей функции для пар рисунков, отличающихся только по углу поворота объекта в плоскости рисунка. Скорость мысленного вращения в си-

туации, когда трансформация затрагивала все три измерения, была такой же, как и в случае трансформации в двух измерениях. Экспериментальные результаты согласуются с самоотчетами испытуемых, утверждавших, что они интерпретировали рисунки с любыми ориентациями объектов как изображения твердых тел, в трехмерном пространстве. Таким образом, испытуемые одинаково легко оперировали с обоими видами вращения объектов.

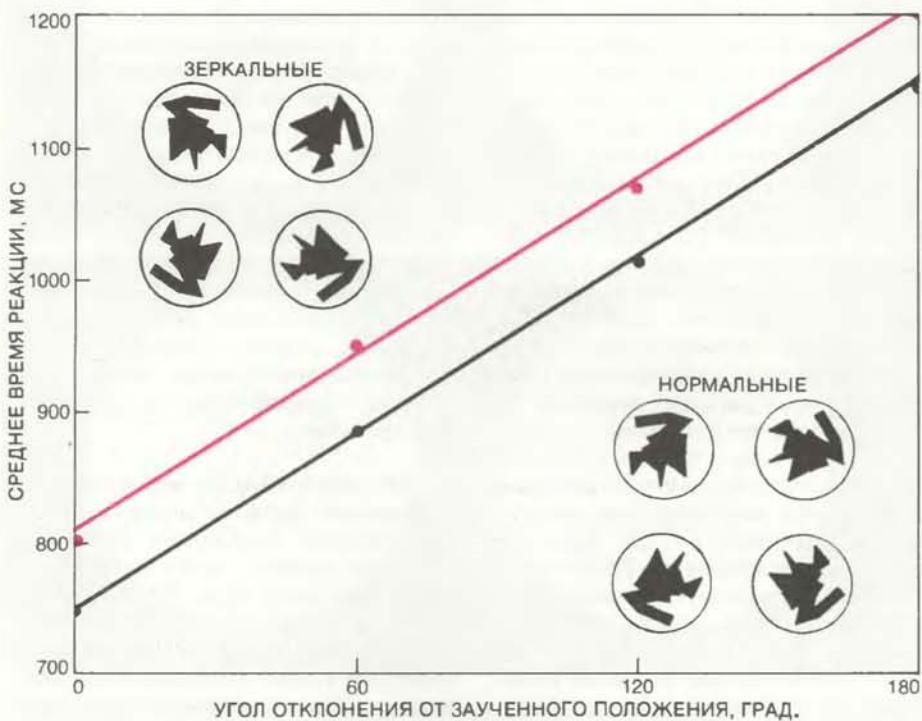
Пространственный характер мысленного вращения, выявленный в первом эксперименте, свидетельствует о том, что этот процесс аналогичен преобразованиям, свойственным физическому миру. Кажется заманчивой идея рассматривать мысленное вращение как внутреннее представление процесса физического вращения. Однако это было бы оправдано только в том случае, если бы мы смогли показать, что внутренний процесс имеет промежуточные состояния, соответствующие промежуточным ориентациям физического объекта, вращающегося в реальном пространстве.

Для того чтобы получить дополнительные доказательства аналоговой природы мысленного вращения, Л. Купер провела серию экспериментов, в которых через определенные промежутки времени испытуемым последовательно предъявлялись не пары объектов, а один, но всякий раз в ином ракурсе. Таким образом мысленное вращение инициировалось предъятием одиночного стимула. Показывая затем тот же или иной объект с различной ориентацией и через различные промежутки времени, мы имели возможность изучить процесс мысленных трансформаций.

Однако, прежде чем перейти к этому



СОВОКУПНОСТЬ ДВУМЕРНЫХ ТЕСТОВЫХ ФИГУР включала восемь многоугольников и их зеркальных двойников. На предварительном этапе испытуемые учились различать нормальный (слева) и зеркальный (справа) варианты каждой фигуры в фиксированном положении. Многоугольники различались по числу вершин. Этот показатель, который может служить степенью психологической сложности, не влиял на то, как быстро испытуемые идентифицировали фигуры в дальнейших экспериментах.



ЛИНЕЙНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ РЕАКЦИИ ОТ ТЕСТОВОГО УГЛА ПОВОРОТА была обнаружена в эксперименте, в котором испытуемому предъявлялся знакомый ему многоугольник, имеющий новую ориентацию. Испытуемый должен был решить, видит ли он нормальный (нижний график) или зеркальный (верхний график) вариант фигуры. Для этого испытуемый, очевидно, должен был мысленно вращать многоугольник до тех пор, пока он совпадал или не совпадал с показанной фигурой. Если совпадения не было, испытуемому требовалось дополнительное время, чтобы заключить, что перед ним зеркальный вариант.

исследованию, необходимо было дать ответ на один предварительный вопрос и в связи с этим провести дополнительный эксперимент. Мы должны были доказать, что предъявление одиночного стимула заставляет испытуемых выполнять операции, аналогичные тем, что имели место в первом эксперименте при предъявлении пар рисунков. Для этого мы опять предложили испытуемым задачу на различение объекта и его зеркального варианта, но использовали двумерные плоские фигуры, а не трехмерные конфигурации, предъявлявшиеся в предыдущем эксперименте. Соответственно, положение фигуры полностью характеризовалось ее поворотом на плоскости. На предварительном этапе эксперимента испытуемые учились отличать нормальный вариант фигуры от ее зеркального отражения. Для этого использовались восемь многоугольников, ориентация которых не менялась (см. верхний рисунок на с. 62). Как только испытуемые овладевали навыками различения, начинался собственно эксперимент.

В каждой серии предъявлялся один из восьми многоугольников — либо в том положении, в котором его показывали на этапе обучения, либо повернутый на 60° или на кратное 60° число относительно этой ориентации. Испытуемому предлагалось определить, какой — нормальный или зеркальный — вариант фигуры представлен. Для этого испытуемый должен был, по нашему предположению, мысленно поворачивать многоугольник до тех пор, пока он совпадет или не совпадет с эталонной формой, хранящейся в памяти, и известной из предварительного эксперимента. В случае совпадения испытуемый нажимал правую кнопку («нормальный»), в случае несовпадения — левую («зеркальный»).

Как и в эксперименте с парными стимулами, время реакции в данном случае возрастало пропорционально углу поворота с тем лишь различием, что поворот определялся относительно тестовой фигуры, предъявлявшейся на предварительном этапе, а не относительно одновременно предъявляемой фигуры. Нормальные варианты тестовых многоугольников испытуемые узнавали на 60 мс быстрее, чем зеркальные. Прежде всего, вероятно, испытуемые сравнивали трансформированную тестовую конфигурацию с образом ее нормального варианта, находившимся в памяти. Это позволяло быстро отметить совпадение, но требовало дополнительного времени для выявления зеркального варианта, если тестовая конфигурация объекта не совпадала с ее нормальным вариантом.

Крутизна функции времени реакции в обоих случаях оказалась, однако, идентичной. Средняя скорость мысленного вращения в этом эксперименте составила 450° в секунду, т.е. значи-

тельно больше, чем скорость вращения, зафиксированная в эксперименте с парными стимулами и равная 53° в секунду. Оперирование образами фигур, предъявляемых по одной в каждый момент, очевидно, обеспечивает более быстрые ответные реакции за счет того, что испытуемые концентрируют свое внимание на одиночном стимуле. Несмотря на количественные различия, результаты этого эксперимента были аналогичны результатам, полученным ранее.

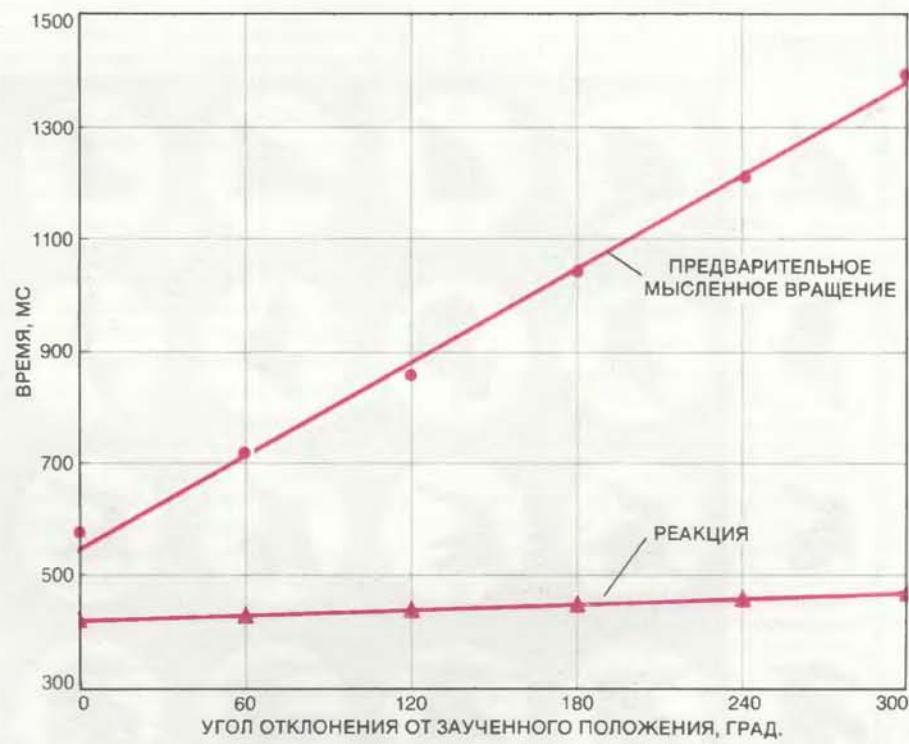
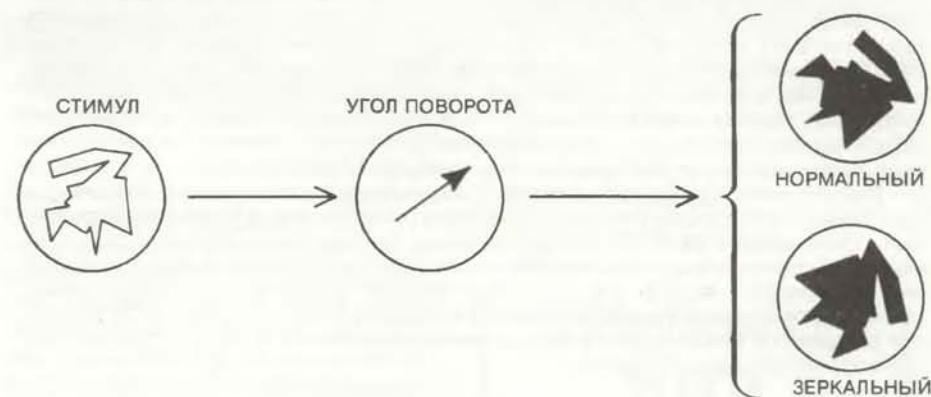
После того как было установлено, что выполнение теста с одиночными двумерными фигурами требует мысленного вращения, сходного с тем, которое имеет место при сравнении двух фигур, мы смогли модифицировать методику с целью более тщательного подтверждения гипотезы, согласно которой мысленное вращение представляет собой аналог вращательных операций, осуществляемых в физическом мире. Второй эксперимент с одиночными стимулами был предназначен для проверки утверждений испытуемых о том, что они оценивали образ, мысленно вращая его до совпадения с конфигурацией, предъявлявшейся на этапе обучения. Для этого мы изменили последовательность инструкций: вместо того чтобы предъявлять испытуемым фигуру для сравнения ее с образом, запомненным на этапе обучения (в этом случае испытуемые должны были мысленно представить корректирующее вращение), мы просили их сначала вообразить вращение ранее заученной фигуры и только после этого предъявляли изображение для сравнения.

Все испытуемые, участвовавшие в этом эксперименте, принимали участие и в предыдущем эксперименте с одиночными стимулами и были знакомы с тестовыми фигурами. В каждой серии испытуемому сначала предъявлялся один из восьми нормальных многоугольников, показанных на предварительном этапе. После этого появлялось изображение круга со стрелкой, установленной в одно из шести положений — с углом поворота от 0 до 300° по часовой стрелке с интервалом 60° . Испытуемые должны были мысленно представить себе нормальную фигуру с ориентацией, указанной стрелкой. В одной половине серий от испытуемых требовалось осуществлять мысленное вращение по часовой стрелке, в другой половине серий — против часовой стрелки. Завершив мысленную операцию, испытуемый нажимал кнопку; при этом останавливался секундомер, который фиксировал затраченное время. Одновременно на экране появлялся «рабочий» многоугольник, ориентация которого совпадала с направлением стрелки, и включался второй секундомер. Испытуемый должен был как можно быстрее ответить, нормальный

или зеркальный вариант многоугольника ему предъявлен, произнеся соответственно «н» или «з». Звук улавливался микрофоном, и специальное устройство отключало второй секундомер.

Таким образом, в каждой серии измерялись два промежутка времени, один из которых занимало мысленное вращение, а второй — идентификация тестового стимула. Оба показателя подтвердили полученные ранее выводы. Как и ожидалось, время, затраченное на предварительное мысленное вращение нормальной фигуры, представляло линейную функцию угла ее поворота относительно положения, в

котором она предъявлялась на этапе обучения. Более того, если в предыдущих экспериментах направление мысленного вращения не фиксировалось и максимальный определяемый угол поворота был равен 180° , то в последнем эксперименте линейная зависимость времени, затраченного на предварительное вращение, прослеживалась до значений $\pm 300^\circ$. Это послужило дополнительным доказательством того, что мысленное вращение представляет собой аналог физического вращения. Скорость предварительного вращения (в среднем 370° в секунду) оказалась сравнимой по величине со скоростью, выявленной в предыдущем экспери-



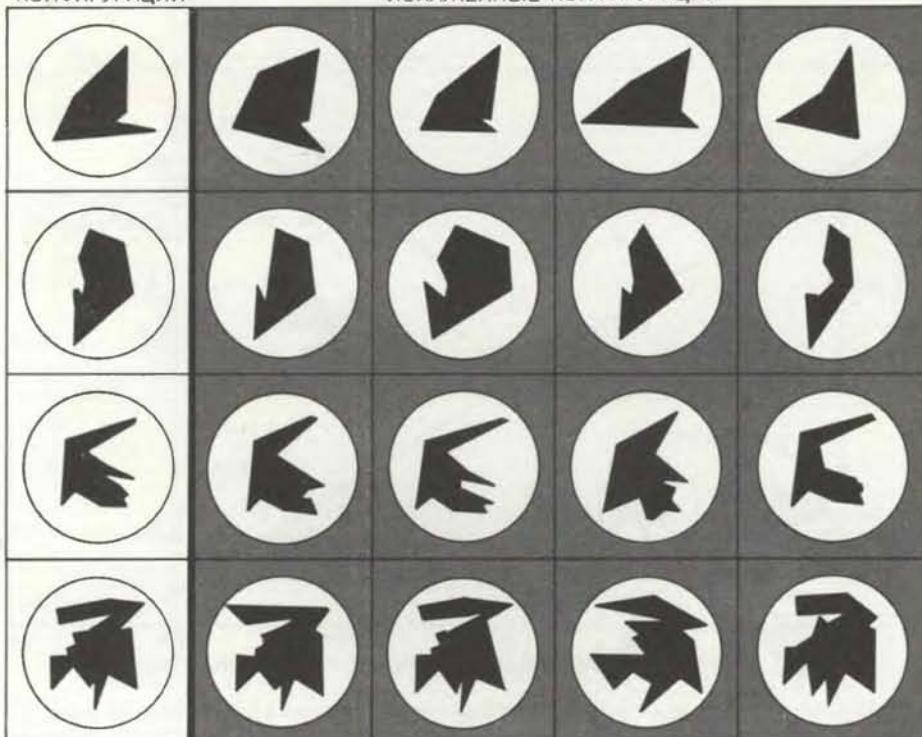
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ МЫСЛЕННОЕ ВРАЩЕНИЕ занимало время, которое измерялось в эксперименте, схематически изображенном вверху. Испытуемому предъявлялся один из восьми многоугольников, а вслед за ним — стрелка в окружности. Испытуемый мысленно вращал фигуру, представленную теперь в его памяти, до положения, указанного стрелкой, и фиксировал завершение этой операции нажатием кнопки. При этом на экране появлялась тестовая фигура, ориентированная по стрелке, и испытуемый должен был определить, какой — нормальный или зеркальный — вариант он видит. Время, затраченное на предварительное мысленное вращение (верхний график), увеличивалось пропорционально углу поворота; стабильная реакция на тестовую фигуру (нижний график) означает, что, совершая мысленное вращение, испытуемый готовился к оценке фигуры с измененным положением.



ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ НЕПРЕРЫВНОСТИ МЫСЛЕННОГО ВРАЩЕНИЯ дал результаты, представленные на графике. Если испытуемый мысленно вращал объект, а тестовое изображение соответствовало в момент его предъявления текущей ориентации вращаемого мысленно объекта, то время реакции было одинаковым для всех значений углов, под которыми предъявлялось изображение (слева). На результаты не влияло то, что некоторые из тестовых изображений отвечали таким ориентациям объектов (светлые кружки), которые не использовались в предыдущих экспериментах; это означает, что объекты не «перепрыгивали» в воображении от одного положения, запомненного испытуемым, к другому, а проходили через промежуточные положения точно так же, как вращающиеся объекты физического мира. Когда изображение показывалось преднамеренно повернутым относительно того положения, в котором его мысленно видел испытуемый (диаграмма и график справа), время реакции возрастало пропорционально разности углов поворота воображаемого и предъявляемого объектов. Очевидно, что для оценки конфигурации испытуемым приходилось осуществлять мысленное корректирующее вращение.

НОРМАЛЬНЫЕ
КОНФИГУРАЦИИ

ИСКАЖЕННЫЕ КОНФИГУРАЦИИ



ИСКАЖЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ СТИМУЛОВ применялось для того, чтобы исследовать, в какой мере признаки физического объекта сохраняются при его мысленном вращении. Сначала испытуемому указывалось, какое положение должен занять объект при мысленном вращении. Затем экспериментатор предъявлял объект в заданном положении, причем объект мог быть искаженным. Испытуемые обнаруживали даже небольшие отклонения от правильной формы. Это означает, что в процессе мысленного вращения в памяти сохраняется значительная часть структурного разнообразия исходного объекта.

менте с одиночными стимулами и равной 450° в секунду.

Второй набор показателей — интервалов времени, необходимых испытуемым для реакции на тестовый стимул, который появлялся после сигнала испытуемого о готовности к выполнению задания, — подтвердил предположение о том, что в процессе мысленного вращения испытуемые действительно готовятся к решению задачи на различие. Они идентифицировали тестовую конфигурацию как нормальную или зеркальную в среднем менее чем за полсекунды независимо от угла ее поворота относительно положения, в котором она предъявлялась на этапе обучения. Если бы после предъявления тестового стимула испытуемые должны были продолжать мысленные операции, то время реакции, по-видимому, увеличивалось бы с возрастанием угла поворота тестового стимула, как это имело место в предыдущих экспериментах, когда испытуемые не имели возможности осуществлять предварительное мысленное вращение.

В ОПИСАННЫХ выше экспериментах были получены данные, характеризующие завершенный процесс мысленного вращения. Была обнаружена линейная зависимость между временем, затрачиваемым на мысленное вращение фигуры, и углом ее поворота, а также подтвержден тот факт, что, представив фигуру в положении, заданном физическим стимулом, испытуемый мог одинаково быстро сравнить ее с тестовой конфигурацией вне зависимости от угла поворота. Однако для того, чтобы трактовать мысленный процесс как аналог физического вращения, нужно было еще показать, что этот процесс состоит из ряда стадий, соответствующих промежуточным значениям угла поворота объекта при его физическом вращении. Если такое соответствие действительно существует, то угол поворота тестового изображения, который соответствует кратчайшему времени реакции испытуемого, совершающего мысленное вращение данного объекта, должен меняться равномерно в соответствии с углом мысленного поворота.

В эксперименте, предназначенному для проверки этой гипотезы, тестировались испытуемые, которые участвовали в двух предыдущих экспериментах с одиночными стимулами и были знакомы с восемью тестовыми многоугольниками. В каждой серии на экране тахистоскопа показывался круг; испытуемый должен был мысленно представить вращение определенного многоугольника внутри круга с привычной для себя скоростью. Через некоторое время на экране появлялся данный многоугольник или его зеркальный двойник и испытуемый должен был как

можно быстрее решить, какой именно вариант он видит.

Поскольку нами уже были собраны обширные данные о скоростях мысленного вращения у испытуемых, мы могли приспособить серии к их индивидуальным особенностям. В предыдущих экспериментах мы определили интервалы времени и углы поворота, соответствовавшие готовности каждого испытуемого идентифицировать тестовую конфигурацию. В половине серий, названных нами тестированием с ожидаемым результатом, фигура показывалась под таким углом поворота, который в данный момент времени должен был соответствовать углу поворота мысленно врачающейся фигуры. В других сериях изображение в той или иной степени отличалось от того, которое, по нашим расчетам, должно было соответствовать мысленно врачающейся фигуре. Этот второй тип тестирования мы называли тестированием с неожидаемым результатом.

ЕСЛИ в ходе мысленного вращения испытуемый действительно представляет себе объект в промежуточных положениях, то реакция на тестирование соответствующим образом ориентированного и показанного в нужное время объекта должна быть одинаковой независимо от угла, под которым объект предъявляется. Результаты экспериментов с ожидаемым результатом подтвердили нашу гипотезу: время реакции при таком тестировании оставалось фактически одинаковым, приблизительно полсекунды при любых углах поворота.

Интересной оказалась и еще одна особенность экспериментов с ожидаемым результатом. Углы поворота половины фигур в этих экспериментах были кратны 60° , т.е. были теми же самыми, что использовались в экспериментах с одиночными стимулами. Другие «ожидаемые» изображения предъявлялись под непривычными углами — кратными 30° . Если, как мы предполагаем, мысленное вращение происходит не скачками от одного положения к другому, а совершается квазинепрерывно, то время реакции на предъявление фигуры под непривычным для испытуемого углом должно быть близко к времени реакции на изображения с привычными углами поворота. Почти одинаковое время реакций в случаях привычных и непривычных ориентаций послужило подтверждением нашей гипотезы.

Когда объект показывался под углом, отличным от ожидаемого, время реакции увеличивалось пропорционально разности действительного и ожидаемого углов. Очевидно, когда объект представлялся перед испытуемым в положении, которое не соответствовало текущему положению мысленно-

го образа, испытуемый должен был вообразить добавочное, корректирующее вращение. На такую коррекцию затрачивалось время, пропорциональное углу отклонения. Этот факт также свидетельствует в пользу того, что небольшая и постоянная величина времени реакции обусловлена соответствием между воображаемой и действительной ориентацией объекта, а не тем, что испытуемому известны очертания предмета во всех его положениях. Время, необходимое для коррекции, указывает на то, что, несмотря на предварительное обучение, испытуемые не могли оценивать предъявляемые изображения без дополнительного мысленного вращения.

РЕЗУЛЬТАТЫ наших экспериментов, взятые в совокупности, объективно доказывают существование умственного процесса, моделирующего вращение объектов в реальном мире. Двумя основными результатами мы считаем следующие: линейную зависимость между временем реакции и разностью углов поворота, когда сравниваются формы двух фигур, а также постоянную скорость реакции, когда объект предъявляется в положении, рассчитанном таким образом, чтобы соответствовать изменяющейся ориентации объекта, врачающегося мысленно. Мы получили точные и воспроизводимые данные о явлении, которое кажется чисто субъективным и которое в прошлом считалось лежащим за рамками экспериментальной психологии.

Остаются нерешенными многие вопросы относительно природы изучаемого явления. Хотя мы и установили, что определение идентичности по-разному ориентированных объектов требует мысленного вращения, которое включает промежуточные стадии, мы не настаиваем, что это вращение непрерывно в математическом смысле, т.е. осуществляется без скачков и минутует все возможные промежуточные углы поворота. Неизвестны и нейрофизиологические основы мысленных образов и манипулирования ими.

Остается неясным также, в какой мере сохраняются детали физических объектов в тех образах, которые подвергаются мысленной трансформации. Недавние эксперименты позволяют предположить, что мысленные представления могут сохранять значительную долю структурного разнообразия своих материальных прототипов. В исследовании, проведенном Купер и П. Подгорным (в ту пору студентом), испытуемые отличали врачающиеся фигуры от заданных объектов не только тогда, когда различие было связано с зеркальным отражением, но и когда оно заключалось в небольших, заранее неизвестных локальных изменениях (см. нижний рисунок на с. 64).

Несмотря на то что некоторые проблемы еще не решены, обнаруженное нами соответствие между мысленным вращением и его прототипом в физическом мире дает пищу для размышлений о природе и функциях пространственного воображения человека. Возможно, уже сейчас не будет преждевременным предположить, что пространственное воображение возникло как отражение физических законов и геометрии реального мира. В ходе эволюции правила, которым подчиняются структуры и движения в физическом мире, могли оказаться включенными в перспективные механизмы человека. Это предположение объясняет наблюдаемое соответствие между действиями, выполняемыми в воображении, и их физическими прототипами. Складывается впечатление, что для таких умственных процессов можно подыскать врожденную схему, не менее строгую и изящную, чем та, что была предложена Хомским для описания языкового поведения.

*Издательство
МИР
предлагает:*

*И. Костов,
И. Минчева-Стефанова
СУЛЬФИДНЫЕ
МИНЕРАЛЫ.
Кристаллохимия,
парагенезис и
систематика*

Перевод с английского

Новая книга известного болгарского минералога академика И. Костова и И. Минчевой-Стефановой посвящена важному классу минералов — сульфидам и их аналогам (арсениды, селениды, теллуриды и т.п.). Детально рассмотрены кристаллохимические особенности сульфидов, изложены оригинальные представления об их образовании и ассоциациях и на этой основе предложена классификация сульфидов. Табличное приложение к книге содержит важнейшие химические и кристаллохимические данные 515 минеральных видов.

1984 г., 19 л.
Цена 3 р. 15 к.



Кораблестроение в Испании XVIII века

Хотя приоритет в строительстве крупнейших военных кораблей эпохи парусного флота обычно приписывают англичанам, но крупнейшим и самым мощным кораблем своего времени был испанский корабль «Сантисима Тринидад»

ДЖОН Д. ХАРБРОН

ВПОСЛЕДНЕМ и самом кровопролитном сражении эпохи парусного флота, состоявшемся 21 октября 1805 г., английская эскадра под командованием адмирала лорда Горацио Нельсона разбила франко-испанскую объединенную эскадру у мыса Трафальгар. Победа Англии означала конец Испании как морской державы, и англичане с тех пор не имели себе равных в области кораблестроения. Однако, по мнению матросов и капитанов кораблей того времени, самым мощным кораблем из числа тех, что принимали участие в Трафальгарском сражении, был испанский линейный корабль «Сантисима Тринидад» («Святейшая троица») водоизмещением 1900 т, представлявший собой «плавучую батарею» с бортами из красного дерева толщиной 2 фута. Команда корабля состояла из 1200 человек. Кораблем восхищались даже недруги испанской короны, а его конструкции и необычайной прочности отдавал должное сам адмирал Нельсон. Однако корабль «Сантисима Тринидад» постигла печальная участь: он был захвачен англичанами, которые, опасаясь, что судно может быть отбито отступающим неприятелем или из-за повреждений, нанесенных в сражении и во время шторма, не выдержит буксировки, потопили его спустя два дня после битвы. Поэтому об особенностях замечательного парусника можно судить лишь на основании его современной реконструкции.

История не уделила должного внимания кораблестроению Испании по той причине, что в XVIII в. испанский флот потерпел ряд поражений, которые, однако, скорее были следствием превосходной военной тактики на море и более умелого судовождения англичан, а не просчетов в конструкции испанских кораблей. Слава англичан затмила заслуги Испании в деле освоения морских торговых путей в Новый Свет.

И тем не менее испанские моряки конца XV и начала XVI вв., одержимые религиозным рвением в борьбе с Реформацией, достигли огромных успехов, открывая новые земли. Более

того, уже в 1600 г., спустя всего 80 лет после того, как Кортес впервые высадился на побережье Мексики, на территории испанской Америки насчитывалось около 50 поселений. Сообщение с большинством из них, так же как и их оборона, обеспечивались только со стороны моря. Тот факт, что они продолжали успешно существовать, можно объяснить и тем, что испанцы традиционно считались лучшими кораблестроителями и не знали себе равных в этой области еще 300 лет.

Колонизация Нового Света вряд ли была бы успешной, если бы испанцы совершали свои путешествия к далеким берегам на таких кораблях, как галеры, хотя в истории кораблестроения они и сыграли значительную роль. Галера, представлявшая собой парусно-гребное судно с отвесными бортами, была распространена в средние века главным образом на флотах средиземноморских держав. (Последнее крупное сражение эпохи гребного флота, в котором объединенная эскадра Испании и других европейских стран разбила турецкий флот, состоялось в 1571 г. у побережья Греции.) Этот тип судна едва ли мог считаться пригодным для длительного плавания через Атлантику. Колумб и последующие мореплаватели стали использовать так называемые круглые суда, которые к концу XVI в. вытеснили галеры. Круглые суда были более крупными и имели несколько палуб, что позволяло разместить на них большее количество провианта, пушек, а также увеличить площадь парусов и численность экипажа. Все это было немаловажным фактором в продолжительном плавании. И наконец, новое судно обладало хорошими мореходными качествами, так как его корпус имел увеличенную подводную часть.

Существовали две разновидности трехмачтовых круглых судов: галеон и навио. Галеоны были торговыми судами, перевозившими золото, серебро, провиант, а также пассажиров. Навио считались военными кораблями и имели толстые борта и большое количество пушек. Наиболее мощные навио являлись линейными кораблями и счи-

тались главной силой во всех сражениях. Испанские навио ознаменовали расцвет эпохи трехмачтовых круглых судов, самым совершенным творением из которых был линейный корабль «Сантисима Тринидад».

ЧТО же представлял собой навио XVIII в.? Испанцы применяли технологию кораблестроения, распространенную в других морских державах Европы. Основой остова, или скелета, судна были киль и кильсон — одна из продольных связей судна, располагающаяся прямо над килем и обеспечивающая его продольную прочность. К килю спереди крепился форштевень, сзади — ахтерштевень, а сверху на киль устанавливались шпангоуты, или ребра, прочно скрепляемые с килем как снаружи, так и изнутри набора. Соединительные элементы включали в себя вельсы — большие деревянные брусья, удерживающие набор за шпангоутами, и поперечные палубные бимсы, которые соединяли противоположные бортовые ветви шпангоутов.

Набор корпуса скрепляли нагелями из дуба или красного дерева или кованными болтами, которые изготавливали на королевских верфях. Болты вставляли в отверстия, просверленные в деревянных конструкциях, и закрепляли металлическими или деревянными гайками. Пока в сухом доке шло строительство корабля, вручную шили из льняной ткани паруса, из пеньки свивали тросы и канаты, которые должны были крепить мачты и паруса.

Самым важным для морской практики являлось поведение в море конструкции корабля в целом — деревянного корпуса, парусов и такелажа. Учитывая, что тысячи элементов из дерева, скрепленные деревянными нагелями и металлическими болтами, постоянно находились под большими нагрузками в результате действия ветра и волн, навио — более чем современное парусное судно — должно было быть тщательно сбалансированным, чтобы сохранять динамическое равновесие, за которым все время следили капитан и члены экипажа. Навио скрипал, сто-



«САНТИСИМА ТРИНИДАД» — самый большой корабль, участвовавший в сражении при Трафальгаре. Таким он изображен на картине художника того времени Алексо Берлингеро де ла Марка и Гальего. Корабль был построен в 1769 г. на испанской военно-морской верфи в Гаване. В качестве строительного материала использовались красное дерево и сосна, произраставшие в Мексике и в Центральной Америке. В кормовой части видны окна офицерских кают. Это бы-

ло самое уязвимое место во время боев. Судно имело четыре орудийные палубы, и за счет этого его вооружение было самым мощным по сравнению с другими кораблями XVIII в. Во время Трафальгарского сражения на борту корабля находились 1200 моряков и солдат морской пехоты. Пушечные залпы с английских кораблей не смогли потопить этот корабль. Картина хранится в Мадридском военно-морском музее.

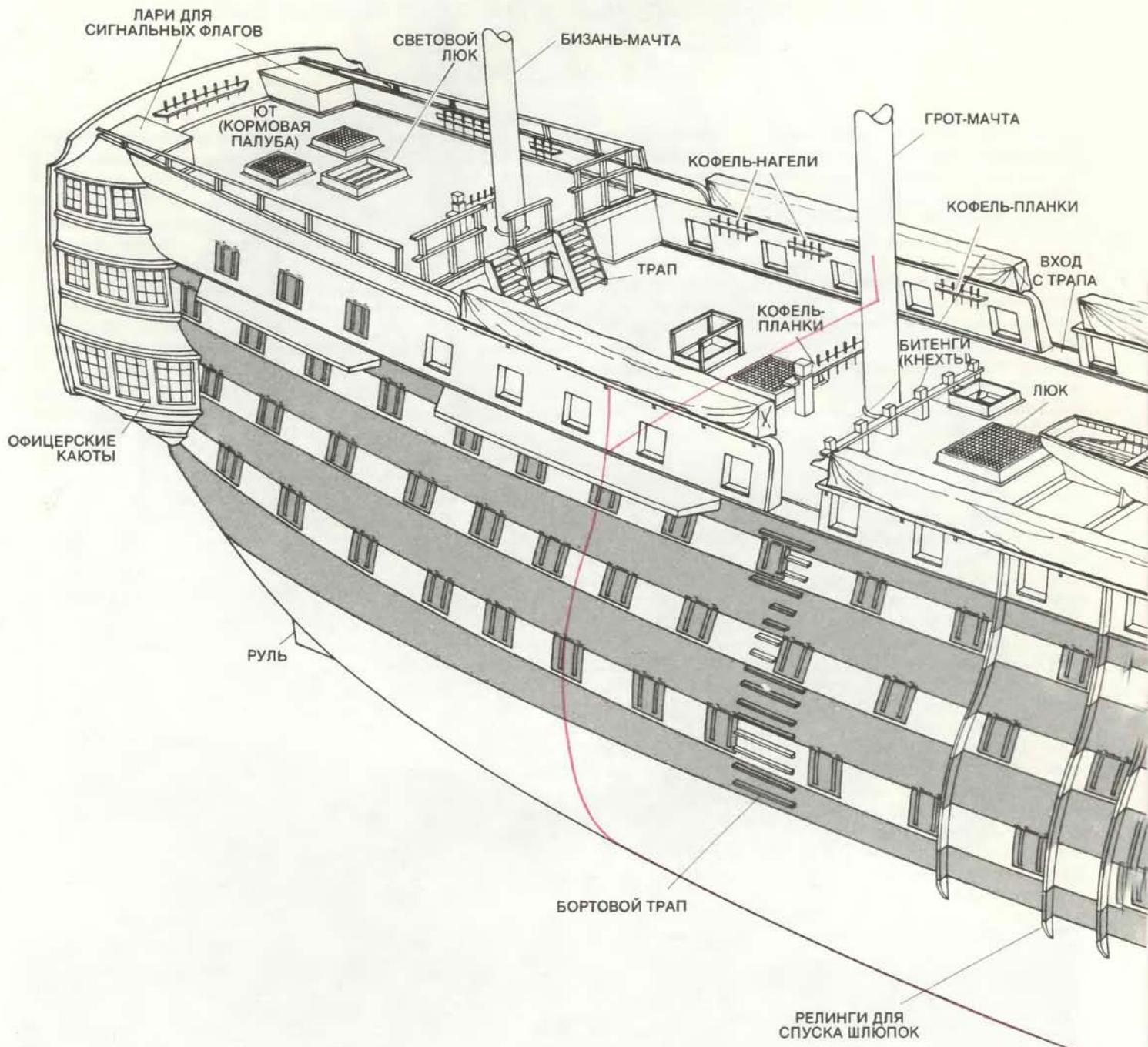
нал, пробиваясь сквозь волны океана. Моряки, плавающие на современных парусных судах, имеющих стальные корпуса, несомненно, чувствуют себя в гораздо большей безопасности.

СЕКРЕТ успеха испанского флота заключался в материалах отличного качества, которые использовали испанские корабелы. Корпуса английских и французских кораблей того времени

строились из дуба, а мачты и реи — из сосны. Испанцы же использовали для строительства своих кораблей твердые породы, такие, как красное дерево, произрастающее на побережье Кубы и теперешнего Гондураса. По сравнению с дубом красное дерево гораздо менее подвержено сухой гнили, обусловленной жизнедеятельностью грибков, пожирающих целлюлозу сухой древесины и превращающих ее в труху. Такому

виду разрушения подвержены все деревянные корабли, поэтому чрезвычайно важно было обладать запасами леса твердых пород для строительства новых судов и ремонта старых.

Наличие запасов твердой древесины, которая могла бы служить длительное время до следующего ремонта, стало залогом успешного развития испанского флота. В то время как англичанам и французам пришлось всерьез заду-



РЕКОНСТРУКЦИЯ корабля «Сантисима Тринидад» выполнена на основании данных, собранных Рафаэлем Беренгером Морено Герром, сотрудником административного управления военно-морского флота Испании, из различных исторических документов. Длина корабля от носа до кормы была около 63 м, а весил он почти 1900 т. После надстройки четвертой орудийной палубы на корабле можно было установить 144 орудия — больше, нежели на каком-либо другом

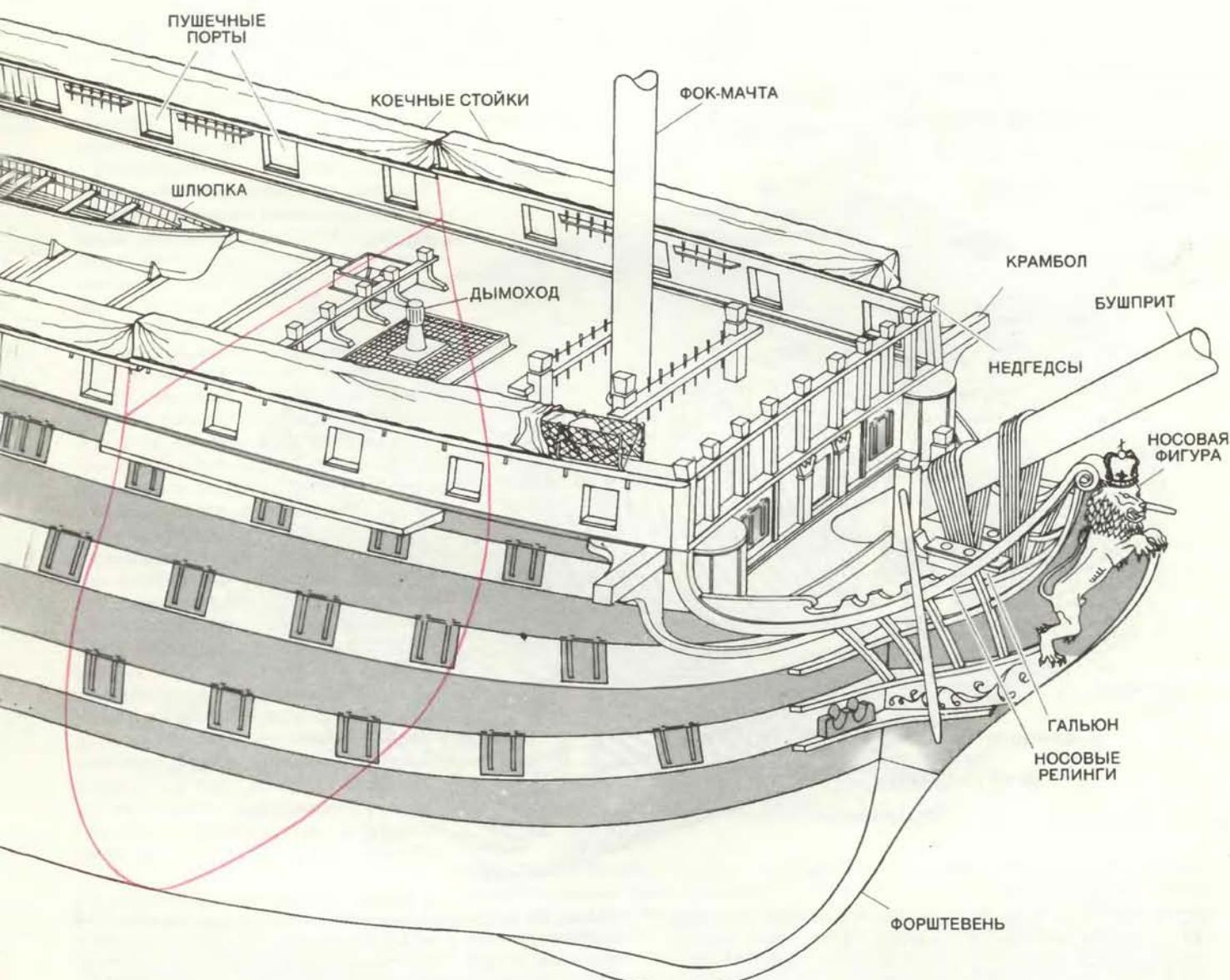
корабле. Кофель-нагели, битенги и недгедсы, на которых крепили снасти бегучего такелажа, размещались на верхней палубе в стратегически важных местах. Подвесные койки, которыми не пользовались в дневное время, складывались и ставились в специальные стойки у релингов по бортам на верхней палубе. Красными линиями выделена часть судна, изображенная на следующем рисунке.

маться о том, как обеспечить достаточное количество дуба и сосны для строительства новых кораблей, Испания обладала огромными запасами древесины твердых пород, ввозимой из американских колоний. Большая часть этой древесины доставлялась на королевские верфи в Гаване, где были спущены на воду 74 из 221 трехмачтового флота, построенных Испанией в XVIII в. К 70-м годам гаванские верфи

превратились в крупнейшего поставщика линейных кораблей. «Сантисима Тринидад», корпус и палуба которого были целиком построены из кубинского и гондурасского красного дерева, был спущен на воду на верфях Гаваны в 1769 г.

Количество дерева, требовавшееся на постройку военных кораблей, было впечатляющим. Около 3000 деревьев, каждое из которых можно было распи-

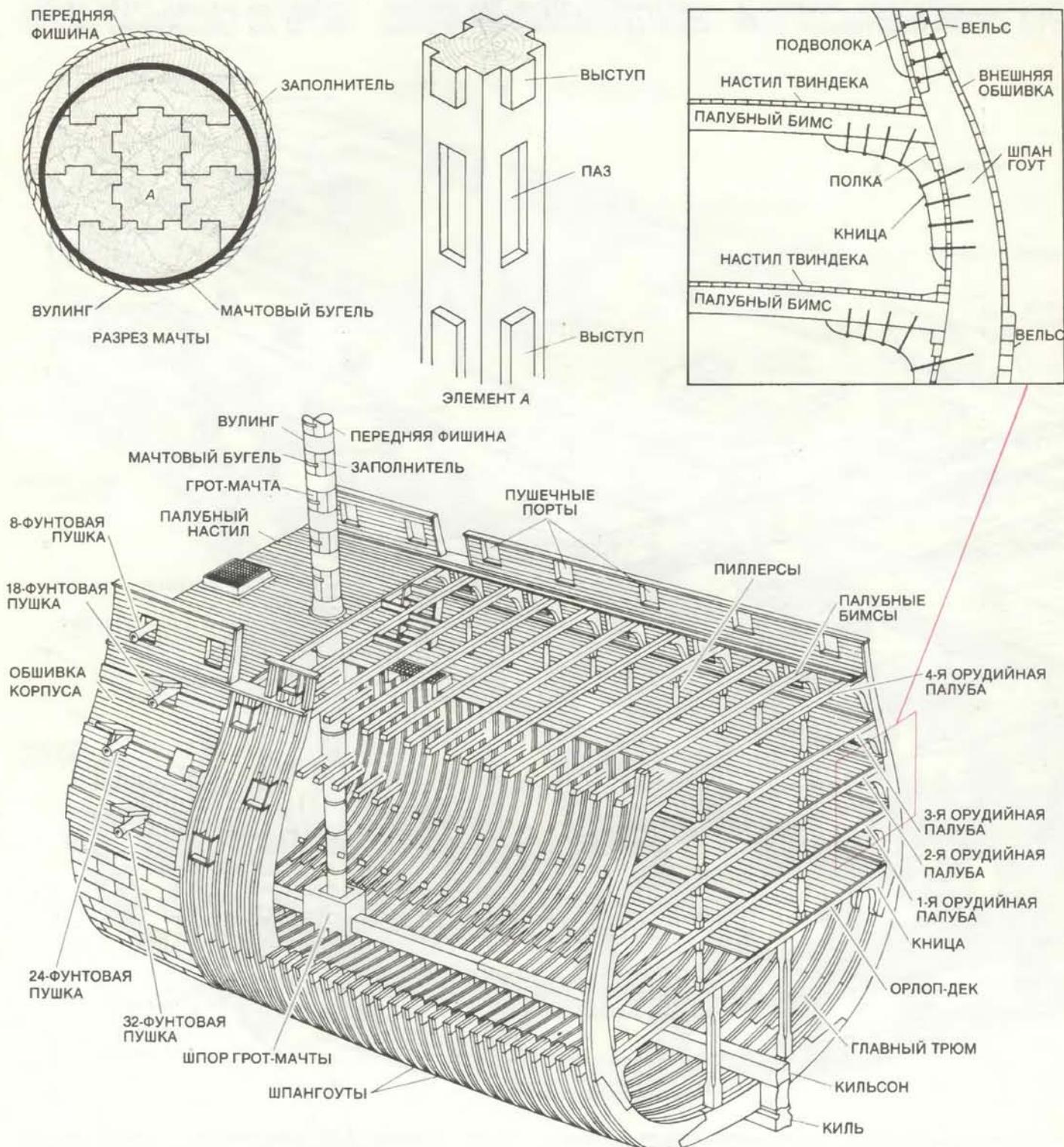
лить на доски общей длиной свыше 200 м, шло на строительство одного военного корабля 3-го ранга, называемого «рабочей лошадью» в военных флотах Европы. Сосна, используемая для изготовления мачт и реев, или перекладин, к которым крепились паруса, росла преимущественно на территории нынешней Мексики. До 40 сосен требовалось для того, чтобы изготовить 22 рея трехмачтового военного



корабля 3-го ранга. Как уже говорилось, гаванская верфь была крупнейшей в XVIII в., и, без сомнения, построенные на ней линейные корабли не имели себе равных по величине в эпоху, предшествовавшую промышленной революции. Тем не менее масса всех вместе взятых трехмачтовых трехп-

лубных кораблей, принимавших участие в Трафальгарском сражении, составляла 120 000 т, что равняется дедвейту современного супертанкера.

РЕМОНТ военного корабля в XVIII в. не ограничивался палубой, каютами, мачтами и парусами, как на современном судне из стали, алюминия, пластика и стекловолокна; обновления требовали и части набора корпуса, хотя, конечно, корабли, участвовавшие в сражении при Трафальгаре, были уже не похожи на первые военные корабли. Как осуществлялись ремонтные работы в то время, хорошо знакомо нынеш-



ЧАСТЬ КОРПУСА судна «Сантисима Тринидад» (отмеченная цветными линиями на предыдущем рисунке) с изображением набора и палубного оборудования в средней части судна. Постройка корабля начиналась с закладки киля и кильсона; к ним прикреплялись шпангоуты, которые удерживались пиллерсами, палубными бимсами и вельсами. Большая часть запасов для плавания хранилась в главном

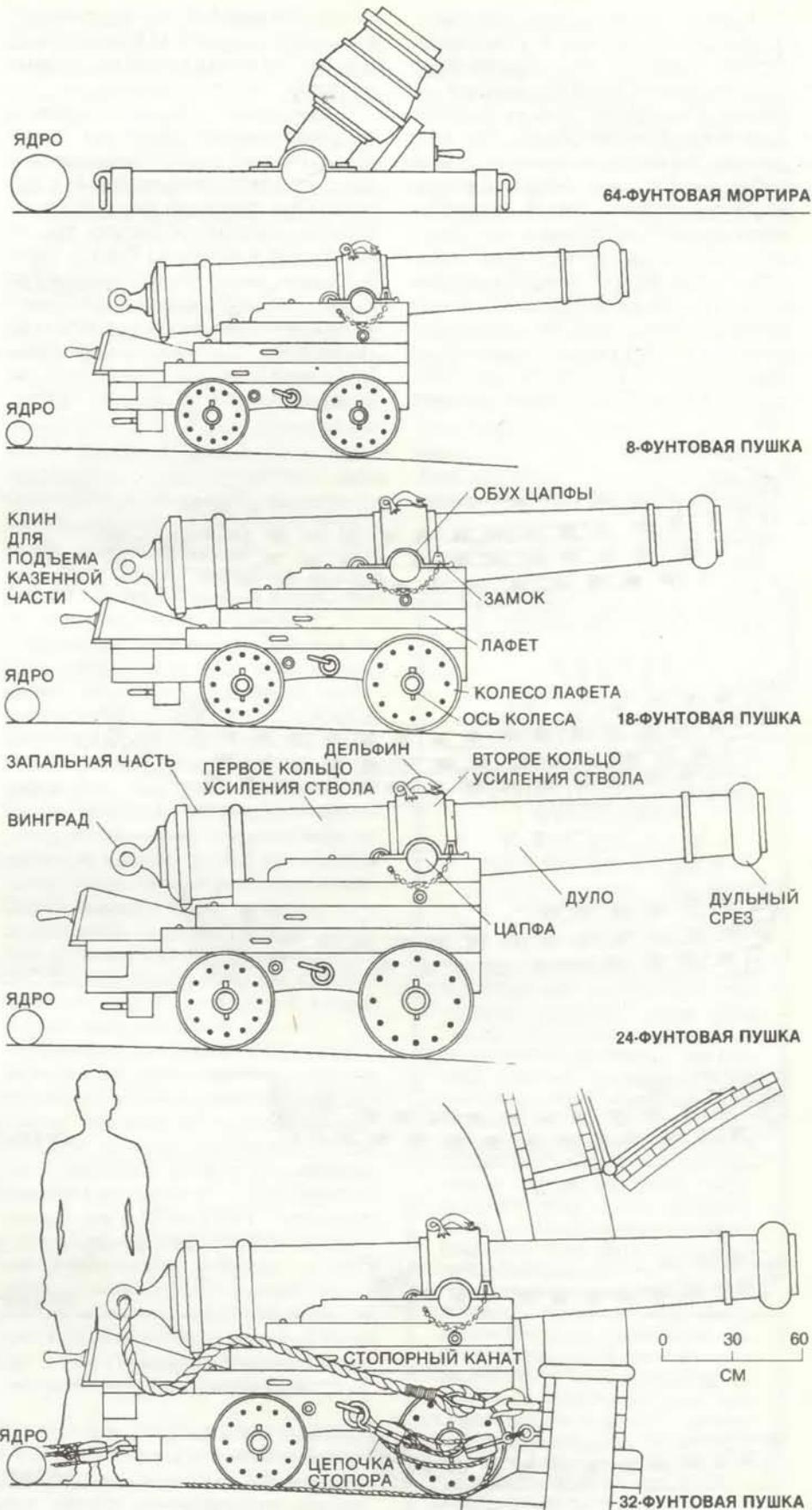
трюме. На орlop-деке находились лазарет и склады боеприпасов с порохом и зарядами для орудий. Самые большие и тяжелые орудия ставились на нижней палубе, непосредственно над орlop-деком. Жилые помещения для команды в основном были расположены на средней и верхней палубах; матросы подвешивали свои койки между орудиями.

ним яхтсменам. К определенным снастям такелажа корабля крепились канаты, проходившие через тали, установленные на берегу. И после того, как с корабля были сняты орудия, корабль кренговали, т.е. наклоняли на один борт. Затем начиналась замена сгнивших деревянных частей. Если этого не требовалось, корпус просто очищали от морских наростов и покрывали составом, предохраняющим его от гниения. Днище часто обшивали медными листами для дополнительной защиты от гниения и червя-древоточца.

Подобный ремонт, конечно, увеличивал срок службы корабля: судно «Сантисима Тринидад» служило 36 лет, прежде чем его затопили у мыса Трафальгар, а флагману адмирала Нельсона «Виктори» было 40 лет. Чистое днище корабля имело свои преимущества: свободное от морских обрастаний судно могло развить большую скорость и имело лучшую маневренность. Однако скорость не всегда была залогом успеха. Как сообщает хроника тех времен, в Трафальгарском сражении английский корабль «Ройял Соврин», днище которого было незадолго до этого оббито медью, ушел далеко вперед от своей эскадры и был атакован испанским 112-пушечным судном «Санта Ана».

Ремонт военных кораблей недешево обходился правительствам морских держав. По данным специалиста по истории экономики Хосе П. Мерино Наварро, сотрудника Мадридского национального университета, военный корабль «Виктори», строительство которого в 1765 г. обошлось Англии в 63 тыс. ф.ст., потребовал ремонта в период до конца наполеоновских войн (1815 г.) на сумму около 372 тыс. ф.ст. Тем не менее, чтобы защитить свои интересы в Америке и на Филиппинах, Испания имела судоремонтных верфей больше, чем Англия и Франция. Испанские корабли всегда были в лучшей боевой форме, чем английские. Английский адмирал лорд Катберт Коллингвуд, один из величайших мореплавателей своего времени, неоднократно докладывал Нельсону и Адмиралтейству о плачевном состоянии английских линейных кораблей. Историки писали, что Англия не в состоянии была не только победить, но и участвовать еще в одном сражении, подобном Трафальгарскому, без того чтобы «очистить королевский флот от гнили». Эта задача, несомненно, потребовала бы от английского правительства огромных расходов.

ОБНОВЛЕНИЕ испанского флота в XVIII в. явилось частью программы модернизации в различных отраслях, предпринятой королем Карлом III, одним из «просвещенных деспотов» своего столетия. Карл III усовершенствовал методы управления и долгосроч-



ПУШКИ И МОРТИРЫ военных кораблей XVIII в. На нижней палубе корабля «Сантисима Тринидад» были установлены тридцать 32-фунтовых орудий (называемых так по массе ядра, которым они стреляли). В конце XVIII в. 32-фунтовые орудия были самыми большими на флоте. Они имели длину ствола более 3 м и могли поражать цель на расстоянии 1,5 мили. На средней палубе корабля «Сантисима Тринидад» находились два 18-фунтовых и двадцать шесть 8-фунтовых орудий и мортиры. Когда добавили четвертую орудийную палубу, число пушек увеличилось со 120 до 144. Снасти для установки орудий после откатывания показаны для 32-фунтовой пушки.

ного планирования в промышленности страны; это коснулось и королевских верфей. Одним из нововведений была стандартизация проектов военных кораблей. В начале XVIII в. каждый построенный военный корабль был уникальным по своей конструкции. К 70-м годам XVIII в. на вою были разделены на шесть основных рангов, и корабли каждого ранга строились в соответствии с общими конструктивными требованиями. Более того, конструкции корпусов и палуб, где размещалось вооружение, а также парусное снаряжение кораблей разных рангов должны были быть одинаковыми. Все это способствовало резкому увеличению произво-

дительности верфей, что было немаловажно в то время, когда Испания остро нуждалась в новых кораблях для защиты своих разросшихся владений.

В каждом из этих шести проектов предусматривались меры для сочетания устойчивости платформы для орудий с хорошей маневренностью и ходостью под парусами. В основе классификации лежало количество орудийных палуб и пушек на борту. Навио 1-го ранга, такие, как «Сантисима Тринидад», считались самыми крупными и были вооружены наиболее мощной артиллерией. «Сантисима Тринидад» был единственным военным кораблем, имевшим четыре палубы, на которых

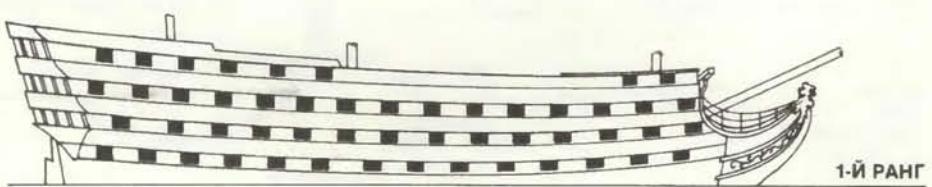
размещались 144 пушки. Другие корабли 1-го ранга были трехмачтовыми и трехпалубными. Навио 2-го ранга также имели три палубы и от 80 до 98 пушек. У кораблей 3-го ранга было всего две палубы и от 74 до 80 пушек. Корабли этих трех высших рангов обычно считались линейными кораблями.

Корабли 4, 5 и 6-го рангов, которые имели небольшое количество пушек и могли развивать высокую скорость, считались крейсерами. На кораблях 4-го ранга было две палубы с 50—60 пушками, на кораблях 5-го и 6-го рангов — по одной палубе; количество пушек равнялось соответственно 32—44 и 20—28. Суда 6-го ранга считались самыми быстроходными в испанском флоте и часто использовались для почтовой связи с далекими испанскими колониями.

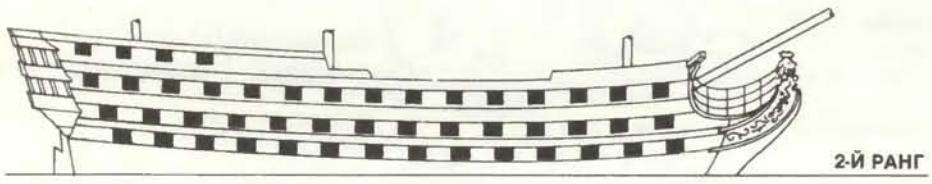
Высота испанского навио 1-го ранга от киля до верхней палубы равнялась высоте современного пятиэтажного здания. Над сланями был главный трюм, над которым находился орлоп-дек, или самая нижняя палуба. Над ней располагались три основные орудийные палубы — нижняя, средняя и верхняя. Высокое расположение трех тяжелых палуб вызывало сильную бортовую качку, и нередко орудия нижней палубы (в основном это касалось английских кораблей) оказывались ниже ватерлинии.

Наиболее безопасной считалась самая нижняя палуба (орлоп-дек). На ней размещался лазарет, который редко пустовал во время жестоких сражений и в котором проводились безотлагательные ампутации и обрабатывались раны. На английских кораблях орлоп-дек был обычно выкрашен красной краской, на которой были менее заметны пятна крови, стекающей с хирургического стола. На линейном корабле «Сантисима Тринидад» над хирургическим столом на переборке висело большое распятие, символ религиозной веры, за которую многие отдавали руку, ногу или даже жизнь. На самой нижней палубе находился также склад боеприпасов, в котором хранились готовые к использованию заряды для орудий.

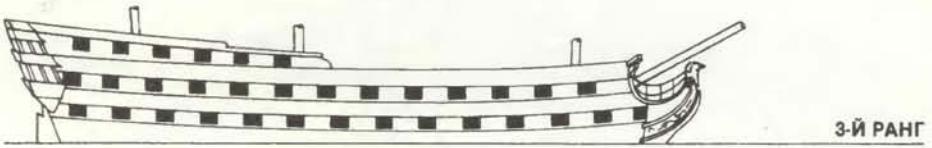
ДЛЯ того чтобы уменьшить бортовую качку, корпус испанского навио строился таким образом, что ширина нижней палубы была больше, чем ширина средней и верхней палуб. Естественно, нижняя палуба была более устойчивой, и на ней устанавливалась самая большая пушка (длиной 3 м), стрелявшая 32-фунтовыми ядрами. На корабле «Сантисима Тринидад» было 30 таких пушек, по 15 с каждого борта. С близкого расстояния ядро пушки могло пробить борт из дуба толщиной около 1 м. Два или три ядра могли нанести вражескому судну серьезные повреждения. 32-фунтовое ядро способно



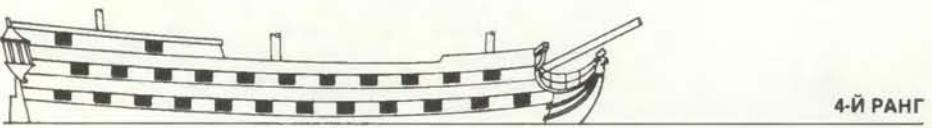
1-Й РАНГ



2-Й РАНГ



3-Й РАНГ



4-Й РАНГ



5-Й РАНГ



6-Й РАНГ

КЛАССИФИКАЦИЯ КОРАБЛЕЙ по рангам основывалась на количестве орудий и орудийных палуб. Военные корабли 1-го ранга были самыми мощными. Большинство из них имело от 80 до 110 орудий на трех орудийных палубах. Корабли 2-го ранга — от 80 до 98 орудий на трех палубах, а 3-го ранга — от 74 до 80 на двух палубах. К линейным относились корабли только этих трех рангов. Корабли 4, 5 и 6-го рангов были легче и потому более быстроходными. Они использовались как крейсера и для почтовой связи. Корабли 4-го ранга имели от 50 до 60 орудий на двух палубах, 5-го ранга — от 32 до 44 пушек на единственной палубе и 6-го ранга — от 20 до 28 пушек тоже на одной палубе.

было поразить цель на расстоянии до 1,5 мили.

На средней и верхней палубах кроме пушек находилась большая часть жилых помещений для команды. Койки подвешивались между орудиями и перед боем складывались и убирались. В средней части корабля размещался камбуз, на единственный зачастую плиту которого матросы готовили пищу и кипятили воду. Команда испанского навио была чересчур многочисленной и состояла как из профессиональных моряков, так и из людей, не имеющих опыта мореплавания. Команда корабля «Сантисима Тринидад» во время участия в Трафальгарском сражении состояла из 1200 матросов и солдат морской пехоты, многие из которых еще только выздоравливали после эпидемий малярии и холеры, свирепствовавших на юге Испании в 1802—1804 гг. Для сравнения: команда английского корабля 1-го ранга «Виктори» состояла всего из 900 профессиональных моряков.

В противоположность тесным и душным матросским кубрикам в распоряжении офицерских чинов были отдельные, удобные каюты, мало отличающиеся от фешенебельных апартаментов, в которых они жили на берегу, и роскошный салон в кормовой части, где к их услугам был изысканный стол. Часто меткий залп по корме навио с английского корабля превращал всю эту роскошь в груду обломков.

Большая численность команды была необходима не только во время сражений: все работы на корабле производились вручную. Перед выходом в море матросы доставляли на борт все необходимое: боеприпасы, провиант и даже пушки. В пути приходилось постоянно то поднимать, то убирать паруса, что было делом весьма трудоемким. Помпы, установленные на средней палубе для того, чтобы откачивать воду из трюмов, также приводились в действие вручную. Во время боя в работу включались дополнительные помпы для тушения пожара и смывания с палубы крови. Тали, служившие для подъема на борт груза, выборки или отдачи якоря и установки парусов, тоже нужно было вращать вручную.

ВОЛТИЧИЕ от англичан испанцы и французы рассматривали военные корабли как боевые платформы для солдат и орудий. Эта стратегия часто приводила к тому, что дисциплина на испанских кораблях отсутствовала, что, по моему мнению, и было одной из причин поражения Испании в Трафальгарской битве. В принципе боевая тактика испанцев сводилась к тому, чтобы меткими залпами снести мачты вражеских кораблей. Подбитое судно брали на абордаж.

Тактика же англичан была иной. Она

заключалась в том, чтобы целиться в корпус корабля. Отчасти из-за того, что английские корабли были больше подвержены качке, англичане первыми заменили традиционный фитиль для запала на кремневый запал. Это позволяло поджигать заряд почти мгновенно, что увеличивало вероятность попадания ядра в цель прежде, чем корабль в очередной раз начнет крениться.

Во всех случаях боевые действия предпринимались с учетом того, что пушки XVIII в. наиболее метко стреляли прямой наводкой. Когда навио удавалось совершить удачный маневр и подойти к вражескому кораблю с кормы, было достаточно одного залпа из нескольких 32-фунтовых пушек, чтобы снести богато увенчанную, но слабо защищенную корму. Более того, такой залп мог вывести из строя пушкарей на палубе, опрокинуть тяжелые пушки и, разбив деревянную обшивку в обломки, усеять палубу горящими кусками дерева, которые были не менее опасны, чем смертоносные снаряды.

Когда два враждующих военных корабля оказывались борт о борт, дула пушек убирались внутрь через порты; залпы производились изнутри и обладали огромной разрушительной силой. Грохот залпов, разносившийся по палубам, был настолько мощным, что иногда матросы навсегда лишались слуха. Раскаленные докрасна ядра затачивали в жерла орудий при помощи специальных ручных приспособлений. После каждого залпа откатившуюся раскаленную пушку надо было вручную устанавливать на прежнее место. В сплошном дыму от орудий пушкари часто, не видя откатывающейся назад пушки, попадали под ее колеса.

Скопление мощной боевой техники на борту испанских навио не снижало способности этого типа судов выдерживать близкий бой в течение длительного времени. «Сантисима Тринидад», например, являлся флагманским кораблем испанцев во время блокады Гибралтара в 1779—1782 гг., сражался у мыса Сент-Винсент в 1797 г., а также при Трафальгаре. Двойные и даже тройные залпы с борта английских кораблей не смогли потопить судна. И хотя победа осталась за Англией, большая огневая мощь испанцев нанесла английскому флоту большой урон.

БЫЛО бы несправедливо говорить только о боевых подвигах испанских навио, не упомянув об их огромной роли в области географических исследований и открытий. Организованные Карлом III кругосветные экспедиции были не менее важны для науки, чем путешествия Джеймса Кука и Джорджа Ванкувера. Целью этих экспедиций было изучение биологии морей, получение океанографических данных и совершенствование техники судовожде-

ния. Капитаны кораблей, а также ботаники, географы и картографы, принимавшие участие в плаваниях, составляли подробные отчеты о своих наблюдениях. Многие испанские капитаны, участвовавшие в Трафальгарском сражении, были не только искусными военными стратегами, но и отличными штурманами, исследователями, картографами и математиками. Например, имя капитана Дионисио Алькала Гальяно, славного навигатора, увековечено в географических названиях на картах Чили и Канады. Бригадир дон Космэ Дамиан Чуррука был известен не только трудами в области навигации и математики, но и исследованиями западного побережья Южной Америки. Как и для адмирала Нельсона, Трафальгарское сражение стало последним в жизни этих двух капитанов.

Издательство МИР предлагает:

МОНОКЛОНАЛЬНЫЕ АНТИТЕЛА К АНТИГЕНАМ НЕРВНОЙ ТКАНИ

Под ред. Р. Мак-Кея, М. Рэффа,
Л. Рейхардта

Перевод с английского

Содержание: Моноклональные антитела для выявления субпопуляций глиальных клеток в мозжечке, белковых субъединиц филаментов, компонентов мембран, молекул на поверхностях нейронов. Моноклональные антитела к ферментам, синтезирующим нейромедиаторы катехоламинового ряда. Иммунохимические методы очистки и исследования глиального ростового фактора. Исследование взаимодействия тиреотропного гормона с рецептором, а также структуры синапсов с использованием моноклональных антител. Метод моноклональных антител в изучении функций сетчатки и нервно-мышечных контактов.

Книга предназначена для специалистов в области нейробиологии, иммунологов, для студентов и преподавателей биологических факультетов вузов и медицинских институтов.

1984, 18 л. Цена 3 р.



Наука вокруг нас

Вокруг тела,
которое колеблется в жидкости,
образуются краевые волны,
расходящиеся от тела как спицы в колесе

ДЖИРЛ УОЛКЕР

ПРИРОДА краевых волн (edge waves) до сих пор еще плохо понята. Впервые на них обратил внимание энергичный и любознательный исследователь Майкл Фарадей (известный прежде всего как один из создателей учения об электромагнетизме). Это было 1 июля 1831 г. Погрузив в воду одним концом деревянную дощечку, Фарадей заставил ее выбиривать и обнаружил, что на поверхности воды «образуются возвышения, которые отходят от дощечки на расстояния 1/3 или 1/2 дюйма или дальше и похожи на зубья редкой гребенки».

На следующий день Фарадею удалось получить краевые волны, создавая колебания в стеклянном стакане, почти доверху наполненном водой. Смочив палец, Фарадей водил им по кромке стакана, так что тот начинал выбиривать. При этом на воде образовывались краевые волны, гребни которых тянулись от стенок к центру стакана. Такую же картину можно наблюдать в том случае, когда кто-нибудь водит пальцем по кромке бокала с вином (или с другой жидкостью), для того чтобы заставить бокал гудеть.

Я буду говорить о краевых волнах, опираясь на результаты исследований К. Гарретта из Института геофизики и физики планет Калифорнийского университета в Сан-Диего, а также Дж. Мэхууни, Б. Барнarda и У. Притчарда из Эссексского университета. Кроме того, Р. Апфель из Йельского университета не так давно приспал мне свою рукопись, где также изложены результаты его опытов по изучению краевых волн. Я начну свою статью с анализа опытов Фарадея, поскольку их можно воспроизвести, не выходя из кухни. Затем опишу собственные опыты с использованием волнопродуктора, который не трудно отыскать в любой школьной лаборатории.

В своих первых опытах Фарадей заставлял дощечку колебаться, постукивая по ней пальцем, или же приставляя к ней стеклянную палочку, по которой водил мокрым пальцем (палочка при этом выбиривала). Нижняя часть дощечки колебалась параллельно поверхности воды и создавала на ней волны.

Волны на воде можно разбить на два

класса. Если поведение волн определяется силой тяжести, то они называются гравитационными; длина гравитационных волн относительно велика. Если же определяющим фактором для волн является поверхностное натяжение, то такие волны называются капиллярными; они имеют относительно небольшую длину. Волны, которые в опытах Фарадея разбегались в разные стороны от дощечки, представляли собой обычные капиллярные волны.

Наряду с ними, однако, возникали четыре гребня краевых волн, перпендикулярные плоскости дощечки. Фарадей довольно быстро заметил, что, хотя гребни и не меняли своего положения, они не были неподвижны: гребни то возникали, то исчезали, но происходило это настолько быстро, что создавалась иллюзия неподвижной картины. Соседние гребни поднимались и опускались в противофазе друг с другом: когда один гребень рос, другой уменьшался.

Для другого опыта Фарадей использовал большой стакан, почти доверху наполненный водой. Мокрый палец, которым экспериментатор водил по кромке стакана, двигаясь, слегка подпрыгивая, что заставляло стакан выбиривать. В результате в воде возбуждались краевые волны. В каждый момент можно было указать четыре точки на кромке стакана, вблизи которых волны практически отсутствовали. Одна из точек всегда находилась под пальцем; остальные три располагались на расстоянии 90, 180 и 270 угловых градусов от нее. В секторах между этими точками волны были значительными. По мере того как палец скользил по кромке стакана, за ним, поворачиваясь, следовала вся картина волн.

Для генерации краевых волн Фарадей использовал также камертон. Ударив по нему, Фарадей погружал его в воду. Если камертон выбиривал слишком сильно, то поверхность воды покрывалась беспорядочными всплесками. Если вибрация камертона была слишком слабой, то на поверхности возникали обычные капиллярные волны. Взаимное наложение (интерференция) этих волн создавало иногда стоячую рябь между ножками камертона,

но это не были краевые волны. Последние возникали в том случае, когда камертон колебался с определенной амплитудой. Краевые волны тянулись от ножек камертона и в некоторых случаях даже затушевывали картину, созданную капиллярными волнами.

Выбирирующий камертон возбуждал краевые волны в чернилах, ртути, подогретом и жидким желе. В ртути волны существовали недолго: тяжелый металл быстро гасил колебания камертона. В холодном масле волны вообще не возникали, так как эта среда очень вязкая.

Спустя какое-то время Фарадей вернулся к опытам, в которых предмет колебался в горизонтальной плоскости. Закрепив один конец деревянной палочки, Фарадей другим концом окунул палочку в сосуд с водой. Выбириющая палочка создавала краевые волны. По мере ее погружения число волн уменьшалось, зато они становились лучше выраженными. Если палочка выбиривала слишком сильно, поверхность воды взбаламучивалась.

К нижнему концу палочки Фарадей прикрепил пластинку размером 10 × 20 см. Палочка приводила пластинку в движение и та колебалась в горизонтальном направлении, толкая воду всей плоскостью. При этом у обеих сторон пластиинки возникали гребни краевых волн.

Соседние гребни у одной и той же стороны пластиинки появлялись и исчезали в противофазе друг с другом. Движения гребней по разные стороны от пластиинки были, похоже, не связанны между собой. Когда пластиинка сидела в воде неглубоко, она выбиривала быстро и гребней возникало много. Если же пластиинку погружали глубже, ее колебания замедлялись, и число гребней уменьшалось.

Насыпая на поверхность воды провковую крошки и пудру, Фарадей пытался изучить течения в области, занятой краевыми волнами. Ни в одном из опытов плавающие частицы не образовывали регулярный рисунок. Это означало, что установившиеся течения в волнах не было.

Краевые волны могут возбуждаться и колебаниями тела в вертикальной плоскости. В одном из опытов Фарадей закрепил деревянный стержень в горизонтальном положении, а к его концу приkleил пробку от бутылки, которую опустил в воду. Палочка выбиривала, заставляя пробку колебаться в вертикальном направлении. «Вокруг пробки возникали прекрасно выраженные гребни длиной 2, 3 и даже 4 дюйма». Если пробку погружали глубже, гребни становились меньше.

Апфель описывает, как он наблюдал краевые волны в бокале с вином, по кромке которого он водил пальцем. При таком движении палец попадал-

но то скользит по стеклу, то прилипает к нему, благодаря чему и возникают вибрации стенок. Из вибраций, или волн, различных частот лишь одна вызывает сильные радиальные колебания стенок бокала. Частота такой волны, совпадающая с собственной частотой колебаний бокала, называется резонансной.

При резонансе на кромке бокала имеются четыре точки, расположенные на равном расстоянии друг от друга, где стеклянки остаются неподвижными. На участках между этими точками радиальные колебания очень сильны. Колебания стенок передаются жидкости, в которой возникают хорошо выраженные краевые волны.

Волны можно увидеть только в бокале, наполненном почти до краев. Дело в том, что лишь верхняя часть бокала выбирает достаточно сильно. Дно, к которому прикреплена ножка, практически не колеблется.

Резонансная частота бокала зависит от материала, из которого он сделан, от его размера и от того, сколько жидкости в него налито. Пустой бокал имеет более высокую резонансную частоту. Доливая вино, вы увеличиваете общую массу, которой передаются колебания, в результате чего колебания стенок замедляются и резонансная частота уменьшается.

Картина, которую создают краевые волны, поворачивается вслед за движущимся пальцем. Это затрудняет наблюдение. Для того чтобы остановить

картину в поле зрения, Апфельставил бокал на врачающийся диск электро-проигрывателя, а для того чтобы на фотографии картина выглядела более четкой, он покрасил бокал в черный цвет. Наполнив бокал водой почти до краев, Апфель прижал к его стенке мокрую губку и таким образом создавал вибрацию стенок. В другом опыте Апфель заменил бокал десертным блюдом, наполненным этиленгликолем. Блюдо диаметром 20 см имело резонансную частоту около 200 Гц.

Барнард и Притчард поставили эксперимент, использовав лоток с водой шириной 30,6 см, глубиной 16 см и длиной 2,7 м. Волны генерировались с помощью лопатки, которая, подобно откидному сиденью, могла вращаться в шарнире, укрепленном на дне бака у его узкой стенки. Конец лопатки высаживался из воды. Пологий уступ на другом конце лотка (напоминающий морскую отмель в миниатюре) предназначался для поглощения приходящих сюда капиллярных волн: волны уже не могли отражаться от этой стенки иозвращаться в область, занятую краевыми волнами. Лопатка приводилась в движение электромагнитным толкателем.

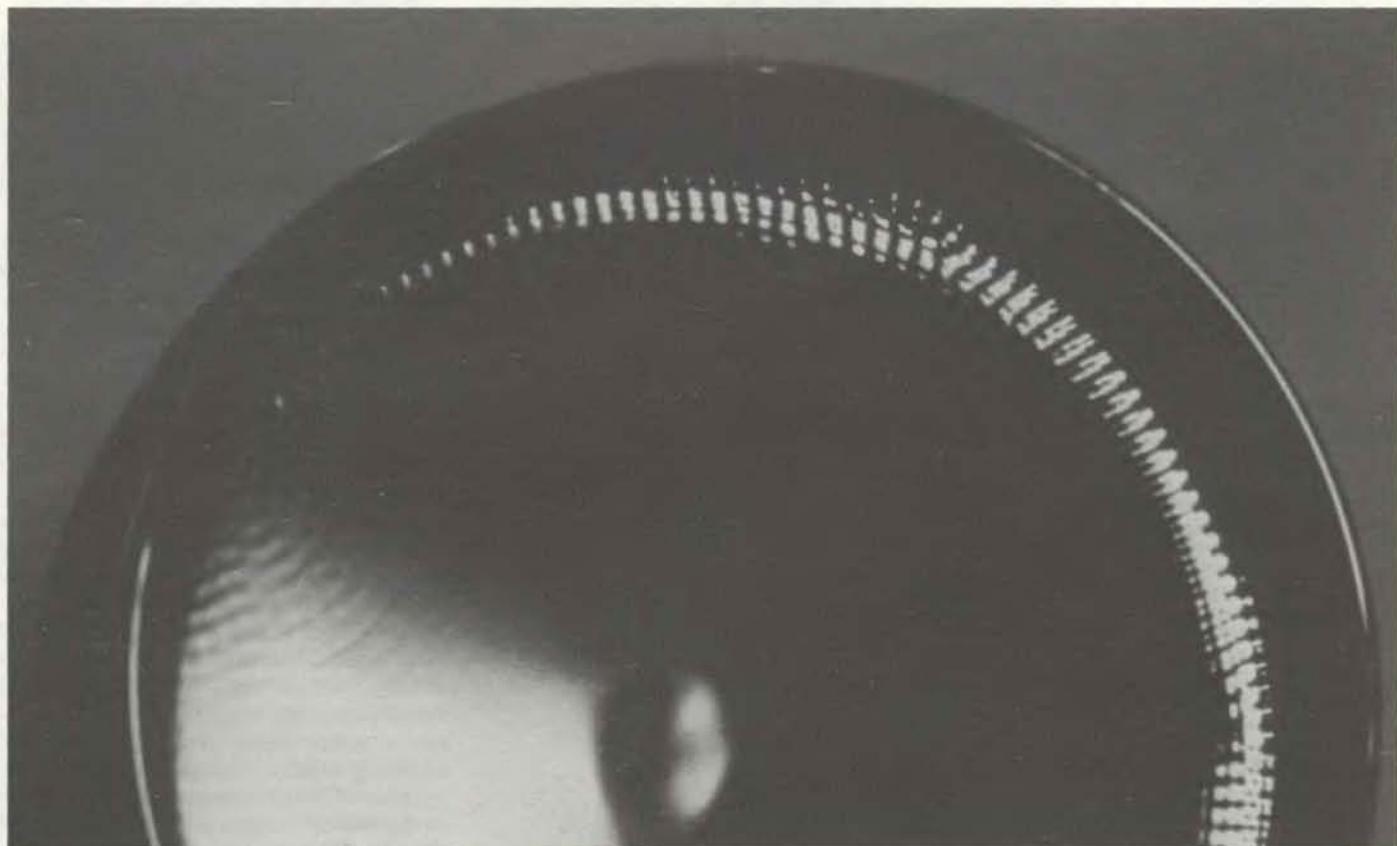
При определенной частоте колебаний на поверхности воды около лопатки появлялись гребни краевых волн. Как и в опытах Фарадея, эти гребни были перпендикулярны плоскости лопатки. При более частых колебаниях гребней было больше. У самой лопатки высота гребней была наибольшей, с

расстоянием от лопатки она уменьшалась.

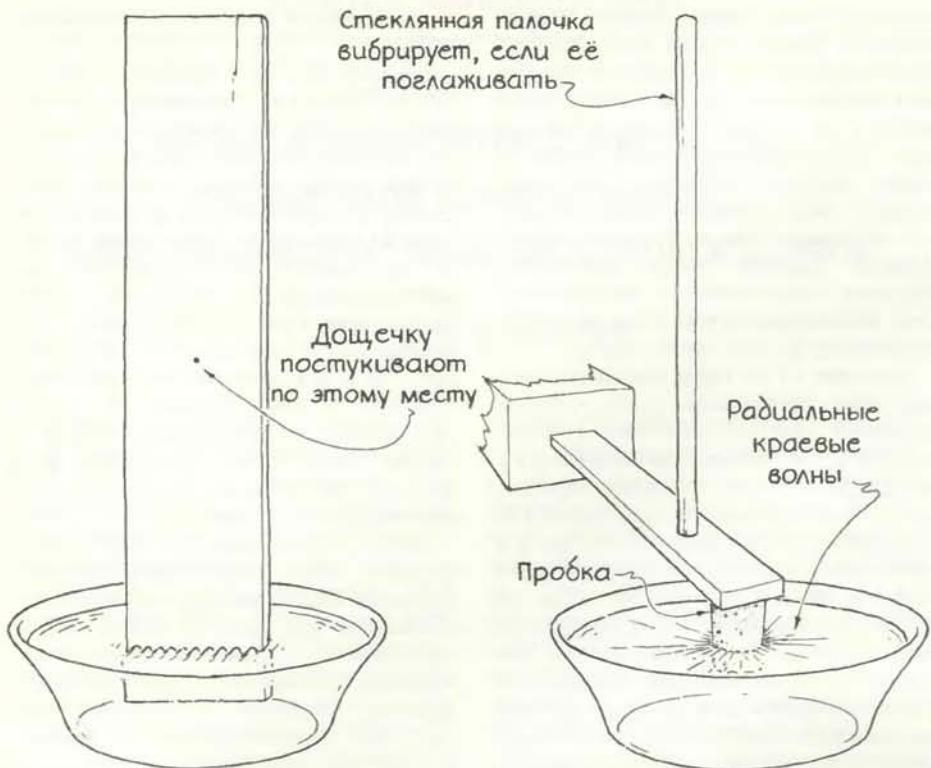
Краевые волны появлялись только вблизи лопатки. Любопытно также, что в отличие от обычных капиллярных волн они не возникали сразу в тот момент, когда лопатка начинала колебаться. Гребни начинали подниматься из воды спустя некоторое время, иногда через минуту, причем вначале они росли медленно, а затем быстро. Гребни то вырастали, то пропадали, т.е. колебались в вертикальном направлении. Высота их изменялась периодически (см. верхний рисунок на с. 77). Как правило, высота отдельно взятого гребня изменялась от наибольшего значения до наименьшего и опять до наибольшего примерно за 50 с.

Теоретические расчеты Гарретта и Мэхуэни отчасти объясняют эти наблюдения. Исследователи пришли к заключению, что краевые волны могут возбуждаться только волнопродуктором типа колеблющейся пластинки или лопатки. Обычные капиллярные волны, распространяющиеся от волнопродуктора, не принимают участия в образовании краевых волн; последние наблюдаются независимо от них.

Давление, создаваемое колеблющейся пластинкой, порождает неустойчивость движения воды. Частично эта неустойчивость «снимается» обычными капиллярными волнами. Стационарная картина, которую образуют краевые волны, — это другое проявление неустойчивости. То, что гребни крае-



Краевые волны, создаваемые вибрациями в жидкости



Опыты Фарадея по изучению краевых волн



Как получить краевые волны в бокале

вых волн отходят лишь на небольшое расстояние от колеблющейся пластинки, определяется не энергетическими потерями, а характером распространения в воде возмущений давления, создаваемых пластинкой.

Краевые волны дают пример параметрического резонанса — явления, которое связано с дифференциальным уравнением особого вида, описывающим краевые волны. Характерным признаком параметрического резонанса служит то, что частота одного колебательного процесса (в данном случае краевых волн) равна половине частоты другого процесса (в данном случае колебаний пластинки). Лопатка толкает воду, создавая в ней напряжения, которые частично снимаются за счет возбуждения краевых волн, имеющих частоту, равную половине частоты колебаний пластинки.

Каждый толчок пластинки передает краевым волнам очередную порцию энергии. Спустя некоторое время волны достигают максимально возможной величины и направление потока энергии меняется на обратное.

Такое периодическое обращение потока энергии между двумя процессами также характерно для параметрического резонанса и в данном случае объясняет, почему меняется во времени высота гребней. Высота достигает наибольшего значения, когда энергия направлена от пластинки к волнам, а наименьшего — когда волны передают энергию пластинке.

Я для начала проделал несколько простых опытов с краевыми волнами в бокале, наполненном водой. Волны образовывались, когда я осторожно водил пальцем по кромке бокала. Для того чтобы убедиться, что эти волны могут существовать длительное время, я «облучал» бокал звуком из динамика, который подключил к звуковому генератору. Ножку бокала я приkleил липкой лентой к столу. Конус динамика касался кромки бокала. Таким образом, я мог контролировать частоту и силу вibrаций.

Когда я настраивал звуковой генератор на собственную частоту колебаний бокала, немедленно возникали обычные капиллярные волны в виде кругов, сходящихся к центру бокала. Спустя 30 с или больше у стенки бокала начинали образовываться гребни краевых волн длиной около 1 см, вытянутые к центру бокала. Вначале гребни росли медленно, затем быстро. Они оказались весьма «хрупкими» и исчезали, когда я, делая записи, неосторожно толкал стол. Вскоре после этого, однако, они появлялись вновь. Если звуковой сигнал был не слишком мощным, краевые волны окружали центральную относительно спокойную область воды. По мере увеличения мощности сигнала гребни вытягивались к центру, со-

здавая сложную картину ряби.

Повернув динамик конусом вверх, я укрепил на нем часовое стеклышко, в которое налил воды. Краевые волны не появлялись. Это было связано, скорее всего, с тем, что я не мог добиться резонанса с колебаниями стеклышка.

Затем я решил получить краевые волны с помощью прибора для массажа, который представляет собой обычный вибратор. Прибор, опущенный в воду, сразу же создал расходящиеся круги капиллярных волн; затем вокруг него появилась картина, образованная краевыми волнами. Картина медленно поворачивалась по часовой стрелке, вероятно, из-за того, что прибор создавал несимметричные вибрации.

Остальные опыты я проводил с устройством, которое часто используется в школьных лабораториях для демонстрации интерференции волн. От этого устройства я отсоединил электромотор, который прикрепил к кольцевому основанию. К оси мотора присоединялся стержень, расположенный вертикально. Когда мотор вращался, нижняя часть стержня вибрировала в горизонтальной плоскости.

Из металлического листа я вырезал пластинку прямоугольной формы, которую покрасил в черный цвет, чтобы на ее фоне волны были лучше видны. Посередине верхнего края пластиинки я приклеил гвоздь (шляпкой), острое которого укрепил с помощью винта в отверстии в нижней части стержня. Мотор я расположил на такой высоте, чтобы пластиинка была погружена в воду на несколько миллиметров. В качестве бака я использовал стеклянное блюдо. Когда мотор вращался, пластиинка колебалась в горизонтальной плоскости. Увеличивая напряжение на электромоторе, я мог увеличивать частоту колебаний пластиинки.

ДОЛЖЕН ПРЕДУПРЕДИТЬ, ЧТО ТАКИЕ ОПЫТЫ ОПАСНЫ! Вы должны следить за тем, чтобы электромотор и все электрические соединения и цепи были сухими. Если пластиинка начинает разбрызгивать воду, немедленно отключите ток.

Вначале я постепенно увеличивал напряжение, пока мотор не начал вращаться. После этого я мог следить за формированием краевых волн. Поскольку волны появлялись медленно, я каждый раз, перед тем как в очередной раз повысить напряжение, выдерживал паузу.

Пластиинка колебалась достаточно быстро, для того чтобы гребни краевых волн могли подняться из воды. Перед пластиинкой возникали четыре гребня, которые тянулись от нее на расстояние около сантиметра. Такая же картина наблюдалась и с другой стороны пластиинки. При дальнейшем увеличении частоты колебаний образовалось пять гребней.

Чтобы увидеть течения на поверхно-

Наибольшая высота гребня (энергия волны максимальна)

Наименьшая высота гребня (энергия волны минимальна)

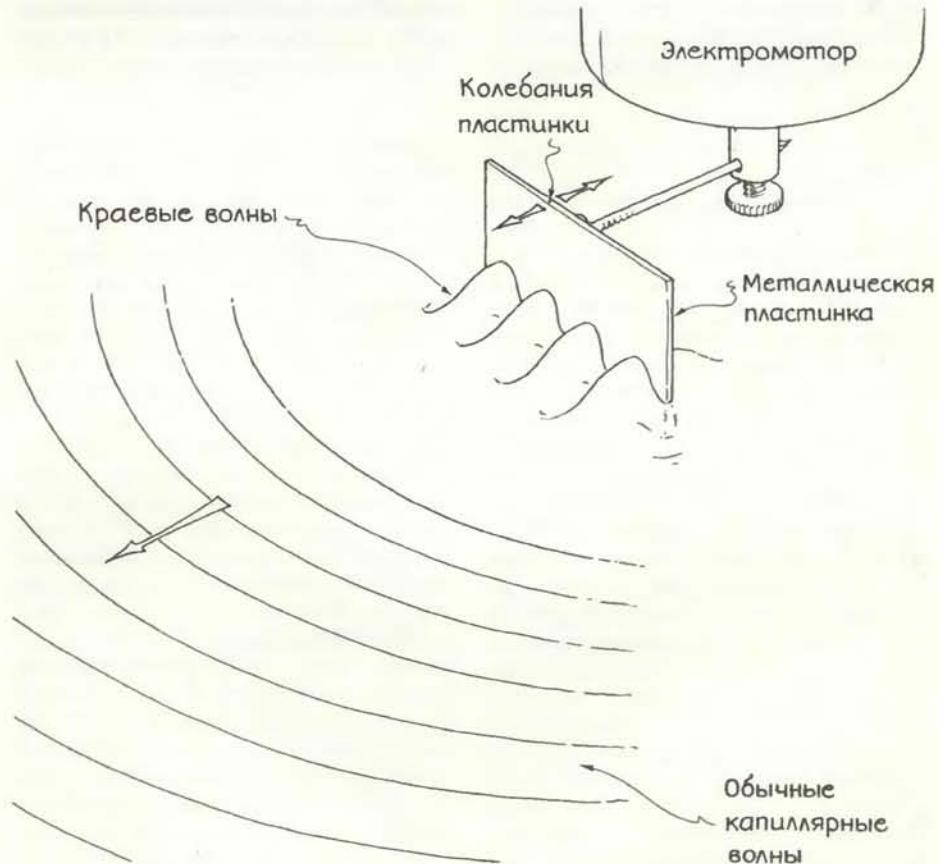
Изменение высоты гребней во времени

сти воды, я насыпал на нее черный перец. Мои наблюдения, как и опыты Фарделя, не выявили регулярных течений. Волны я рассматривал сбоку (так что пластиинка двигалась вправо-влево). Ближайший гребень напоминал «обтеченный» горб. Я пробовал погружать в гребни различные предметы. Волны при этом оставались устойчивыми даже в тех случаях, когда препятствие стояло поперек гребней.

Для того чтобы видеть картину яснее, я затемнял комнату и включал стробоскопическое освещение. Когда частота вспышек лампы стробоскопа совпадала с частотой колебаний пластиинки, последняя казалась неподвижной. Краевые волны продолжали коле-

баться, поскольку имели частоту, равную половине частоты колебаний пластиинки. В момент каждой вспышки из четырех гребней были видны только два. Если, допустим, самый левый из четверки гребней в некоторый момент наблюдался, то соседнего с ним не было, следующий был виден, а самый правый отсутствовал. Во время следующей вспышки картина менялась.

Хотя подъем и опускание гребней должны были быть заметны при стробоскопическом освещении, они происходили слишком быстро, чтобы за ними можно было следить. Не смог я обойти эту трудность, и уменьшив вдвое частоту вспышек лампы. Пластиинка при этом казалась по-прежнему



Домашние опыты по наблюдению за краевыми волнами



Гребень капиллярной волны лежит в плоскости пластинки

Следующий гребень капиллярной волны лежит в плоскости пластинки

Как образуется гребнеобразная структура

неподвижной, но теперь каждая вспышка выхватывала из темноты одну и ту же картину.

В конце концов я подобрал такую частоту вспышек, чтобы она была несколько меньше частоты колебаний пластиинки. Вспышки освещали медленно изменяющуюся картину: два гребня (те, что в предыдущем опыте я видел первыми) постепенно уменьшались, а два других росли. Достигнув максимальной высоты, вторая пара начинала уменьшаться, а первая появлялась на поверхности. В этом опыте изменения казались медленными и следить за ними было легко.

Благодаря стробоскопу я понял, как образуется у пластиинки гребнеобразная структура. Она возникает в результате наложения обычных капиллярных волн и краевых волн. Верхний рисунок

на с. 78 иллюстрирует два случая, когда пластиинка максимально выдвинута вперед и гребень капиллярной волны располагается в плоскости пластиинки. В первом случае гребень собственно краевой волны (перпендикулярной пластиинке) располагается в левой части пластиинки. Это возвышение поверхности складывается с гребнем обычной капиллярной волны, и их наложение создает результирующий гребень, который примыкает к пластиинке. Другой результирующий гребень образуется несколько правее.

Вторая половина рисунка отвечает моменту, когда пластиинка, уже после того как отошла назад, вновь выдвинулась вперед и гребень следующей капиллярной волны тоже оказался лежащим в плоскости пластиинки. И в этом случае результирующие гребни образу-

ются за счет наложения краевых волн и обычных капиллярных волн. Краевая волна колеблется в два раза медленнее обычной капиллярной волны и поэтому не успевает занять прежнее положение. В результате у левого края пластиинки возникает впадина краевой волны. Результирующие гребни, образующиеся в этом случае, смешены по отношению к гребням, образовавшимся в предыдущий момент, когда пластиинка была также выдвинута вперед. Соответственно еще через один цикл движения пластиинки возникает первоначальная картина гребней.

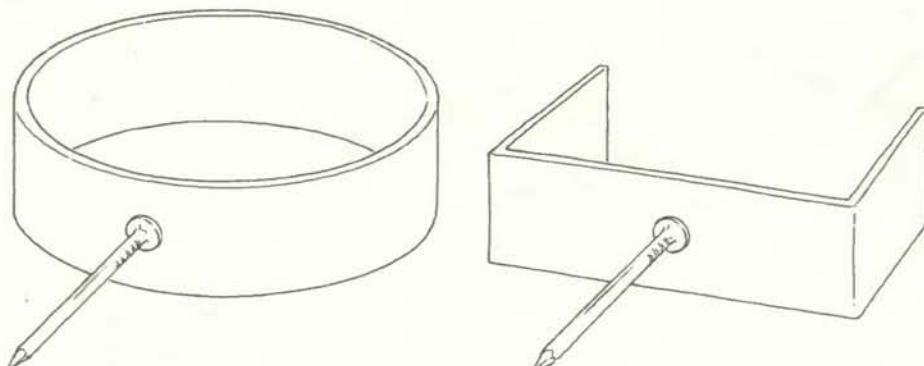
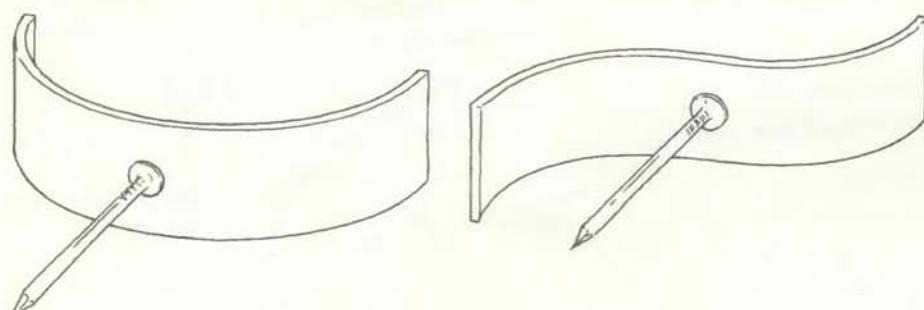
Я изготовил несколько пластиинок различной формы. Одну я согнул полукругом и приклеил гвоздь шляпкой к ее выпуклой стороне. Краевые волны появлялись с обеих сторон этой пластиинки. Другой пластиинке я придал S-образную форму, так что ее фронтальная поверхность имела и выпуклую и вогнутую части. Большой гребень краевой волны появлялся в этом случае у вогнутой стороны, меньший — у выпуклой. Посередине нижнего края третьей пластиинки я сделал небольшую прорезь. Эта пластиинка также создавала краевые волны.

Еще одну пластиинку я согнул буквой П, а гвоздь приклеил к средней части, так что ножки буквы П смотрели вперед. Краевые волны появлялись у обеих сторон средней части пластиинки, но у плоскостей, которые двигались в воде в продольном направлении, волны отсутствовали.

Последнее приспособление, которое я использовал для создания краевых волн, был обруч, который я разыскал на кухне. Когда обруч двигался в воде горизонтально, краевые волны возникали у его внутренней поверхности и в некоторых местах у его внешней поверхности. Волны были не очень велики, поскольку из-за большой массы обруча мотор работал неустойчиво.

После этих опытов я вновь установил плоскую пластиинку и исследовал образование краевых волн при постепенном увеличении напряжения на обмотках электромотора, которое приводило к увеличению частоты колебаний. Я повышал напряжение ступенчатым образом, каждый раз некоторое время выжидая, поскольку краевые волны развиваются медленно.

Когда краевые волны устанавливались, я начинал уменьшать напряжение (а значит, и частоту колебаний пластиинки). Волны тем не менее продолжали существовать. Они не исчезали и тогда, когда напряжение было гораздо меньше того, при котором они возникали. Ясно, что частота колебаний пластиинки, необходимая для поддержания краевых волн, меньше, чем та частота, при которой эти волны возбуждаются. Объяснение, вероятно, заключается в



Различные пластиинки для возбуждения колебаний в жидкости

Занимательный компьютер

Акулы и рыбы ведут экологическую войну на тороидальной планете Аква-Тор

А. К. ДЬЮДНИ

том, что для возбуждения краевых волн требуются довольно большие затраты энергии. Если я продолжал уменьшать напряжение, то краевые волны также начинали медленно уменьшаться. Время, за которое они исчезали, было примерно таким же, как и время, за которое они устанавливались.

Я проследил за периодическим обменом энергией между краевыми волнами и пластинкой в установленном режиме. Для того чтобы видеть реальную картину гребней, я включил комнатное освещение, а затем измерил время между двумя моментами — одним, когда высота гребня была наибольшей, и другим, когда эта высота была наименьшей. Это время оказалось равным 14 с.

После этого я налил на поверхность воды немного кукурузного масла. Первые несколько капель растеклись и образовали тонкий слой. Потом масло собралось в виде больших пятен, толщина которых постепенно достигла нескольких миллиметров.

В течение нескольких минут после того, как я налил масло, краевые волны оставались прежними. Затем они исчезли. Сначала я решил, что вязкость масла слишком велика. Потом мне пришло в голову, что в исчезновении волн виновата смесь капелек воды и пузырьков воздуха в масле, взбитая пластиинкой. Проверить догадку я смог, подождав, пока смесь не рассосалась и слой масла не стал однородным. Когда я после этого включил мотор, краевые волны образовались вновь.

Могут ли краевые волны возникать на границе между водой и маслом? Частично выдвинув блюдо за край стола, я получил возможность наблюдать через стеклянное дно за границей раздела. Краевые волны не появлялись там даже в том случае, когда на поверхности масла они были весьма заметны.

Наконец я вылил на поверхность воды целый флакон одной лечебной мази. На сей раз краевые волны не появились. То ли мазь была слишком вязкой, то ли мотор слишком слабым для того, чтобы пластиинка могла сильно колебаться в такой густой среде.

Понаблюдайте за краевыми волнами в других жидкостях. Возможно, вам удастся обнаружить их на границе раздела между двумя несмешивающимися жидкостями. Может оказаться, однако, что такая граница раздела не в состоянии поддерживать волновое движение.

ДИФРАКЦИОННЫЕ картинки, которые я предложил читателям расшифровать в предыдущем номере журнала, образованы буквами M O R I S N. Я имел в виду Филипа Моррисона, ведущего рубрику «Книги» в журнале «Scientific American».

ГДЕ-ТО в «стране развлечений», далеко-далеко — так далеко, как только может вообразить себе самый искусственный программист, среди звезд проплывает планета Аква-Тор. Она имеет форму тора, или бублика, полностью покрытого водой. Основные обитатели Аква-Тора — акулы и рыбы, названные так по наиболее похожим на них земным животным. Акулы поедают рыб, а для рыб на Акваторе всегда вдоволь пищи.

Такая простейшая экосистема могла бы показаться стабильной, почти застывшей, если бы не тот факт, что численность акул и рыб испытывает сильнейшие колебания. В прошлом неоднократно случалось так, что почти все рыбы были съедены, тогда как в другие периоды акулы почти вымирали от голода (даже при наличии большого количества рыб). Тем не менее и акулы, и рыбы выжили. Чтобы понять, почему так происходит, я разработал программу для моделирования процессов питания и размножения в этой системе.

Однако, прежде чем мне довелось увидеть эти экологические ритмы на экране дисплея (см. рисунок на с. 80), я провел немало времени в размышлениих об общих принципах и технических деталях программы АКВАТОР. Однажды за обедом ко мне за стол подсел Дэвид Визман, штатный «кудесник» по части системных программ в моем отделении Университета пров. Западный Онтарио. Рассказ о моем проекте вызвал загадочную улыбку на лице Магги (так называли Визмана). На следующее утро он гордо ввел меня в свой кабинет, чтобы продемонстрировать работающую программу.

«Смотри», — сказал он и нажал на клавишу. Сначала рыбы и акулы медленно блуждали от точки к точке вроде бы без всякой системы. Одни акулы, не сумев добыть пищу, исчезали, у других появлялось потомство, столь же прожорливое, как и родители. Несколько рыб, которым посчастливилось попасть в район без акул, расплодились и образовали огромный косяк. Вскоре некоторые акулы обнаружили этот косяк, расположились по его краям и набросились на рыбу, двигаясь внутрь косяка. Через несколько минут на экране появились статистические данные, показавшие, что в этот момент в системе было 578 рыб и 68 акул.

Какие-то люди заходили в кабинет Магги. Не прошло и пяти минут, как комната заполнилась. Все «болели» за акул. Постепенно кольцо из акул замкнулось вокруг несчастных рыб. В другой части экрана медленно разрастался, оставаясь незамеченным, еще один косяк рыб — пока небольшой. Когда большой косяк был окончательно уничтожен и акулы, умирая одна за другой, беспорядочно закружили в поисках добычи, по кабинету пронесся тяжелый вздох. Мне пришло в голову изменить правила так, чтобы акулы могли есть друг друга, но я понял, что это не продлило бы заметно их существование, и само появление второго косяка рыб было бы под вопросом. Наконец, две акулы наткнулись на этот косяк, и все началось сначала.

Программа для моделирования Акватора не длинна и ее нетрудно составить. Тем из читателей, у кого есть персональный компьютер, стоит заняться реализацией этого проекта. Их усилия будут вознаграждены, когда программа будет написана, отлажена и запущена. Перед пуском можно задать такие параметры, как время до появления потомства, допустимое время голодания и начальный размер популяции. После этого остается только ждать и наблюдать, как первоначально неорганизованная «смесь» рыб и акул постепенно приобретает черты экосистемы.

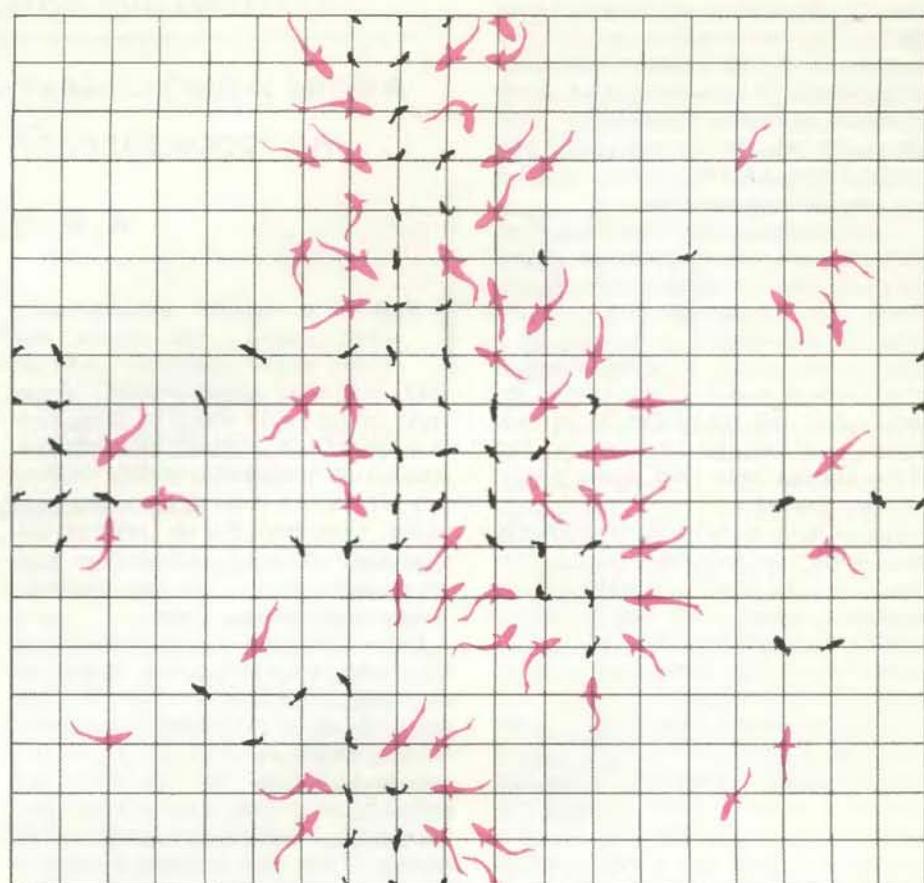
В программу АКВАТОР заложено несколько правил поведения акул и рыб. Оба представителя фауны плавают по «океану», имеющему вид прямоугольной решетки, причем узлы на противоположных сторонах прямоугольника попарно отождествлены. Это означает, что если рыба или акула находится в одном из самых правых узлов решетки и решает поплыть на «восток» (вправо), то она вновь появится в соответствующем узле на левом краю. Та же связь имеется между верхней и нижней границами. Получающееся в результате свернутое двумерное пространство и есть, в сущности, тор, т.е. совпадает с действительной формой поверхности Акватора (см. рисунок на с. 81). Размер решетки может выбираться по усмотрению составителей программы АКВАТОР. Например, в программе, разработанной Магги, которая выполнялась на

ЭВМ VAX, океан составлял 80 точек в ширину и 23 в высоту. В моей версии АКВАТОРа, написанной для персонального компьютера фирмы IBM, использовался более «скромный» по размерам океан — 32 на 14 точек.

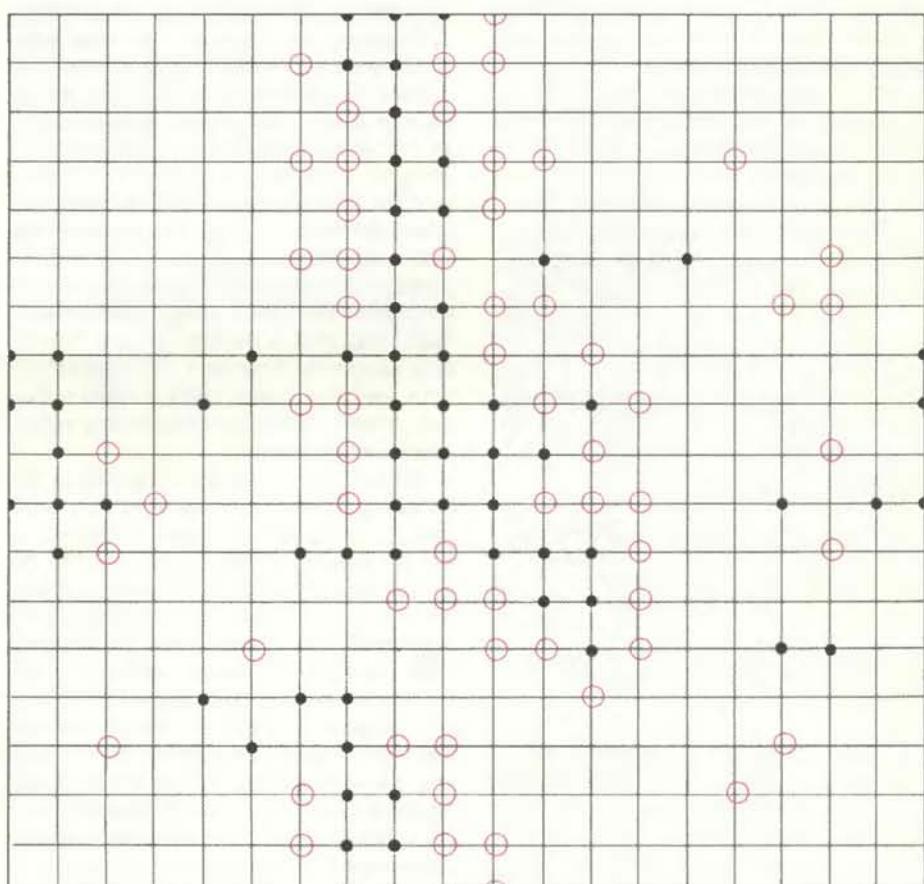
Согласно этой программе, время течет дискретными порциями, которые я назвал хрононами. За один хронон каждая рыба или акула может переместиться на «север», «восток», «юг» или «запад» в соседний узел решетки при условии, что этот узел не занят животным того же вида. Выбор конкретного перемещения осуществляется с помощью генератора случайных чисел. Для рыб правило простое — двигаться следует в один из соседних незанятых узлов, который выбирается случайным образом. Если все четыре соседних узла заняты, то рыба не двигается. Действия акул несколько сложнее, поскольку для них охота за рыбой предпочтительнее, чем простое перемещение. Акула выбирает случайно один из соседних узлов, в котором есть рыба, плывет туда и съедает ее. Если в ближайшей окрестности нет рыбы, то акула движется точно так же, как рыба, избегая своих собратьев-акул.

Для указания конкретной популяции составитель АКВАТОРа задает пять параметров. Параметры *nfish* и *nsharks* представляют собой начальное число рыб и акул. Программа случайным образом размещает указанное число рыб и акул более или менее равномерно по поверхности планеты. Параметры *fbreed* и *sbreed* показывают, сколько хрононов должна прожить соответственно рыба или акула до появления у нее одного потомка (оба вида размножаются, по-видимому, бесполым способом). Последний параметр, *starve*, определяет число хрононов, «отпущенное» акуле на поиски пищи. Если акула проплавает, не поев, хотя бы чуть больше времени, она гибнет. На протяжении каждого хронона программа перемещает каждую рыбку и акулу и отображает полученный результат на экране дисплея. Реализовав эти простые правила, можно наблюдать все перипетии богатой кризисами экосистемы Аква-Тора.

Мы с Магги не раз были свидетелями такого хода событий (определенного пятью перечисленными параметрами), когда океан Аква-Тора оказывался перенаселен рыбой, но заканчивалось все лишь тем, что размножающиеся акулы поедали всю рыбу и гибли сами. В других случаях мы наблюдали, как акулы съедали всю рыбу в одном большом косяке. Объевшиеся акулы в конце концов гибли, не заметив поблизости небольшой группы рыб. Иногда «хищники» и «жертвы» демонстрировали отношения взаимовыручки на протяжении двух или даже трех циклов, пока акулы не терпели окончательный крах. Одна-



Реалистическое изображение акул, поедающих рыб



Это изображение легче запрограммировать; кружочки соответствуют акулам, а точки — рыбам

ко значения параметров, которые были выбраны в этих ситуациях, не давали ни малейшего намека на такие характеристики, которые обеспечивали бы «нетупиковую» экосистему. Как же удалось уцелеть обитателям Акватора?

Говорят, что биология — это «сульба». Мы с Магги не можем устоять от искушения заявить, что экология — это геометрия, по крайней мере в случае планеты Акватора. Окончательная часть какого-либо экологического сценария, как нам кажется, не зависит от начального случайного распределения акул и рыб. Не зависит она и от конкретного способа выполнения случайных перемещений. Однако вероятность гибели популяции оказывается тесно связанной с геометрией расположения акул и рыб, отчетливо проявляющейся на экране дисплея: чем более организованными и локализованными становятся популяции, тем более вероятно, что экосистема планеты обречена на вырождение. Размышляя на эту тему, мы задались вопросом: как следует выбрать пять параметров, чтобы разрушить геометрический порядок? Внезапно нас осенило: если уж акулы сконцентрировались по краям косяка рыбы, то нарушить эту геометрию можно лишь одним способом — заставить акул размножаться реже, поскольку само скопление образуется в большей степени благодаря размножению, а не перемещению акул.

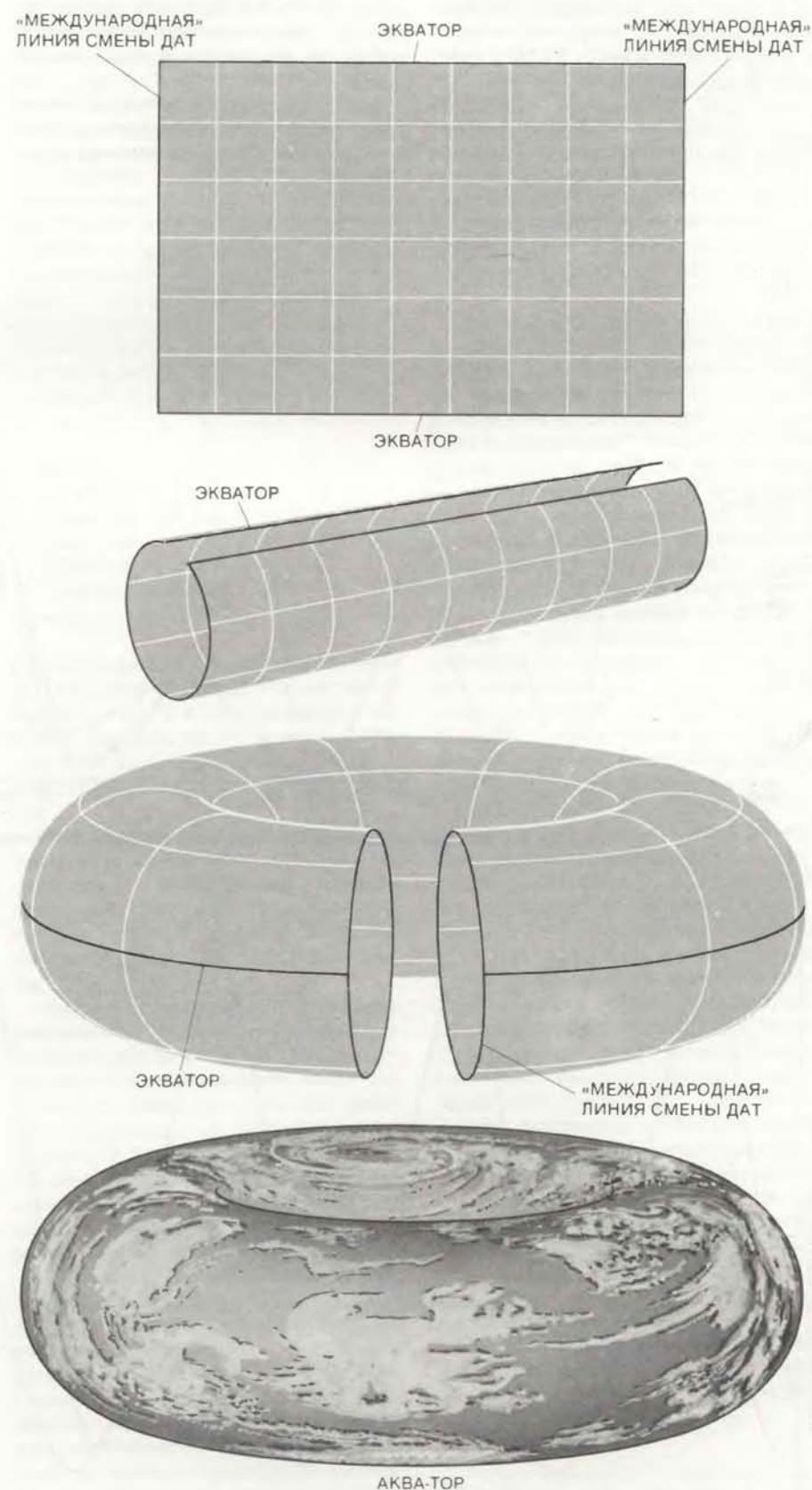
Прежде чем прийти к такому выводу, мы задавали для акул и рыб примерно равные времена размножения. Мы полагали, что сбалансированные темпы размножения приведут к сбалансированным численностям видов. Не подобные ли рассуждения являются первопричиной многих бед нашего сегодняшнего технологического мира? Как бы то ни было, я поместил в свой океан размером 32×14 единиц 200 рыб и 20 акул и установил, что рыбы будут размножаться каждые три хронона, в то время как акулам придется подождать до истечения 10 хрононов. Время голодной смерти акул было более или менее произвольно выбрано равным трем хрононам. Пронаблюдая работу моей относительно медленной программы в течение 15 минут, мы увидели, что наши усилия не пропали даром: численность популяций полностью восстановилась после некоторого спада вначале. Более того, геометрический порядок, хотя и не отсутствовал совсем, был скорее предположительным, чем вполне определенным. Косяки представляли собой бесформенные скопления с неровными краями, а в некоторых местах экрана акулы и рыбы были перемешаны почти случайно.

Я запустил программу на все послеполуденное время и занялся более важ-

ными делами, отрываясь время от времени, чтобы взглянуть на нее. Программа проработала всю ночь, и когда я зашел в свое учреждение после утренней лекции, то обнаружил, что акулы и рыбы все еще продолжают свою цик-

лическую жизнь. Это был настоящий Акватор!

Программу АКВАТОР можно реализовать многими способами, но, пожалуй, самый простой из них основан на работе с рядом двумерных массивов. Я



Торопильная планета Акватор и ее изображение на плоской карте (или на плоском экране дисплея)

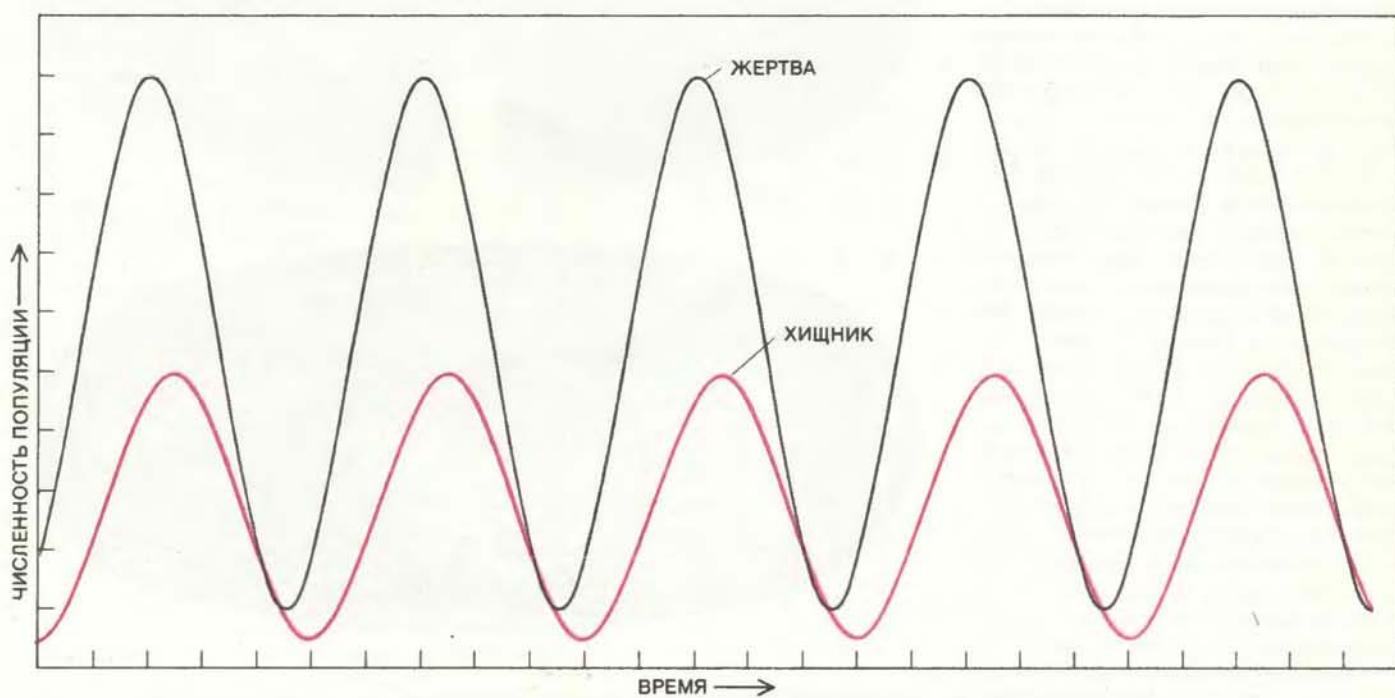
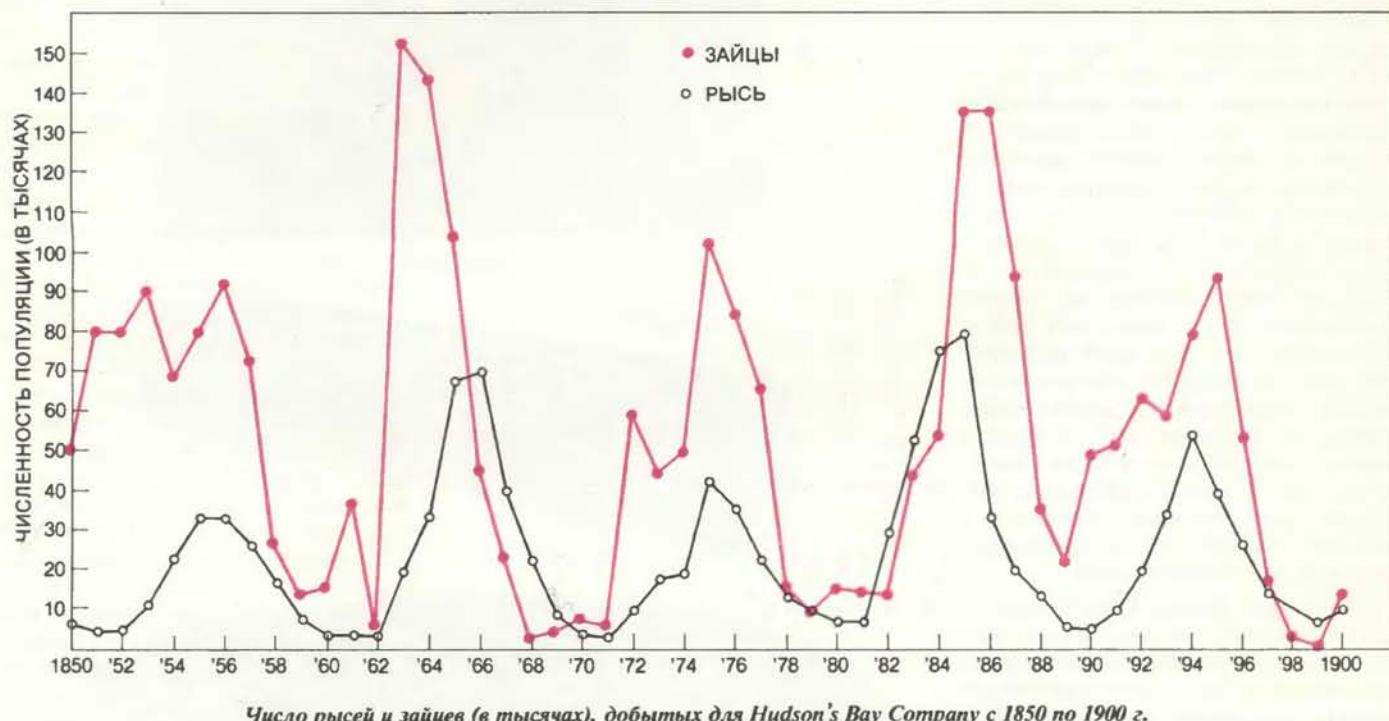
использую пять массивов — FISH, SHARKS, FISHMOVE, SHARKMOVE и STARVE. Эти массивы размером 32 на 14 хранят информацию о положении и возрасте рыб и акул. Более точно FISH (I, J) указывает наличие или отсутствие рыбы в узле с координатами (I, J). Если в узле рыбы нет, то элемент массива имеет значение -1 . В противном случае в нем записан возраст рыбы в хрононах. В массиве SHARKS точно в таком же виде хранится информация о положении и возрасте акул. В каждой позиции массива FISHMOVE записано,

переместилась ли туда рыба в текущем цикле вычислений. Эта информация позволяет программе избежать повторного перемещения рыбы в течение одного хронона. Массив SHARKMOVE выполняет ту же функцию по отношению к акулам. Массив STARVE хранит время, когда каждая акула последний раз ела. Если в некоторой позиции нет акулы, то соответствующий элемент равен -1 .

Чтобы показать события на Акваторе, проще всего изобразить каждую строку массива строкой литер на экран-

не дисплея: пробел в некоторой позиции означает, что она свободна, точка (.) изображает рыбу, а нуль (0) — акулу. Несмотря на кажущуюся ограниченность такого способа, он очень информативен и удобен для наблюдения.

Начальная фаза программы АКВАТОР состоит в равномерном «рассеивании» по торoidalному океану требуемого количества рыб и акул. Затем программа циклически выполняет три описанные ниже части, или подпрограммы; каждый такой цикл занимает как раз один хронон.



Теоретическое соотношение хищников и жертв: решение уравнений Лотка — Вольтерра

ДВИЖЕНИЕ И РАЗМНОЖЕНИЕ РЫБ

Для каждой рыбы в массиве FISH программа строит список соседних свободных позиций и перемещает ее в одну, случайно выбранную из них. Это означает, что в массив FISH заносится -1 в старой позиции и текущий возраст рыбы в ее новой позиции. Массив FISHMOVE изменяется в соответствии с приведенным выше описанием. Если возраст рыбы равен $sbreed$, то программа помещает новую рыбу в старую позицию и приписывает обеим рыбам возраст 0. Новая рыба также регистрируется в FISHMOVE. Если все соседние позиции заняты, то рыба не движется и не размножается.

ОХОТА И РАЗМНОЖЕНИЕ АКУЛ

Для каждой акулы в массиве SHARKS программа строит список соседних позиций, содержащих рыб (если такие позиции есть). Акула случайно выбирает одну из них, перемещается туда и съедает рыбу. Это означает, что программа изменяет массивы SHARKS и SHARKMOVE так же, как это делалось для массивов FISH и FISHMOVE, но не только для них. В рассматриваемую позицию массива FISH следует занести -1 , а в ту же позицию массива STARVE — число 0. Если в соседних узлах нет рыб, то акула движется так же, как рыба. Если возраст акулы достигает $sbreed$, то новая акула появляется на свет точно таким же способом, как новая рыба.

ОТОБРАЖЕНИЕ

Программа просматривает оба массива FISH и SHARKS. Она выводит на экран точку для каждой обнаруженной рыбы и нуль для каждой акулы. Отображение можно выполнять полностью, как описано, или же можно разбить это действие на две части, одна из которых будет выполняться после перемещения рыб, другая — после перемещения акул.

Чтобы выполнить первоначальное заселение океана, программисту надо записать цикл, в котором $nfish$ раз будет порождаться пара случайных чисел. Эти числа масштабируются по горизонтальному и вертикальному размерам желаемого океана. Таким образом, числа задают случайную позицию, в которую программа помещает рыбу, отмечая ее в массиве FISH и присваивая ей случайный возраст от 0 до $sbreed$. Аналогично расселяются акулы. В обоих случаях проверяется, не занята ли уже выбранная позиция. Присваивание акулам и рыбам случайного возраста ведет к тому, что они потом будут размножаться в случайные моменты времени, что вполне естественно. Без этой меры вы увидели бы, что число акул и рыб вдруг удвоилось

бы — крайне удивительная и неестественная картина.

Некоторые начинающие программисты могут найти предшествующее описание слишком общим, чтобы составить по нему ясное представление о том, как же написать программу АКВАТОР. Эти программисты могут начать с составления программы, известной как программа «пьяных блужданий». Такая программа могла бы состоять всего из одного цикла (скажем, цикла *while*), включающего семь инструкций. Эти инструкции записаны ниже на произвольно выбранном алгоритмическом языке. Присваивания обозначаются стрелками, направленными влево; переменные X и Y хранят координаты «шатающегося пьяницы». Они изменяются в соответствии со случным целым числом, присваиваемым переменной *direction*. В зависимости от того, чему равно это число — 0, 1, 2 или 3, «пьяница», точка на экране свинется на «север», «восток», «юг» или «запад».

```
direction — целая часть
от (random × 4)
if direction = 0 then X ← X + 1
if direction = 1 then X ← X - 1
if direction = 2 then Y ← Y + 1
if direction = 3 then Y ← Y - 1
отобразить (X, Y)
```

Предположим, что генератор случайных чисел порождает десятичное число *random* между 0 и 1, тогда данный алгоритм преобразует его в число в диапазоне от 0 до 3.999. Целая часть полученного числа должна равняться 0, 1, 2 или 3.

Я не берусь утверждать, что пятно света, «разгуливающее» по экрану, соответствует экологической «драме» акул и рыб, однако написание этой программы позволит лучше уяснить, как построить отдельные части программы АКВАТОР.

Опытные программисты, могут размыслить над другими путями реализации программы АКВАТОР. Можно значительно уменьшить число выполняемых действий, если для хранения информации об акулах и рыбах применить связанные списки. В этом случае время, требуемое для одного цикла вычислений, будет пропорционально числу имеющихся акул и рыб, а не размеру всего океана.

Программа АКВАТОР может рассказать кое-что и о наших, земных животных. Мы знаем, что небольшие популяции сталкиваются с реальной угрозой вымирания и, даже если ни хищники, ни жертвы не исчезают полностью, их численность почти наверняка периодически колеблется. В простой экосистеме численности хищников и жертв иногда испытывают циклические колебания. Так ведут себя

популяции зайца и рыси в канадском приполярье, численности которых регистрировались с 1847 по 1903 г. специалистами из Hudson's Bay Company (см. рисунок на с. 82). Числа представляют количество особей каждого вида, добывших за каждый год. Эти числа, по-видимому, пропорциональны действительной численности видов в рассматриваемый период. Если это так, то циклы легко объясняются: рыси поедают все еще возрастающую популяцию зайцев, потом численность зайцев начинает уменьшаться по мере роста числа рысей. Вскоре для рысей становится меньше пищи, и они начинают погибать от голода или приносить меньший приплод или же и то и другое вместе. Когда число рысей падает, вновь начинают размножаться зайцы.

Эти графики можно сопоставить с гладкими кривыми, изображающими решение уравнений Лотка—Вольтерра. Впервые эти уравнения были получены в 1931 г. В. Вольтерра, итальянским математиком*. Они основаны на предположении, которое можно было бы охарактеризовать как «непрерывную охоту непрерывного хищника за непрерывной жертвой». Решения уравнений демонстрируют циклические изменения, что на первый взгляд отвечает эмпирическим данным по рыбам и зайцам. Среди биологов, однако, нет единогласия в вопросе о том, допустимо ли объяснять численности рыбей и зайцев на основе таких простых соображений. Прежде всего в охоте на зайцев участвуют еще по крайней мере два вида «хищников» — микробы и люди.

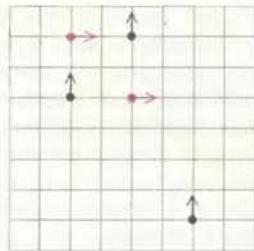
Как бы то ни было, имело смысл собрать статистические данные по акулам и рыбам на Аква-Торе, и мы с Магги так и поступили. Недавно полученные нами графики численности акул и рыб представляются более похожими на графики для рыбей и зайцев, чем решения уравнений Лотка—Вольтерра. Мы до сих пор думаем над долговременной нестабильностью, характерной для некоторых комбинаций параметров. Может быть, кто-нибудь из читателей, работающих над собственной версией программы АКВАТОР, сумеет продвинуться дальше в этом вопросе. Существует ли какое-либо общее правило, позволяющее для заданного набора параметров предсказать стабильность или нестабильность получившейся экосистемы? В какой степени циклические колебания описываются уравнениями Лотка—Вольтерра?

Причина торOIDальности океана Аква-Тора очень проста: составление программы сильно облегчается, если у

* См.: Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. — М.: Наука, 1976. — Прим. перев.

океана нет границ или берегов. Если океан имеет в ширину, скажем, 32 единицы, то в качестве X -координат акул и рыб можно просто использовать числа по модулю 32. Если кто-то из них в течение одного хронона имеет X -координату 31 и наблюдается справа на экране, то в следующем хрононе X -координата вполне может стать равной 32 = 0 и акула или рыба появится слева. Такая же система действует по вертикали.

Тороидальный океан Аква-Тора является источником некоторых весьма странных эффектов, примеры которых содержатся в следующих задачах. Первый из этих эффектов возник вследствие ошибки в ранней версии моей программы АКВАТОР. Эта ошибка привела к тому, что все рыбы в течение хронона проплыли одну единицу на «север», а все акулы — одну единицу на «восток». Таким образом, акула получала возможность съесть рыбу, только если они обе попадали в один узел. Сколько рыб в изображенном ниже океане никогда не будут съедены?



В следующей задаче акулы и рыбы наделяются «интеллектом». Допустим, что каждая акула и рыба при переходе в соседний узел «оглядывается по сторонам». Тогда оказывается, что одна рыба, если она достаточно «умна», всегда может уйти от одной акулы независимо от «умственных способностей» последней. Если в торoidalном океане Аква-Тора за одной-единственной рыбой охотятся две акулы, то исход может быть двоякий. Пусть акулы и рыбы будут сколь угодно «умны», причем акулам даже будет разрешено координировать свои действия. Сможете ли вы в этих условиях найти выход для рыбы? Ответ не зависит от размеров океана.

СТАТЬЯ о персептронах («Computer Recreations», September)* привела некоторых читателей к мысли об их использовании, других же побудила заняться собственными исследованиями. Эд Маннинг из Стратфорда (шт. Коннектикут) построил «персепtron сортов» (perceptron of sorts), придуманный 10 лет назад для того, чтобы преобразовывать реальные образы в дискретные квадратики на сетчатке персептров-

на. Маннинг был одним из многих, кто заметил ошибку в окошечном персептроне для распознавания нескольких прямоугольников, изображенном в сентябрьском номере журнала: четыре последних элемента в списке подобразов демона должны быть наполовину голубые и наполовину белые. Маннинг интересуется, не была ли эта ошибка специально задумана как испытание для читателей. Не могу удержаться от соблазна и отвечаю, что так оно и было.

Дж. Стормо, научный сотрудник факультета молекулярной, клеточной и эволюционной биологии Колорадского университета в Боулдере, использовал идею персептрана в автоматическом распознавании образов. Он построил весовую функцию персептрана для распознавания участков связывания в последовательности нуклеотидов транспортных РНК. Чтобы его персептран работал эффективно, Стормо воспользовался теоремой сходимости. Результаты оказались весьма надеждающими: персептран распознавал участки связывания весьма успешно.

Любой окошечный персептран, список подобразов которого включает сплошь белое или сплошь черное окошко, является «хорошим» персептраном. Это отмечает Л. Хилл из Вениса (шт. Калифорния). Его также интересует вопрос, является ли допустимым, чтобы сетчатка была сплошь белая или сплошь черная. Ответ зависит от распознаваемых образов. В случае персептрана для распознавания нескольких прямоугольников представляется разумным считать сплошь черную сетчатку просто одним большим прямоугольником.

Наибольших успехов в предложенном мной мини-исследовании добился К. Руссо из Вычислительного центра колледжа Линчберга (шт. Виргиния). Он решил исключить окошечные персептраны со сплошь белыми или сплошь черными подобразами. Ему удалось охарактеризовать «хорошие» персептраны (т.е. такие, которые распознают хотя бы один образ). Для этого используются трансляционные соотношения между подобразами в списке персептрана. Если сдвинуть окошечный подобраз на одну клетку в любом из четырех основных направлений, то снова должен получиться какой-то подобраз из списка. Затем Руссо рассмотрел минимальные окошечные персептраны, список подобразов которых не может быть сокращен без ущерба их распознавательной способности. Из таких персептранов, как из кирпичиков, строятся все «хорошие» персептраны. Руссо написал программу для ЭВМ, которая нашла все минимальные окошечные персептраны с размером списка от 2-го до 5-го порядка. Нет ни одного минимального персептрана 6-го порядка. Руссо бросил всем вызов,

обратив поставленную мной задачу: я предлагал читателям найти образ, распознаваемый данным персептраном. Руссо же предлагает отыскивать персептран, распознавающий данный образ.

Д. Эванс из Хартфорда (шт. Коннектикут) возлагает вину за неудачи персептранов на ограничение, присущее двухуровневой иерархии локальных демонов, отчитывающихся перед одним главным демоном. Введя некое демоническое промежуточное управление, Эванс преодолел открытую Минским и Пэйпертом «слабость» обычных персептранов, которые неспособны распознавать связность. Демоны нижнего уровня образуют своего рода сетчатку, в которой черное или белое состояние клетки отвечает наличию или отсутствию сигнала от определенного демона. Демоны второго уровня следят за образами, созданными демонами нижнего уровня, и посыпают сигнал о наличии или отсутствии подобраза главному демону. Трехуровневое устройство способно распознать, какой из четырех пробных образов является связным, а какой нет.

Издательство
МИР
предлагает:

М. Лонгейр
АСТРОФИЗИКА
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Перевод с английского
Видный английский астрофизик в своем курсе лекций, прочитанных в Кембриджском университете, подробно рассматривает процессы во Вселенной, происходящие с участием частиц и фотонов высокой и сверхвысокой энергии. Автор описывает протонную и электронную компоненты космических лучей, космическое рентгеновское и гаммаизлучение, а также такие экзотические объекты, как пульсары, квазары, активные ядра галактик — наглядные свидетельства взрывных процессов чудовищной интенсивности.

Для астрономов и физиков — теоретиков и экспериментаторов, как специалистов, так и интересующихся новой проблематикой студентов.

1984, 26 л. Цена 4 р. 20 к.

* См.: «В мире науки», 1984, № 11, с. 127. — Прим. ред.

Наука и общество

Приливы и... отливы

НА ПЕРВЫЙ взгляд приливные электростанции — это то, о чем поборники охраны окружающей среды могут только грезить. Запасы «топлива» постоянно пополняются, загрязнений — никаких. Однако, судя по результатам недавних теоретических расчетов, проведенных в лабораториях Новой Англии и Канады, приливная электростанция, которую планируется построить в заливе Фанди, может из мечты превратиться в кошмар.

Полусуточный прилив в Северной Атлантике, имеющий период 12 ч 25 м, вызывает колебания уровня воды в заливах Мэн и Фанди. Собственный период колебаний системы, состоящей из двух заливов (имеется в виду периодичность, с которой вода в заливах будет двигаться взад-вперед, если толкнуть ее и предоставить колебаться свободно), составляет около 13 ч. Таким образом, прилив в Северной Атлантике оказывается не в резонансе с колебаниями воды в заливах Мэн и Фанди.

Постройка приливной электростанции радикально повлияет на эту связь. Плотину предполагается возвести по-перек бухты Минас, в восточной части залива Фанди. В плотине будут сделаны ворота, через которые вода во время прилива сможет свободно проникать в бухту. По окончании прилива ворота будут закрываться и отступающая вода станет вращать турбины, вырабатывающие электрический ток.

Как показывают расчеты Д. Гринберга из Бедфордского океанографического института в Дартмуте (Новая Шотландия), постройка плотины приведет к уменьшению периода собственных колебаний системы залив Мэн — залив Фанди, который станет ближе к периоду полусуточного прилива в Северной Атлантике. Из-за того что две колебательные системы окажутся практически в резонансе, разница в уровнях высокой и низкой воды в заливе Мэн (который простирается на юг вплоть до залива Кейп-Код) возрастет на 10%.

В докладе П. Ларсена из Бичелоусской океанологической лаборатории, представленном Бюро по планированию шт. Мэн, указывается, что повышение уровня прилива представляет угрозу для расположенных у берега дорог и мостов, а также для домов в прибрежных районах. Ларсен полагает, что четвертая часть всех прибрежных селений шт. Мэн пострадает от того, что морская вода будет проникать в систему водоснабжения. Некоторые низины окажутся затопленными. В то же время к отдельным причалам и портовым сооружениям суда не смогут подходить во время отлива, поскольку уровень воды в это время будет ниже обычного.

В докладе Ларсена и Р. Рудольфа, который авторы представили на симпозиум, организованный Американским обществом гражданских инженеров, говорится, что канадский проект «является своего рода уникальным сре-

ди других проектов, поскольку воздействие на окружающую среду коснется другой страны, т.е. США». Один канадский ученый в шутку охарактеризовал этот проект как «ответные действия на загрязнения, вызванные кислотными дождями...», как «нашу вылазку в геофизической войне». Эта шутка может оказаться совсем не смешной для Новой Англии, в особенности если Канада сделает первый шаг в направлении развертывания строительства и приступит к предварительным трехлетним исследованиям, которые планируется начать в феврале 1985 г.

Издательство МИР предлагает:

Л. Спитцер

ПРОСТРАНСТВО МЕЖДУ ЗВЕЗДАМИ

Перевод с английского

Пространство между звездами не пусто — оно заполнено крайне разреженными газом и пылью, из которых, по современным представлениям, формируются новые поколения звезд и планет. Что мы знаем о межзвездном веществе? Как мы это узнали? Какую роль играет межзвездное вещество в общей эволюции звезд и галактик? Обо всем этом доступно и увлекательно рассказывает видный американский астрофизик.

Содержание: Космический цикл рождения и смерти. Межзвездная среда, какой она представлялась в 1970 г. Новые окна во Вселенную. Первичный водород в галактическом диске. Облака межзвездного газа. Молекулярный водород между звездами. Тяжелые элементы. Облачная модель межзвездной среды.

1986, 12 л. Цена 70 к.

Предварительные заказы
на книги выпуска 1986 г.
принимаются

магазинами — опорными пунктами
научно-технической литературы —
с апреля — мая 1985 г.

Издательство заказов
не принимает



Приливная электростанция в бухте Минас может стать причиной повышения уровня прилива в заливе Кейп-Код

Книги

Ежегодный обзор книг для юного читателя, посвященных науке и технике

ФИЛИП И ФИЛИС МОРРИСОН

Джон Дариус. Недоступное глазу
BEYOND VISION, by Jon Darius, Oxford
University Press (\$29.95)

НЕДАВНО в Англии появился новый национальный музей, отделившись от Музея науки в Лондоне. Он специализируется на истории фотографии, кино и телевидения. И вот теперь читатель познакомится с альбомом, посвященным первой выставке, состоявшейся в новом музее, на которой было представлено около 100 фотографий, сделанных между 1842 и 1982 гг. и представляющих интерес для истории науки. Многие из них цветные, и в некоторых случаях именно благодаря этому они смогли дать ученым важную информацию. Большинство фотографий занимают целую страницу, а некоторые даже сопровождаются дополнительными иллюстрациями. Немало в этой коллекции интересных снимков, сделанных с помощью современной техники съемки.

Большинство фотографий так или иначе связаны с научными теориями, без представления о которых смысл изображения остается для читателя непонятным. Однако некоторые снимки вполне красноречивы сами по себе: на одном из них мы видим последнего сумчатого волка. А вот знаменитый снимок руки Вильгельма Конрада Рентгена в X-лучах, напоминающий нам о времени зарождения физики двадцатого века, позвлившей фотографировать объекты микромира. Великолепны снимки подводных горячих источников и фотографии спутников Юпитера. Для получения этих снимков ученым пришлось опустить фотоаппа-

рат на дно океана и запустить космический аппарат «Вояджер».

Некоторые снимки как бы повторяются, но каждый раз на новом, более высоком техническом уровне. Таковы, например, фотографии клеток, вирусов, треков элементарных частиц и солнечной короны. В альбоме есть и первый в истории фотографии снимок быстро движущегося объекта — снаряда, выпущенного из мортиры. Он сделан в 1858 г. Томасом Скейфом, который утверждал, что его «оптический тормоз» срабатывает за одну пятидесятую секунды. В наши дни ученые научились фотографировать лазерные импульсы при выдержке всего в несколько пикосекунд. По сравнению с этим снимки скачущих лошадей, кувыркающихся кошек и даже летящих пуль уже не кажутся чудом техники.

На многих фотографиях изображены спектры. Сам альбом открывается дагерротипом, снятым Дж. У. Дрейпером из Вирджинии в 1842 г., на котором запечатлен, хотя и нечетко, спектр Солнца. Эту фотографию Дрейпер отправил для публикации сэру Джону Гершелю. На одной из последних страниц альбома мы видим другой спектральный снимок, полученный Энн Сэвидж и Брюсом Петерсоном на телескопе Шмидта в Австралии в 1982 г. Их измерения красного смещения позволили отождествить самый удаленный (из известных) от Земли объект — очень яркий квазар, находящийся от нас на расстоянии примерно 10 млрд. световых лет.

Составитель альбома, доктор Дариус, не только директор музея, но и известный исследователь в области физики и астрономии. Он сопровождает каждую фотографию подробными объяснениями и тщательно подобранными ссылками на литературу, полезную для первоначального ознакомления с данной проблемой.

На кого же рассчитан этот альбом фотографий? Думается, он доставит удовольствие любому, кто интересуется наукой и ее историей. Особую же ценность альбом представляет для самих учеников и студентов, которых он, возможно, натолкнет на новые идеи и побудит к интересным дискуссиям.

НАУКА И СПОРТ. Под редакцией Эрика У. Шриера и Уильяма Ф. Оллмена

NEWTON AT THE BAT: THE SCIENCE IN SPORTS, edited by Eric W. Schrier and William F. Allman. Charles Scribner's Sons (\$14.95)

Известно, что в наши дни достижения науки и техники нашли широкое применение и в такой области, как спорт: достаточно вспомнить интерес физиков к аэродинамике полета бейсбольного мяча (правда, до сих пор еще не полностью изученной), хитроумную передачу с эксцентриками, которая позволила американским велосипедистам попасть в число сильнейших, киль бульбообразной формы для яхты, мечтательный дротик из вольфрамового сплава или новую диету для бегунов-марафонцев, главное место в которой занимают макароны, помогающие мышцам спортсменов накопить больший запас гликогена.

Книга состоит из нескольких десятков журнальных статей. Круг тем весьма широк: от уже упоминавшейся диеты для бегунов до возможности улучшения аэродинамических качеств «летающей тарелки». Чтение книги не требует каких-либо специальных знаний; в основе большинства статей лежат интересные интервью со спортсменами, конструкторами, врачами, тренерами и менеджерами. Большое удовольствие книга доставит и юным читателям.

Terri Tempest Williams, Ted Major.

Тайный язык снега

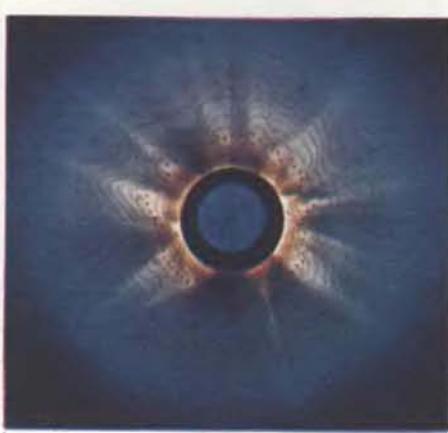
Иллюстрации Jennifer Dewey

THE SECRET LANGUAGE OF SNOW, by

Terry Tempest Williams and Ted Major. Illustrations by Jennifer Dewey. Pantheon Books (\$10.95)

НАЗВАНИЯ десяти глав этой увлекательной и остроумной книги взяты из языка иннуктов, живущих вдоль реки Кобук на севере Аляски. В этом краю леса состоят из чахлых елей и берес, речные берега покрыты ольховыми зарослями, а земля выстлана мягким мхом. Мы встречаемся с местными жителями, слышим их рассказы. Но книга эта не о людях и их языке. Она повествует о снеге и его роли в жизни Севера и представляет собой исследование в области экологии Арктики, использующее знания эскимосов.

Снег — всего лишь снег для тех, кто прячется от него под крышу. Но для иннуктов с реки Кобук это слово имеет гораздо большее значение. Несмотря на электричество и снегоходы, снег и по сей день определяет их образ жизни. В их языке есть слова для различных видов снега, отсутствующие в английском, — определения, основанные на множестве наблюдений. Например, неустойчивый «пукак», — он может образовать лавину; или же «сикоктоак»,



Солнечное затмение

прочный наст, — его поверхность ночью кажется стеклянной; а вот «каманик», полое пространство под снегом, — там, где вечнозеленые растения покрывают почву. Эта полость защищает семена, и именно поэтому весна приходит сюда рано, когда на открытых лугах еще лежит снег.

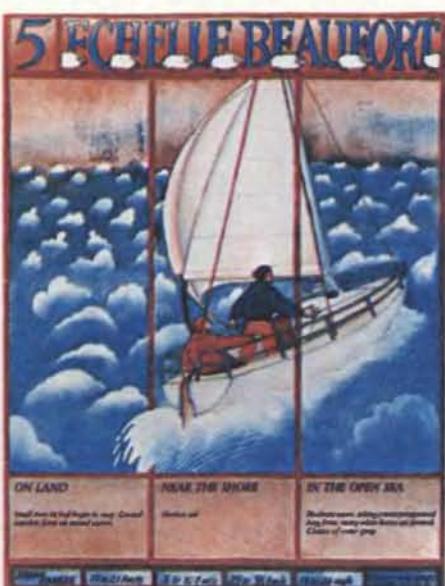
Физические процессы, приводящие к образованию всех этих видов снега, объясняются в книге весьма просто. Это и перекристаллизация снежинок в том случае, если холодный свежий снег покрывает более теплый старый слой; и изморозь, вырастающая на холодных вертикальных поверхностях на пути теплого ветра, и множество других форм. От этих условий зависит жизнь охотника и вообще всех живых существ, столь приспособившихся к жизни в Арктике.

Если вы захотите проверить «геологию» снежного покрова, раскопайте снег там, где он достаточно глубок, и вы увидите слои, особенно хорошо заметные, если рассматривать их сквозь увеличительное стекло.

Авторы и художник прекрасно знают предмет своего интереса — снег. Их «источники» — это книги, лаборатории, походы на лыжах. Тед Мэйджор — натуралист и преподаватель — теперь руководит и проведением лыжных кроссов в Йеллоустоне. Он и его соавторы не забывают и о чувстве прекрасного, не покидающем исследователя снежного Севера: каждая глава открывается стихами. Любой читатель, проявляющий интерес к снегу и лыжным походам, найдет эту книгу увлекательной.

Жак Ивар. Как поднимается ветер: путешествие вдоль шкалы Бофорта
Иллюстрации Клер Форжо
THE RISING OF THE WIND: ADVENTURES ALONG THE BEAUFORT SCALE, text by Jacques Yvart, illustrations by Claire Forgeot. The Green Tiger Press (\$15.95)

БЛАГОДАРЯ замыслу автора эта замечательная книга гармонично соединяет в себе поэтический вымысел и яркий увлекательный рассказ о шкале силы ветра, существованием которой мы обязаны капитану сэру Фрэнсису Бофорту. Каждой из 13 ступенек шкалы Бофорта отвечает цветной рисунок в полный лист, снабженный текстом и привлекающий внимание читателя. 10 баллов — буря. Вы можете узнать также высоту волн. Скорость ветра дается в четырех единицах измерения. Тут же приводится подробный комментарий Бофорта, предназначенный для наблюдателей на суше, у берега и в открытом море. Определение сильного шторма для неморяков звучит так: «Явление, редко наблюдаемое на суше; вывороченные деревья; значительные разрушения зданий». Какая яркая кар-



5 баллов по шкале Бофорта

тина: вырванные с корнем деревья и вспененные гребни волн на море! 0 баллов — штиль: мы видим, как дымок мирной рыбачкой трубы поднимается вертикально вверх, голубая гладь моря спокойна.

Но это лишь одна часть книги; другая же — сказки и увлекательные истории, сопровождаемые простыми и выразительными гравюрами. В одной из сказок говорится о двух мальчиках, живших у моря в те далекие времена, когда дети еще умели плавать подобно рыбам и летать как птицы. Вместе со своим другом, слепым поэтом, они переживают множество приключений, знакомясь со всеми ветрами нашей шкалы (включая ураган), и каждому ветру посвящают стихотворение.

Встречаем мы в книге и множество морских терминов. Например, таких: «При 2 баллах у берега и поднятых верхних летучих парусах и топселях корабль делает 2 узла». Забавный словарь подобных терминов украшает поля книги.

Гай Отвел. Звезды: путеводитель по ночному небу
TO KNOW THE STARS: A SIMPLE GUIDE TO THE NIGHT SKY, by Guy Ottewell. Astronomical Calendar Publications, c/o Department of Physics, Furman University, Greenville, S.C. 29613 (paperbound, \$5)

Дэвид Чэндлер. Ночное небо сквозь бинокль. Иллюстрации Дона Дэвиса
EXPLORING THE NIGHT SKY WITH BINOCULARS, by David Chandler. Paintings by Don Davis. David Chandler Co., P.O. Box 309, La Verne, Calif. 91750 (paperbound, \$5.95 postpaid)

ОБЕ книги прекрасно дополняют друг друга: каждая из них — увлекатель-

ный и великолепный в познавательном отношении путеводитель по ночному небу.

Автор первой из них — астроном и художник. Не удивительно, что его книга (а она обращена прежде всего к школьникам) предлагает читателям десяток упрощенных карт ночного неба для всех двенадцати месяцев года. Каждая из карт сопровождается страницей текста, из которого мы узнаем о мифах, давших названия созвездиям, и немного о таком далеком от нас мире звезд. Но еще больший интерес представляют сами пояснения к картам, составляющие основное содержание этой небольшой по объему книги. Они начинаются с указаний, как следует вести наблюдения за ночным небом. Прежде всего необходимо избавиться от внешних обстоятельств, мешающих увидеть реальность такой, как она есть. Для начала забудем о существовании Солнца и Земли, и все станет гораздо проще: только вы, пространство и звезды. Именно Солнце и Земля, день и ночь, горизонт и вечное вращение во многом повинны в том, что мы плохо знаем звезды. Несколько страниц с зарисовками наилучшим образом объясняют, как и почему меняется ночное небо. Рисунки дают представление о пространственных масштабах в космосе; кроме того, в книге приводится список самых ярких и ближайших к нам звезд. Здесь же вы прочтете, когда лучше всего наблюдать за метеоритами и ожидать метеоритного дождя. Все карты приведены для северного полушария. Эта книга, сознательно излагающая факты несколько упрощенно в расчете на юного читателя (а также и на взрослых, не искушенных в астрономии), не рассматривает один из аспектов изменения ночного неба во времени — замысловатый ход Луны и планет. И все же она — лучший советчик тому, кто впервые заинтересовался звездным небом.

Если вы уже немного ориентируетесь невооруженным глазом в картине ночного неба, следующий шаг — воспользоваться биноклем. В твердой руке сей инструмент, днем используемый чаще всего лишь для наблюдения за футбольным матчем, станет незаменимым помощником в занятиях астрономией. Он откроет перед вами чудеса, поразившие еще Галилея: лунные кратеры, четыре луны Юпитера, фазы Венеры, рон звезд в открытых скоплениях, например Плеядах. Воспользуйтесь второй книгой — она содержит карты и описания всех чудес, какие вы сможете разглядеть на небе (в Северном полушарии), и даты, благоприятные для наблюдений. Рисунки весьма точно воспроизводят все то, что вы увидите воочию, прибегнув к помощи бинокля. Недостаточно темное небо — главное препятствие в наблюдениях за другими

Издательство МИР предлагает:

A. Пом, O. Агравал БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ПАМЯТИ

Перевод с английского

В книге рассмотрены методы проектирования сверхбыстро действующих устройств памяти для современных ЭВМ, обладающих высокой надежностью хранения информации. Основное внимание в ней уделено принципам построения различных структур памяти со способами буферизации, обеспечивающими малое время обращения. Приводятся способы для повышения надежности работы памяти при записи и считывании данных путем применения специальных кодов, позволяющих обнаруживать и устранять ошибки. Наряду со структурными схемами систем быстродействующей памяти предлагаются аналитические зависимости, удобные для анализа надежности запоминающих устройств последовательного и параллельного действия. Кроме того, указаны методы расчета

временных характеристик различных типов памяти. Весь этот материал до сих пор не излагался в таком законченном виде. Книга написана в доходчивой форме и снабжена хорошо подобранными иллюстрациями. Следует отметить, что в ней приводятся конкретные структуры устройств памяти для мини- и микро-ЭВМ, имеющих различную разрядность. Не оставлены без внимания и схемы построения сверхбыстро действующей памяти для больших ЭВМ фирмы IBM, которые получили широкое распространение. Книга снабжена целым рядом справочных таблиц и расширенной библиографией.

Для научных работников и инженеров, специализирующихся в области разработки запоминающих устройств ЭВМ, а также для аспирантов и студентов, изучающих вычислительную технику.

1986, 15 л. Цена 1 р. 40 к.

Предварительные заказы на книги выпуска 1986 г.
принимаются магазинами — опорными пунктами издательства «Мир»
с января — февраля, а остальными магазинами научно-технической
литературы —
с апреля — мая 1985 г.

Издательство заказов не принимает



галактиками. В последние недели 1985 г. на ночном небе появится путь неяркий, но как всегда волнующий лик кометы Галлея, совершающей свой очередной довольно редкий визит. Самое время взять в руки бинокль!

Уильям Ф. Браун. СДЕЛАЙ САМ. РАБОТА ПО ДЕРЕВУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОСТЕЙШИХ ИНСТРУМЕНТОВ. Иллюстрации М.Г. Брауна

WOOD WORKS: EXPERIMENTS WITH COMMON WOOD AND TOOLS, by William F. Brown. Illustrated by M.G. Brown. Atheneum Publishers (\$11.95)

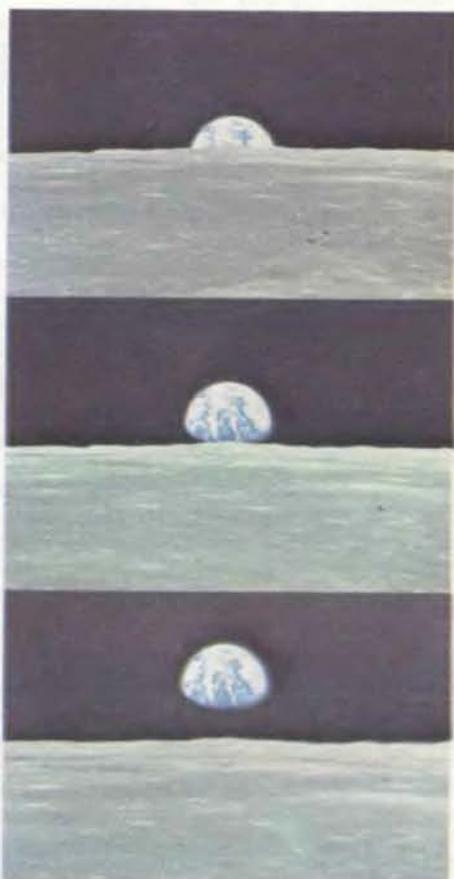
«ЭТА книга о вещах интересных. Все дети всегда делают интересные вещи». Эта небольшая книга тоже получилась весьма интересной и полезной. Автор предлагает юным плотникам изготовить 14 различных предметов, среди которых бильярд-автомат, высокий флагшток и даже действующая модель лесопилки (ремни передачи можно сделать из резинок, а шкивы, например, из катушек для ниток). Одновременно читатель узнает немало интересных фактов из истории техники.

В познавательном отношении наиболее интересна первая часть книги, где автор подробно и в доступной форме рассказывает юным читателям, как правильно пользоваться инструментами, крепежными деталями, kleem, а также знакомит их с различными сортами древесины. Немалую пользу принесут начинающим плотникам советы, как устроить свое рабочее место и какой выбрать материал.

Эта полезная книга написана на основе многолетнего опыта работы автора с детьми. Однако она годится и для взрослых, желающих усвоить азы плотницкого дела. Жаль только, что они все равно пренебрегут многими мудрыми советами и обзаведутся кроме необходимых множеством лишних инструментов.

Джозеф П. Аллен, Рассел Мартин. КОСМИЧЕСКОЕ ПУТЕШЕСТВИЕ: ОДИССЕЯ АСТРОНАВТА. 200 цветных фотографий ENTERING SPACE: AN ASTRONAUT'S ODYSSEY, by Joseph P. Allen with Russel Martin. Two hundred color photographs. Stewart, Tabori & Chang, Inc. Distributed by Workman Publishing (\$25)

С ПОЯВЛЕНИЕМ корабля типа «Спейс шаттл» жизнь астронавтов в космосе стала уже не столь спартанской, как прежде. Теперь в корабле можно находиться в брюках и футболке, готовить жаркое на вертеле и спать на отдельной койке, хотя при этом ноги будут на полу, а голова где-то между полом и потолком... — невесомость. На одной из фотографий вы увидите автора, пре-



Восход Земли на Луне

следующего с соломинкой наготове огромную каплю апельсинового сока.

Космическая «одиссея», о которой рассказывается в книге, началась со старта с космодрома, длилась всего неделю и окончилась посадкой в пустыне. Доктор Аллен, физик по образованию, по-видимому, не лишен педагогических способностей; во всяком случае, такое впечатление создается при чтении этой книги, которую он написал совместно с профессиональным писателем Расселлом Мартином. Их рассказ о том, что чувствует человек, облетающий вокруг Земли 17 раз в день, прост и в то же время содержит немало интереснейших подробностей.

Многие снимки сделаны через иллюминаторы «Шаттла»; эти иллюминаторы почти такие же, как в обычном самолете. На снимках мы видим Землю такой, какой она представлена экипажу корабля с высоты 350 км. Каждые 45 мин астронавты могли наблюдать великолепный закат. Затем наступает недолгая ночь с немерцающими звездами в бархатно-черном небе, какое на Земле можно видеть только в пустыне. Земля по ночам тоже черная, заметны лишь скопления огней больших городов, дрожащие красно-оранжевые огоньки огромных лесных или степных пожаров да вспышки молний. Кстати, самим астронавтам не всегда кажется, что Земля находится внизу. Для них она так же часто бывает вверху, над головой.

Днем можно увидеть гораздо больше — и читатель сам в этом убедится. Снимки, сделанные обычным любительским фотоаппаратом, не менее удачны и красноречивы, чем текст книги. И конечно, не все фотографии связаны с полетом «Шаттла». Часть из них были сделаны во время полетов других космических аппаратов вокруг Земли, тогда как некоторые как бы предвосхищают будущие исследования планет. Так, авторы поместили в книге три последовательных снимка восхода Земли на Луне. Интересны фотографии самого «Шаттла». На одной из них мы видим этот корабль, ярко освещенный солнцем, на фоне черного неба. Этот снимок сделан спутником, который «Шаттл» только что доставил на орбиту. На последней фотографии запечатлен «живой спутник» — астронавт, свободно вышедший в космос. В углу снимка виден голубой краешек Земли.

Интересно, что только в предисловии Аллен позволил себе сделать небольшое лирическое отступление. Он вспоминает, что в детстве мечтал о приключениях, хотел стать путешественником, ковбоем или гонщиком. Но этим мечтам не суждено было осуществиться. Теперь же его детям, Дэвиду и Элизабет, «наскучили все эти астронавты, и они мечтают стать, когда вырастут, путешественниками, ковбоями или гонщиками». Будем надеяться, что кое-кто из юных читателей этой книги мечтает как раз о приключениях в космосе.

Гарет Дж. Кимберли. НАСЛАЖДАЯСЬ ПОЛЕТОМ. СВЕРХЛЕГКИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

FUN FLYING! A TOTAL GUIDE TO ULTRALIGHTS, by Gareth J. Kimberley. TAB Books Inc. (\$10.25)

В ЭТОЙ небольшой книге, отличающейся весьма индивидуальным и в то же время широким взглядом на вещи, рассказывается о «гигантском шаге назад». Под этим шагом подразумевается быстрое развитие летательных аппаратов с двигателем, которые по своим техническим параметрам — скорости, дальности полета, весу — уступают аэроплану, построенному братьями Райт еще в 1903 г. Автор книги сам летает от Сиднея до Кантона, так что его рассказ о разнообразных сверхлегких летательных аппаратах — информация из первых рук.

Первым, кто совершил большое число полетов на балансирных планерах задолго до Китти Хока был Отто Лилиенталь. Погиб он трагически: на высоте 15 м его планер потерял скорость, и Лилиенталь разбился. Возрождение интереса к балансирным планерам следует отнести к 1963 г., когда водно-лыжник из Сиднея Дж. Дикенсон стал

использовать в любимом им виде спорта параплан, подобный воздушному змею. В 1969 г. австралийцы завезли этот способ «летать» в Сан-Франциско, и вскоре над склонами вдоль побережья залива можно было видеть множество энтузиастов, парящих на таких крыльях, как на планерах. К 1976 г. появились летательные аппараты с двигателями, предназначавшимися не только для разбега перед планированием, но и собственно для полета. Особенно ими увлекались в Австралии, где даже были введены правила, ограничивавшие размеры таких аппаратов.

Исключительно интересна глава, в которой автор рассказывает о том, как несколько лет назад он сконструировал свой сверхлегкий летательный аппарат. Но читателю предлагается вовсе не урок авиаконструирования, а своеобразное введение в это увлекательное искусство. Кимберли не профессиональный конструктор и не инженер, а пилот, налетавший 9 тыс. часов. Однако удача его как конструктора не вызывает сомнений: его «Небесный всадник» достигает скорости 70 км/ч.

Помимо «исторического» и «технического» разделов Кимберли включил в книгу и небольшие главы более общего содержания — о роли погодных условий, о профессии авиатора и о том, как учиться летать. На сверхлегких летательных аппаратах даже первый полет выполняется пилотом самостоятельно. В заключительной главе дается техническое описание 30 с лишним различных аппаратов из разных стран и приводятся их фотографии.

Отметим, что в развитии сверхлегких летательных аппаратов имеется и обратная тенденция. В США за последние два года сложность и мощность этих аппаратов существенно возросли: если раньше их средняя мощность составляла 20 л.с., а скорость — 60 км/ч, то теперь они имеют мощность 50 л.с. и летают со скоростью 110 км/ч. Высокая скорость полета вынуждает делать кабины для пилота закрытыми, и «минипланы» превращаются в небольшие аэропланы. Так что «статус» сверхлегких летательных аппаратов скоро окажется под вопросом.

Тана Хобан. ШЕРОХОВАТОЕ? ГЛАДКОЕ? БЛЕСТАЩЕЕ?
Is it ROUGH? Is it SMOOTH? Is it SHINY?
by Tana Hoban. Greenwillow Books (\$10.25)

Фульвио Теста. Оглянись вокруг
IF YOU LOOK AROUND YOU, by Fulvio Testa. Dial Books, E.P. Dutton, Inc. (\$10.95)

Джоан Элма Рэн. Пустоты
HOLES, by Joan Elma Rahn. Houghton Mifflin Company (\$9.95)

AВТОРЫХ этих трех книг употребляли в основном не слова, а рисунки. Шаг за шагом учат они своего «читателя» осмысленному подходу к окружающему миру, развивают в нем наблюдательность. Талантливый фотограф Тана Хобан собрала в первой из книг около 30 своих работ. На великолепных цветных фотографиях мы видим блестящие монеты на ладони, пухистый комочек хлопка, морщинистую кожу слона, стог сена и молодую девушку в сверкающем костюме из металлизированного пластика. Различия в цвете и фактуре порождают необычайное разнообразие в окружающем нас мире — вот о чем повествует без слов эта необычная книга. Более того, фотографии дают богатейшую пищу воображению как самым маленьким читателям, так и их друзьям постарше.

Во второй книге каждый рисунок сопровождается небольшим текстом. Например, мы видим изображение космического корабля, летящего в сторону Луны. Пассажиры — мальчик и девочка — прильнуть к иллюминаторам, любуются открывающимся перед ними видом. Подпись к рисунку сообщает о геометрических понятиях: точке, линии, круге, конусе, сфере. Так, наша Земля изображена круглой как мяч. Однако с очень большого расстояния даже такой огромный шар, как земной, будет казаться точкой. Остается лишь восхищаться тем, как художнику удалось передать столь сложные понятия в доступной детям форме.

Третья из рецензируемых книг иллюстрирована черно-белыми фотографиями. Каждая из фотографий снабжена небольшим текстом, объясняющим ее смысл и понятным для тех, кто только что научился читать. Здесь мы сталкиваемся не только с физическими, но и с геометрическими понятиями, достаточно сравнить размеры и форму полости соломинки и пространства под мостом. Отверстия могут создавать возможность прохода (как, например, дверь или подземный переход) или препятствовать его (как решетка). Пустоты могут содержать жидкость (например, губка или перо авторучки) или размыкать электрическую цепь. Магнитофон, трафарет, сетка-авоська, вентилятор и губы, произносящие «кит» и «кот», — все это примеры различных видов пустот, свидетельствующие о том, что отверстия не так пусты, как кажется на первый взгляд. Эта книга, несмотря на серьезность затронутой темы, несомненно, доставит удовольствие маленькому читателю и будет способствовать развитию в нем любознательности.

БЕЙСБОЛ, БЕЙСБОЛ! Пол редакцией Р.С. Урмэна
BASEBALL ACCESS, edited by Richard Saul

Wurman. Access Press Ltd, Los Angeles, Calif. (paperbound, \$4.95)

КНИГА знакомит читателя с командами, игровыми площадками, историей, спортивным инвентарем, аэродинамикой полета мяча и правилами игры в бейсбол. Перед нами, несомненно, одно из самых интересных и красочных изданий, посвященных этому виду спорта.

Роджер Йепсен. РАЗГОВОРЫ ПОЕЗДОВ: ОГНИ, РУЧНЫЕ СИГНАЛЫ, СВИСТКИ И ПРОЧИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ЯЗЫКИ TRAIN TALK: AN ILLUSTRATED GUIDE TO LIGHTS, HAND SIGNALS, WHISTLES, AND OTHER LANGUAGES OF RAILROADING, by Roger Yepsen. Pantheon Books (\$9.95)

ЖЕЛЕЗНАЯ дорога — это страна, раскинувшаяся от Атлантического океана до Тихого, от джунглей до тундр. Очень может быть, что она охватывает и ваш родной город. Этот особый мир имеет свои языки, которые, однако, придуманы людьми.

Прежде всего это язык путевых сигналов. И сейчас можно увидеть старые семафоры с поднятыми крыльями; светофоры же мало чем отличаются от своих собратьев на автомобильных дорогах. На коннектикутской железной дороге все сигналы одного цвета — желтые, они хорошо различимы в тумане. Расположение огней указывает: «Следуй дальше!», если три огня образуют вертикальную линию; «Стой!», если горящая цепочка вытянута по горизонтали. В «диалекте» Балтимора и Огайо используются огни тех же цветов, что и в уличных светофорах, и еще необычный голубоватый огонь, так называемый «лунно-белый», вероятнее всего предназначенный для сигнализации в районе Чесапикского залива, где часто бывают туманы. Карликовые сигнальные устройства, расположенные у самых рельсов, дополняют находящиеся выше; они словно созданы для крошечных составов. На самом деле они передают информацию поездам, движущимся на небольших скоростях по станционным путям. Красный огонь в них иногда заменяют фиолетовым, чтобы не отвлекать внимания машиниста поезда, следующего по главному пути.

Другой язык — это язык оповещения, используемый движущимися составами. Фонари, сигнальные флаги, короткие и длинные гудки — все они несут информацию. Четырьмя длинными гудками поезд сообщает о своем приближении к станции или пересечению дорог: «Не зевай!» Существует и сигнал-приветствие, который подают путевые обходчики, когда поезд мину-

Издательство МИР предлагает:

Г. Мошиц, П. Хорн ПРОЕКТИРОВАНИЕ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ

Перевод с английского

Книга специалистов из Швейцарии представляет справочное пособие по методам практического проектирования и настройки активных фильтров, находящих широкое применение в современной радиоаппаратуре. Для выбора параметров фильтров предусмотрено использование разнообразных вычислительных устройств — от программируемых карманных калькуляторов до мини-ЭВМ с программированием на языках Фортран или Бейсик. Приведены соответствующие программы.

Помещенный в книге материал и представленные схемы фильтров являются результатом многолетней деятельности авторов в качестве консультантов и разработчиков активных фильтров. Существует большое число электротехнических предприятий, которым требуется широкий выбор низкочастотных активных фильтров, и, кроме того, эти фильтры при наличии небольшой дополнительной информации могут быть существенно улучшены. Многие изготовители, для того чтобы обеспечить заданные характеристики, уже на последней стадии вводят в свои конструкции активные фильтры собственной конструкции, а потом вынуждены решать проблемы устойчивости и паразитного самовозбуждения либо в процессе изготовления, либо, что еще хуже, позже, в процессе

эксплуатации. Книга и предназначена в первую очередь для таких разработчиков.

В ней подробно представлено более двадцати хорошо опробованных схем активных фильтров для большинства возможных применений. При подготовке русского издания было решено дополнить ее разделом о использовании отечественных настольных вычислительных средств. Для этого переводчиком приведены программы для ПЭВМ «Искра-125» по всем рассмотренным схемам фильтров.

Основное содержание: Частотная характеристика и передаточные функции. Чувствительность и показатель качества. Функциональные узлы для каскадного проектирования фильтров. Расчетные уравнения и алгоритмы. Настройка активных фильтров. Проектирование активных фильтров n -го порядка. Практические рекомендации по проектированию активных фильтров. Записи программ для карманных калькулятора SR-59. Распечатка программы на языке Фортран для ЭВМ PDP-11. Распечатка программы на языке Бейсик для мини-ЭВМ TRS-80. Численная проверка программ. Программы для ПЭВМ «Искра-125».

Книга может использоваться разработчиками фильтров, радиолюбителями, а также аспирантами и студентами соответствующих специальностей вузов.

1984, 320 стр. Цена 1 р. 30 к.

Приобрести эту книгу вы можете по адресу:
121019 Москва, просп. Калинина, 26, п/я 42, магазин № 200
«Московский Дом книги».
Иногородним заказчикам книга высылается
наложенным платежом.



ет их в полном порядке. Вы тоже можете подать его, пару раз дернув за воображеный шнур от свистка над головой, и, если повезет, машинист весело прогудит вам в ответ.

Товарные вагоны также имеют свои сигналы. Они вкратце описаны в книге. Автор заканчивает ее небольшим экскурсом в железнодорожную «археологию»: о чем могут поведать старые пути и отслужившие свой срок локомотивы различных марок. Прочитав эту книгу, школьник, живущий поблизости от железной дороги, будь то главная магистраль или тихая ветка, наверняка загорится желанием понаблюдать за железнодорожными сигналами.

Джордж Анкона. Коллективный труд: иллюстрированный рассказ о бригадах и их работе

TEAM WORK: A PICTURE ESSAY ABOUT CREWS AND TEAMS AT WORK, by George Ancona. Thomas Y. Crowell (\$10.95)

«ДВА альпиниста, связанные веревкой, — вот единственно надежный путь покорения вершин». Двое идут в связке. Сначала она впереди, медленно поднимается по отвесной скале, вбивая металлические клинья в расщелины и закрепляя на них веревку. Он в это время внизу крепко держит другой конец веревки, обвязав его вокруг выступа скалы. Достигнув первой площадки, она закрепляет свой конец веревки и страхует партнера во время его подъема. Так, несколько раз меняясь ролями, они достигают наконец вершины. Все снаряжение, служившее им для подъема, также при них. Вот это команда!

Читатель познакомится с несколькими видами коллективного труда. Он узнает много подробностей о роли каждого члена «команды» и об инструментах, которыми они пользуются. Вначале автор рассказывает о бурильщиках, участвующих в разработке месторождений природного газа. Они работают посменно бригадой из четырех человек. Работа состоит в том, чтобы, наращивая тяжелые стальные трубы (каждая длиной около 10 м), постепенно углублять скважину. Бурение идет круглогодично. Лишь при слаженных действиях всех членов бригады достигается высокая скорость проходки.

Персонал больницы, состоящий из врачей и медсестер, съемочная группа, создающая фильмы, авторемонтный пункт, обслуживающий гоночные машины, ателье мод и команда гоночной яхты — все это примеры коллективного труда, на которых подробно останавливается автор. К достоинствам книги можно отнести и то, что юный читатель обогатит свой словарь многими новыми названиями, относящимися к той или иной профессии. Следу-

ет, однако, отметить, что деятельность каждой группы людей можно рассматривать в более широком социальном контексте. Так, двое альпинистов, о которых речь шла выше, не смогли бы совершить свое восхождение без специального снаряжения, точных карт, калорийной пищи и предоставленного им отпуска. Таким образом, этот рассказ о людях, непосредственно связанных друг с другом в процессе труда, можно считать лишь вступительной главой к будущим книгам, посвященным структуре современного общества.

Russ Walter. Как овладеть компьютером. Том I.

THE SECRET GUIDE TO COMPUTERS: Volume 1, by Russ Walter. Birkhäuser Boston, Inc. (paperbound, \$14.95)

В ПОСЛЕДНЕЕ время рынок технической литературы захлестнула волна руководств по микрокомпьютерам. К сожалению, многие из этих книг написаны чересчур замысловато и не могут принести большой пользы тем, на кого они рассчитаны. Тем более приятно отметить выход в свет этой замечательной книги, просто и увлекательно вводящей совершенно непосвященного читателя в мир персональных ЭВМ.

Первые четыре главы постепенно готовят читателя к диалогу с машиной, примерно так же, как детей учат родному языку. С самого начала вас приглашают к терминалу, чтобы вы смогли сами увидеть, как компьютер реагирует на ту или иную команду. Постепенно читатель все полнее овладевает языком Бейсик, осваивает операторы перехода, циклы, генератор случайных чисел, простейшие алгоритмы и, наконец, начинает сам писать довольно сложные разветвленные программы. Причем основы программирования изложены здесь настолько хорошо, что книга принесет немалую пользу и тем, кто хочет овладеть не только Бейсиком, но и более сложными языками программирования. Остальные главы посвящены истории вычислительной техники, устройству компьютеров и их применению. Читатель узнает о том, как устроены и работают микросхемы, магнитные диски и печатающие устройства, получит представление о графических возможностях персональных ЭВМ и о том, в какие игры они могут играть. Именно эти главы книги удалось Уолтеру лучше всего. Он старается нигде не обходить стороной те мелкие, но досадные сложности, с которыми неизбежно сталкивается любой начинающий программист, но которые обычно выпадают из поля зрения авторов книг и учебников. В результате чтение книги напоминает разговор с хорошим специалистом. Стиль изложения

предельно прост, полон юмора и совсем не напоминает специальную техническую литературу.

Грейс Мармур Спрач. Такие славные друзья: городские белки.

Иллюстрации Нури Карлен
SUCH AGREEABLE FRIENDS: LIFE WITH A REMARKABLE GROUP OF URBAN SQUIRRELS, by Grace Marmur Spruch. Drawings by Nurit Karlin. William Morrow and Company, Inc. (\$9.95)

БЕЛКИ — олицетворение того, ради чего мы стремимся за город. Но они живут и в городах. Очаровательная книга Грейс Спрач, написанная с любовью и пристрастием, но совершенно объективно, представляет собой с большим искусством составленную повесть-хронику, материалом для которой послужил дневник наблюдений за жизнью белок в городе и в сельской местности. Автор, по специальности физик и притом незаурядный, вела его в течение десяти лет и во всех подробностях изучила этих изящных, на первый взгляд незатейливых, а на самом деле не очень понятных грызунов. Ее муж (тоже физик), человек терпеливый и с чувством юмора, называет свою увлеченную белками супругу «однолицейной Грейси». Ее теоретические рассуждения построены главным образом на энтузиазме, но это не умаляет их проницательности: в книге немало тонких замечаний, и не только о белках, но и о людях тоже.

Предмет наблюдений Спрач — типичные для восточных штатов серые белки. Все началось в 1970 г., когда одна отважная белочка пробралась через неплотно прикрытый дымоход и очутилась на шестом этаже дома на Восьмой улице, в котором жили тогда супруги Спрач. С тех пор многие часы Грейс провела с белками — то забавляясь с ними, то просто наблюдая, то устраивая разные эксперименты, порой теряя терпение, — конечно, недолго. Научившись разбираться в беличьей внешности и повадках, читатель обнаружит, что среди «героев» книги нет и двух одинаковых. За многими животными Спрач наблюдала полгода, так что вся их жизнь, с детства до старости, проходила перед ее глазами. Помимо Грейс с мужем в занятиях с белками принимали живое участие и другие лица, включая видных этологов и даже зубного врача, который как-то предложил сделать большой белочке мост (ветеринар, разумеется, просто поставил бы пломбу).

Способностям белок совершать огромные прыжки (и грызть большие твердые орехи) Спрач нашла убедительное объяснение. С точки зрения кинематики прыжание белки подобно движению скачащего мяча. Зверьки запро-

сто подпрыгивали на добрый метр вверх (при том, что в случае промаха падать пришлось бы с большой высоты, ведь «лаборатория» находилась на шестом этаже; но они никогда не промахивались), а чтобы спуститься, белки не прыгали, а всегда сползали вертикально вниз.

Белки, живущие в сельской местности, имеют свои особенности. Справчи жили некоторое время близ Кембрида, шт. Массачусетс. Недоверчивые и своенравные, сельские белки живут, по мнению Грейс, прекрасно: вокруг масса деревьев, собаки неголодные, машин мало. И с людьми у них нет ничего общего. Жители городов относятся к белкам с умилением, как к дорогой сердцу последней связи с природой; они любят кормить их, порой подбирают больных зверьков и ухаживают за ними. А за городом белки в общем-то причиняют ущерб: они пачкают и портят чердаки, уничтожают птичий корм.

«История» белок на Восьмой улице еще не окончена. Несколько лет их там было мало, но сейчас они вновь возвращаются. Деятельность натуралиста-любителя Грейс Справч — хороший и очень нужный городским детям пример для подражания. Ее книга невелика по размеру, но полна искренности и достаточно серьезна, так что ценность ее несомненна.

Андреас Файнингер. РАКОВИНЫ: ФОРМЫ И УЗОРЫ МОРЯ SHELLS: FORMS AND DESIGNS OF THE SEA, by Andreas Feininger. Dover Publications, Inc. (\$8.95)

Утамаро. ПЕСНИ САДА. С комментариями Ясухо Бетяку и Джоан Б. Мирвисс. Цветное факсимильное издание SONGS OF THE GARDEN, by Utamaro. Annotation by Yasuko Betchaku and Joan B. Mirviss. Metropolitan Museum of Art and The Viking Press (\$19.95)

ПРЕДСТАВИТЬ реальность в зрительных образах — важная задача для ученого, но для художника это суть его работы. В обеих книгах читатель найдет зримое воплощение красоты и разнообразия окружающего нас мира. И в том и в другом издании оно не выходит за рамки реализма, но не стеснено никакой классификацией, никакой системой, кроме присущего всему естественного порядка. Обе книги доступны самым юным читателям, но и искусшенные взрослые отпадут им должное. Что касается библиотек, то там такие издания всегда пользуются спросом.

Фотограф Андреас Файнингер увидел в раковинах не «образцы», не «экземпляры», а предметы, достойные восхищения и любования как объекты эстетического восприятия. На компо-

зиционно продуманных снимках раковины предстают крупным планом, освещенные так, что форма подчеркнута контрастом света и тени. Трудно удержаться от описания хотя бы одного из этих великолепных созданий природы, превращенных автором в произведения искусства: изысканно окрашенные раковины так называемой королевской пурпурной оливы* напоминают череду уходящих за горизонт сверкающих горных вершин. В книге представлены 152 выбранные фотографии из опубликованного десять лет назад более обширного издания.

Китагава Утамаро** — автор пятнадцати рисунков, которые служат иллюстрациями к циклу шутливых стихов о любви. На них изображены насекомые (сверчки, слепни, мешочки, манты) в привычной для них обстановке — на садовых растениях, видовую принадлежность которых, кстати, можно по рисункам вполне точно определить. Эта книга была впервые опубликована в Японии в 1788 г. под названием, которое можно перевести просто как «Книга о насекомых». В послесловии к ней старый мастер, у которого Утамаро учился живописи и рисунку, написал о нем: «Он с детства находил удовольствие в наблюдении мелочей и подробностей». Одаренный гравер вырезал шедевры Утамаро на досках из вишневого дерева, и они сохранились для нас со всеми драгоценными деталями. В комментариях к книге Ясухо Бетяку и Джоан Б. Мирвисс приводят названия всех «героев» рисунков и растений, среди которых они действуют. Даётся также и перевод стихотворений, которые, пожалуй, чересчур изысканы для современного мира. Изданье в целом прекрасная возможность для читателя, пока глаза его еще молоды, научиться видеть красоту в малом и простом.

Сильвия А. Джонсон. БОЖЬИ КОРОВКИ. Цветные фотографии Юко Сато. LADYBUGS, by Sylvia A. Johnson. Photographs in color by Yuko Sato. Lerner Publications Company (\$8.95)

ПОЛОВИНУ первой страницы небольшой легко читающейся книжки занимает фотография сидящей на ве-

* Оливы закапываются в грунт и остаются там подолгу в вертикальном положении, так что наружу выступают лишь вершины раковин. — Прим. ред.

** Китагава Утамаро (1753—1806) — японский мастер рисунков для цветной гравюры на дереве и живописи. Прославился портретами гейш квартала Йосивара в Эдо, где он жил и работал (альбом гравюр «Ежегодник зеленых домов Йосивара»). Рисунки «Книги о насекомых» также принадлежат к числу известнейших его произведений. — Прим. ред.

точке ярко-оранжевой в черный горошек божьей коровки. Совсем маленький жучок выглядит на снимке размером с ладонь. Текст (авторизованный перевод с японского) начинается с не вызывающего сомнений наблюдения: никакое другое насекомое не может занять то место в природе, на котором прекрасно себя чувствуют эти маленькие хищники с невинным названием — божьи коровки. (Интересно, как в их случае выполняется биогенетический закон Геккеля — Мюллера?)

На прекрасных цветных фотографиях, сделанных с увеличением, перед читателем предстает весь жизненный цикл божьих коровок: спаривание, откладывание яиц, личинки (питающиеся и в процессе линьки), куколки и, наконец, взрослые особи во всей красе. Узор из точечек на надкрыльях изменчив и не может служить надежным видовым признаком. Менее других варьируют в этом отношении самые обычные божьи коровки — красные с семью черными крапинками. Основная жертва божьих коровок — тли. Челюсти жуков достаточно крепки, чтобы без труда справляться с ними. Но против муравьев* с их жесткими покровами божьи коровки могут применить лишь тактику пассивной защиты наподобие черепах, в минуту опасности втягивающих голову и лапы под панцирь. Божьи коровки охотятся на земле. Летают они преимущественно в особых ситуациях, скажем «получив известие, что их дом горит». У них две пары крыльев: жесткие ярко окрашенные передние крылья, или надкрылья, а из-под них для полета расправляются прозрачные перепончатые крылья второй пары. Яркая окраска — защитное приспособление; она предупреждает о том, что ее обладатель несъедобный. Действительно, если птице или еще кому-нибудь случится схватить божью коровку, у той из пор в сочленениях ног выделяется едкая, противно пахнущая оранжевая жидкость (гемолимфа).

Для того чтобы использовать божьих коровок для защиты от тлей садов, полей и огородов, надо в первую очередь собрать их в большом количестве. Это вполне возможно, так как в зимнюю спячку божьи коровки впадают коллективно: они скапливаются во множестве в укромных местах с подходящими условиями и «засыпают». В течение зимы жуки находятся в оцепенении — они как бы заморожены, а весной «оттаивают» и расползаются в поисках пищи.

* «Конфликт» между муравьями и божьими коровками возникает на почве того, что коровки поедают тлей, а муравьи, напротив, охраняют их, так как пользуются выделяемой тлями сладкой жидкостью, которая называется медянной росой. — Прим. ред.

Книга понравится любителям наблюдать животных вблизи, старших школьников привлечет описание жизненного цикла, а те, кто хочет просто познакомиться с божими коровками, получат полезную информацию.

ЧАРЛЗ ДАРВИН И ТОМАС Г. ГЕКСЛИ. Автобиографии. С предисловием Гэвина де Бира
CHARLES DARWIN AND T.H. HUXLEY. AUTOBIOGRAPHIES, edited with an introduction by Gavin de Beer. Oxford University Press (\$5.95)

НА 68-м году жизни, летом, Чарлз Дарвин написал автобиографию, желая оставить внукам историю своей жизни. Его серьезная и добрая, полная чувства и обаяния книга, разумеется, нашла читателя и за пределами семейного круга. Полностью она вышла в свет только в 1960 г., а до этого публиковалась с купюрами, сделанными родственниками по религиозным причинам.

Томас Генри Гексли, точно верный пес, самоотверженно защищал идеи Дарвина. Он сам был видным ученым и писателем, отличавшимся ясностью стиля и гибкостью ума. Гексли возглавлял «новую реформацию», как он называл движение за пропаганду эволюционного учения и его приложений. В возрасте 64 лет Гексли описал свою жизнь со свойственной ему остротой и мудростью, но, пожалуй, чересчур кратко, чтобы удовлетворить любопытство читателя.

Две автобиографии удачно объединены в одном издании (в мягкой обложке), которое очень украшают фотографии современников Дарвина и Гексли, пейзажей того времени и т.п. Г. де Бир включил в книгу также дополнительные материалы, создающие нужный фон и в то же время несущие собственную смысловую нагрузку. Немного найдется биографий, которые бы читались с таким интересом, как эта «викторианская» книга.

Джил Бейли. Ноги разных животных.
ANIMALS OF COURSE! FEET, by Jill Bailey. G.P. Putnam's Sons (\$3.95)

ВКНИГЕ всего 12 страниц, но они плотные, как игральные карты, и большие, как листы из альбома для рисования. На каждой — цветная фотография странного на первый взгляд предмета, под которой стоит один и тот же вопрос: «У кого такие ноги?», а на обратной стороне — ответ в виде картинки. На обороте последней страницы картинки нет и написано: «Конечно, у нас». Это забавное издание предназначено для самых маленьких

читателей. Помимо него в свет выходят еще три подобные книги.

Эдвард Риккитти. Дикие обитатели Нью-Йорка и где их можно увидеть. Иллюстрации Сюзанны Эмес
THE NEW YORK CITY WILDLIFE GUIDE: WILD CREATURES OF NEW YORK CITY AND WHERE TO FIND THEM, by Edward R. Ricciuti. Illustrations by Suzanne Connah Ames. Nick Lyons Book Schoken Books (paperbound, \$9.95)

M. Р. Монтгомери, Джеральд Л. Фостер. Самолеты северной Америки. Иллюстрации Джеральда Л. Фостера
A FIELD GUIDE TO AIRPLANES OF NORTH AMERICA, by M.R. Montgomery and Gerald L. Foster. Illustrations by Gerald L. Foster. Houghton Mifflin Company (\$11.95)

НА Манхэттане живут змеи, в Бруклине — кулики, в Куинсе — фазаны, в Бронксе — лисы, в Ричмонде — ондатры*. Для жителей Манхэттана змеи — отнюдь не метафора, ведь им приходится сражаться со скопищами ни в чем не повинных гадов, которыми буквально кишит Бродвей. Это настоящие змеи, чаще всего северная коричневая (она же змея Де-Кея) длиной около тридцати сантиметров с двумя рядами темных пятен. Все эти виды прекрасно приспособились к жизни в городе: он предоставляет им кров и вдоволь червей и насекомых на заваленных мусором пустырях где-нибудь в Гринч-Виллидже. «Фактически в городе их обитает больше, чем в прилегающих к нему районах».

Обычно в городе несколько теплее, чем в окрестностях, а воздух и вода загрязнены сильнее. Миллионы голубей гнездятся на карнизах зданий, а иногда здесь поселяется и их смертельный враг — хищный сокол сапсан. Город с его отбросами — это поставщик пищи, особенно на помойках и свалках. Здесь пишут наиболее удачливые из диких животных и птиц — еноты, опоссумы, вороны, белки и серые крысы. Они ведут жизнь нищих: роются в отбросах, крадут или тайком грызут что-нибудь в темном углу. Следующее звено в этой цепи естественно соединяется с предыдущим: покуда в городе изобилуют крысы и белки, найдется еда и для ямайского канюка. Обычно он описывает круги высоко над помойкой или свалкой или же восседает на одном из телеграфных столбов возле Центрального парка или Проспект-парка. Следует сказать, что длинные газоны по обочинам и в середине дорожных магист-

* Манхэттан, Бруклин, Куинс, Бронкс, Ричмоид — названия районов, на которые делится город Нью-Йорк. — Прим. ред.

ралей в последние годы остаются не-подстриженными и зарастают буйными сорняками: озабоченный город пытается сэкономить на своем облике. Эти газоны настоящие царство мышей и насекомых, патрулируемое с воздуха зоркой пустельгой, для которой скрестная магистраль ничем не хуже открытой степи. Попробуйте понаблюдать за этим ярким маленьким соколом, если вы застряли в автомобильной пробке.

В этой небольшой книге перечислены и описаны около 120 видов животных — от арктической медузы, которую море часто выбрасывает на городские пляжи, до маленького бурого козана и большой голубой цапли. В ней вы найдете множество рисунков животных — обитателей города — и советы, где и когда их можно встретить. Не забудьте, что наилучшую возможность для наблюдений за дикой природой предоставляют два десятка парков во всех пяти районах Нью-Йорка.

А теперь желающие могут заняться наблюдением за двукрылыми — созданием рук человека, попытавшегося таким образом компенсировать отсутствие собственных крыльев. Это книга о самолетах — первая в Америке попытка снабдить исчерпывающим и в то же время увлекательным справочником всех, кто любит наблюдать летающие машины. Авторы книги, описавшие около 300 моделей самолетов, живут неподалеку от аэропорта, расположенного к западу от Бостона. Все типы самолетов они объединяют по основным признакам в 10 больших групп, среди которых есть такие, как бипланы, самолеты-опылители, а также грузовые, пассажирские и военные. В книге представлены все серийно выпускаемые американские самолеты, а также многие иностранные, регулярно совершающие полеты в США.

При чтении книги напрашивается вывод: создавая самолеты одного и того же назначения, авиаконструкторы всех стран и компаний неизбежно приходят почти к одним и тем же решениям. Достаточно взглянуть на аэробус A-300, построенный совместно рядом европейских фирм, и очень похожий на него американский «Боинг-767» или почти не отличимые друг от друга японский и канадский грузовые самолеты. Эти и многие другие примеры убедительно подтверждают существование того, что авторы называют «ограничениями, которые законы аэродинамики накладывают на воображение конструктора».

Роберт Гарднер. Наблюдая за китами. Иллюстрации Дон Синети
THE WHALE WATCHER'S GUIDE, by Robert Gardner, illustrated by Don Sineti. Julian Messner (paperbound, \$5.95)

Библиография

Небольшая по объему книга содержит зарисовки более двух десятков экземпляров этих поразительных животных. На некоторых рисунках киты изображены крупным планом, как если бы мы наблюдали их сквозь стекло гигантского аквариума. Однако наиболее удачны те рисунки, на которых эти обитатели моря показаны такими, какими их видят наблюдатель в естественных условиях, если ему сопутствовала удача. Приблизительно половину книги занимает текст — общие сведения о китах. Наступит ли время, когда этих гигантов будут разводить на специальных фермах в лагунах атоллов, а охота на них будет полностью запрещена?

Иллюстрированная энциклопедия животных. Под редакцией Ф. Уайтфилда

MACMILLAN ILLUSTRATED ANIMAL ENCYCLOPEDIA, edited by Dr. Philip Whitfield. Macmillan Publishing Company (\$35)

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ открывается рисунком, изображающим австралийскую ехидну, в конце книги другой рисунок — на нем читатель увидит рыбью-луна, а между ними иллюстрации 2000 видов животных, объединенных в более крупные категории в зависимости от того, покрыты они мехом, перьями или чешуей. Достаточно упомянуть, что на двух листах цветных вклеек изображены свыше 20 видов кроликов. Каждый рисунок сопровождается кратким описанием вида животного, включая данные о его размерах и среде обитания.

Майкл Бентон. Энциклопедия динозавров
THE DINOSAUR ENCYCLOPEDIA, by Dr. Michael Benton. Simon & Schuster, Inc. (paperbound, \$5.95)

ЭТА небольшая по объему, но богато иллюстрированная книга описывает и классифицирует 130 различных видов динозавров. В книгу включены наиболее известные разновидности этих доисторических животных. Их изображения сделаны на основе реконструкций.

АТОМНАЯ «ПАМЯТЬ»

TIME-REVERSAL EXPERIMENTS IN DIPOLEAR-COUPLED SPIN SYSTEMS. W.-K. Rhim, A. Pines and J.S. Waugh in *Physical Review B*, Vol. 3, No. 3, pages 684-695; February 1, 1971.

COHERENT OPTICAL SPECTROSCOPY. Richard G. Brewer in *Aux Frontières de la Spectroscopie Laser-Frontiers in Laser Spectroscopy*, edited by Roger Balian, Serge Haroche and Sylvain Liberman. North-Holland Publishing Company, 1977.

MICROSCOPIC THEORY OF OPTICAL LINE NARROWING OF A COHERENTLY DRIVEN SOLID. A. Schenzle, M. Mitsuaga, R. G. DeVoe and R. G. Brewer in *Physical Review A*, Vol. 30, No. 1, pages 325-335; July, 1984.

Абрагам А., Гольдман М. Ядерный МАГНЕТИЗМ: ПОРЯДОК И БЕСПОРЯДОК. В 2-х томах. Перев. с англ. — М.: Мир, 1984.

BLIND DECONVOLUTION THROUGH DIGITAL SIGNAL PROCESSING. Thomas G. Stockham, Thomas M. Cannon and Robert B. Ingebretsen in *Proceedings of the IEEE*, Vol. 63, No. 4, pages 678-692; April, 1975.

DIGITAL AUDIO TECHNOLOGY. T. Doi, H. Nakajima, J. Fukuda and A. Iga. Tab Books Inc, 1983.

Голд Б., Рэйдер Ч. ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ. — М.: Советское радио, 1973, с. 203-232.

Оппенгейм, Шефер, Стокхэм-мл. НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ВИДЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ И СВЕРТКИ. — М.: ТИИЭР, 1968, т. 56, № 8, с. 5-34.

Стокхэм-мл., Кэннон, Ингебретсен. ЦИФРОВОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ СИГНАЛОВ ПОСРЕДСТВОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ ИНВЕРСНОЙ СВЕРТКИ. — М.: ТИИЭР, 1975, т. 63, № 4, с. 160.

КАК ЭМБРИОНАЛЬНЫЕ КЛЕТКИ УЗНАЮТ ДРУГ ДРУГА

EMBRYONIC DEVELOPMENT OF IDENTIFIED NEURONES: DIFFERENTIATION FROM NEUROBLAST TO NEURONE. Corey S. Goodman and Nicholas C. Spitzer in *Nature*, Vol. 280, No. 5719, pages 208-214; July 19, 1979.

GUIDANCE OF NEURONAL GROWTH CONES: SELECTIVE FASCICULATION IN THE GRASSHOPPER EMBRYO. J.A. Raper, M.J. Bastiani and C.S. Goodman in *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, Vol. 48, pages 587-598; 1983.

NEURONAL GROWTH CONES: SPECIFIC INTERACTIONS MEDIATED BY FILOPODIAL INSERTION AND INDUCTION OF COATED VESICLES. Michael J. Bastiani and Corey S. Goodman in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 81, No. 6, pages 1849-1853; March, 1984.

CELL RECOGNITION DURING NEURONAL DEVELOPMENT. Corey S. Goodman, Michael J. Bastiani, Chris Q. Doe, Sascha du Lac, Stephen L. Helfand, John Y. Kuwada and John B. Thomas in *Science*. Vol. 225, No. 4668, pages 1271-1279; September 21, 1984.

ЦИФРОВОЙ МЕТОД ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЗВУКА

PROBABILITY OF ERROR FOR OPTIMAL CODES IN A GAUSSIAN CHANNEL. Claude E. Shannon in *The Bell System Technical Journal*, Vol. 38, No. 3, pages 611-656; May, 1959.

КАК ПЕСЧАНЫЙ СКОРПИОН НАХОДИТ СВОЮ ЖЕРТВУ

COMPRESSIVE AND SURFACE WAVES IN SAND: USED BY DESERT SCORPIONS TO LOCATE PREY. Philip H. Brownell in *Science*, Vol. 197, No. 4302, pages 479-482; July 29, 1977.

PREY-LOCALIZING BEHAVIOUR OF THE NOCTURNAL DESERT SCORPION. *PARUROCTONUS MESAENSIS*: ORIENTATION TO SUBSTRATE VIBRATIONS. Philip Brownell and Roger D. Farley in *Animal Behaviour*, Vol. 27, Part 1, pages 185-193; February, 1979.

FEEDING AND EXCRETION IN THE SCORPION *PARUROCTONUS MESAENSIS*: WATER AND MATERIAL BALANCE. Stanley Yokota in *Journal of Experimental Biology*, Vol. 110, pages 253-265; 1984.

ЛЕСНОЕ ДРЕВОВОДСТВО

M. Boulay, LA MICROPROPAGATION DES ARBRES FORESTIERS in *Comptes rendus des séances de l'Académie d'agriculture de France*, n° 8, pp. 697-706, 1980.

D.X. Destremau, LA LIGNICULTURE, RÉALITÉ ET PROSPECTIVE in *Informations-Forêt*, n° 2, fascicule 105, pp. 71-78, 1978.

B. Martin, INTÉGRATION DE LA RÉFLEXION GÉNÉTIQUE DANS LA GESTION FORESTIÈRE, Ecole nationale du GREF, septembre 1979.

C.J. Shelbourne, PREDICTED GENETIC IMPROVEMENT FROM DIFFERENT BREEDING METHODS, FAO, 2nd World Congress on Forest Tree Breeding, 1969.

G. Touzet, LES BASES ANCIENNES DE LA

Издательство МИР предлагает:

P. Эйрес, С. Миллер

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РОБОТОТЕХНИКИ

Перевод с английского

Одной из важнейших задач при комплексной автоматизации промышленности является создание гибких автоматизированных производств с робототехническими системами. Однако выбору наиболее целесообразных типов робототехнических систем, обеспечивающих решение проблем автоматизации технологических процессов, уделяется недостаточно внимания. В данной книге рассмотрены основные типы робототехнических систем и способы их модернизации, снижающие стоимость изготовления изделий в автоматизированных производствах. Обсуждаются предельные возможности роботов в различных условиях эксплуатации. Приведены конкретные схемы применения роботов в поточных линиях, для добычи полезных ископаемых, подъема затонувших судов и выполнения отдельных работ в космическом пространстве, а также в исследовании планет Солнечной системы.

Изложение иллюстрируется примерами из опыта использования роботов в промышленности США и Японии.

Книга предназначена для научных работников и инженеров, занимающихся разработкой и использованием роботов.

1986, 21 л. Цена 1 р. 80 к.

Предварительные заказы на книги выпуска 1986 г. принимаются магазинами —

опорными пунктами издательства «Мир» с января — февраля, а остальными магазинами научно-технической литературы с апреля — мая 1985 г.

Издательство заказов не принимает



CULTURE D'ARBRES FORESTIERS in *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France*, vol. 69, n° 10, pp. 733-740, 1983.

G. Touzet, PERSPECTIVES D'AVENIR DE LA CULTURE D'ARBRES in *Bulletin de la Société royale forestière de Belgique*, n° 6, pp. 305-315, 1983.

CROSS-WAVES, PART 2: EXPERIMENTS. B. J. S. Barnard and W. G. Pritchard in *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 55, Part 2, pages 245-255; September 26, 1972.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

DATA STRUCTURE TECHNIQUES. Thomas A. Standish. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1980.

INTRODUCTION TO COMPUTER SIMULATION: THE SYSTEMS DYNAMICS APPROACH. Nancy Roberts, David F. Andersen, Ralph M. Deal, Michael S. Garet and William A. Schaffer. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1983.

Андианов А.Н., Бычков С.П., Хоршилов А.И. ПРОГРАММИРОВАНИЕ НА ЯЗЫКЕ СИМУЛА-67. — М.: Наука, 1985.

Вирт Н. АЛГОРИТМ + СТРУКТУРА ДАННЫХ = ПРОГРАММА. Перев. с англ. — М.: Мир, 1985.

Шенон Р. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ — ИСКУССТВО И НАУКА. Перев. с англ. — М.: Мир, 1978.

МЫСЛЕННОЕ ВРАЩЕНИЕ ОБЪЕКТА

MENTAL ROTATION OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS. R. N. Shepard and J. Metzler in *Science*, Vol. 171, No. 3972, pages 701-703; February 19, 1971.

MENTAL ROTATION OF RANDOM TWO-DIMENSIONAL SHAPES. Lynn A. Cooper in *Cognitive Psychology*, Vol. 7, No. 1, pages 20-43; January, 1975.

PERCEPTION. Julian E. Hochberg. Prentice-Hall, Inc., 1978.

ECOLOGICAL CONSTRAINTS ON INTERNAL REPRESENTATION: RESONANT KINEMATICS OF PERCEIVING, IMAGINING, THINKING AND DREAMING. R. N. Shepard in *Psychological Review*, Vol. 91, No. 4, pages 417-447; October, 1984.

Величковский Б.М. СОВРЕМЕННАЯ КОГНИТИВНАЯ ПСИХОЛОГИЯ. — М.: Издательство МГУ, 1982.

КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ В ИСПАНИИ XVIII ВЕКА

THE "SANTISIMA TRINIDAD". In *The Mariner's Mirror*, Vol. 3, No. 8, page 249; August, 1913.

NELSON. Carola Oman. The Reprint Society, London, 1950.

THE TRANSIENT PRESENCE: A REAPPRAISAL OF SPANISH ATTITUDES TOWARD THE NORTHWEST COAST IN THE EIGHTEENTH CENTURY. Christon I. Archer in *BC Studies*, No. 18, pages 3-32; Summer, 1973.

THE CENTURY BEFORE STEAM. Alan McGowan. National Maritime Museum, Her Majesty's Stationery Office, 1980.

LA ARMADA ESPAÑOLA EN EL SIGLO XVIII. José P. Merino Navarro. Fundación Universitaria Española, 1981.

Авраамов Н. ТРАФАЛЬГАРСКОЕ СРАЖЕНИЕ. — М.: Воениздат, 1938.

Гальдос Бенито Перес. ТРАФАЛЬГАР. Перев. с исп. — М.: Госиздат, 1961.

Шершов А.П. К ИСТОРИИ ВОЕННОГО КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ. — М.: Воениздат, 1952.

НАУКА ВОКРУГ НАС

ON CROSS-WAVES. C. J. R. Garrett in *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 41, Part 4, pages 837-849; May 15, 1970.

CROSS-WAVES, PART 1: THEORY. J. J. Mahony in *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 55, Part 2, pages 229-244; September 26, 1972.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 21.1.85.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 ¼.
Гарнитура таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,00 бум. л.

Усл.-печ. л. 12,00.

Уч.-изд. л. 15,18.

Усл. кр.-отт. 46,36.

Изд. № 36/4197. Заказ 68

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»
Государственного комитета СССР
по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли.
127576, Москва, Илимская, 7

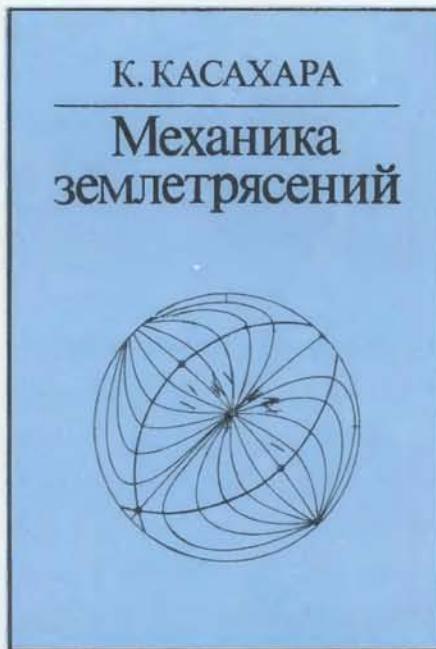


Издательство МИР предлагает:

K. Касахара

МЕХАНИКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Перевод с английского



Вводный курс в механику землетрясений, написанный известным японским ученым. Книга содержит богатый фактический материал, который проанализирован с учетом основных решенных задач механики и гипотез сейсмологов.

Краткое содержание: Общий очерк сейсмологии. Магнитуда землетрясений и объем очага. Диаграмма направленности излучения сейсмических волн. Фо-

кальный механизм. Характеристика разрывов, приводящих к землетрясениям. Перемещение в пространстве зон дислокаций в земной коре. Физика фокальных процессов. Землетрясения и текtonика. Предсказание землетрясений.

Для механиков, сейсмологов, математиков-прикладников, студентов и аспирантов университетов.

1985, 18 л. Цена 2 р.



В следующем номере:



ИЗ ИСТОРИИ ОРУЖИЯ. АРБАЛЕТ

КОЛЛАПС И ОБРАЗОВАНИЕ ЗВЕЗД

КАК МЛАДЕНЦЫ ВОСПРИНИМАЮТ РЕЧЬ

ПРИЧИНЫ БОЛЕЗНИ АЛЬЦГЕЙМЕРА —
ОДНОГО ИЗ ВИДОВ СТАРЧЕСКОГО СЛАБОУМИЯ

ГОРЯЧАЯ ЯДЕРНАЯ МАТЕРИЯ —
НОВОЕ ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА

СТОЯНКИ ДРЕВНЕЙШИХ ЛЮДЕЙ В СИБИРИ

ПАМЯТЬ ЭВМ. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ НАДЕЖНОСТИ

РЕАКТИВНЫЙ МЕХАНИЗМ ДВИЖЕНИЯ КАЛЬМАРА

КАК ОБНАРУЖИТЬ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ
В ИНТЕНСИВНОСТИ ВЫПАДЕНИЯ ДОЖДЕВЫХ ОСАДКОВ

ПРОГРАММА-ПСИХИАТР
БЕСЕДУЕТ С ПРОГРАММОЙ-ПАЦИЕНТОМ