

# В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC  
AMERICAN

*Издание на русском языке*



*Апрель* **4** 1986

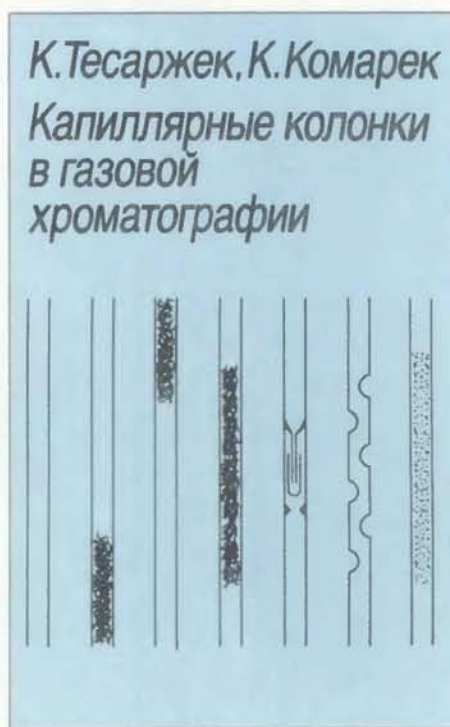
СРЕДНЕВЕКОВАЯ  
АСТРОНОМИЯ

Издательство МИР предлагает:

К. Тесаржек, К. Комарек

КАПИЛЛЯРНЫЕ КОЛОНКИ  
В ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Перевод с чешского



Авторы книги — известные чешские исследователи в области капиллярной хроматографии — в небольшой книге сумели охватить все основные аспекты капиллярной хроматографии: основы теории капиллярных колонок в газовой хроматографии, методы их получения, особенности аппаратуры, используемой в капиллярной хроматографии, основные направления ее практического применения.

Из отзыва профессора В.Г. Березкина: «Активное использование капиллярных колонок объясняется прежде всего их большой эффективностью и, следовательно, большей разрешающей способностью по сравнению с обычными насадочными колонками».

Для химиков-аналитиков, специалистов в области нефтехимии, фармацевтической химии, биохимии.

1987, 12 л. Цена 2 р.

Предварительные заказы на книги выпуска 1987 г.  
принимаются магазинами научно-технической литературы  
с апреля-мая 1986 года.





# В МИРЕ НАУКИ

*Scientific American* · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 4 · АПРЕЛЬ 1986

*В номере:*

**СТАТЬИ**

- 4 **Т-клетка и ее рецептор** *Филиппа Маррак, Джон Капплер*  
Т-клетки играют ключевую роль в способности организма бороться с вирусными инфекциями, а также участвуют в отторжении пересаженной чужеродной ткани. Сейчас становятся понятными молекулярные механизмы этих процессов  
(Scientific American, February 1986, Vol. 254, No. 2)
- 16 **Средневековая астрономия в странах ислама** *Оуэн Гингерич*  
В средние века астрономия, находившаяся в застое в Европе, переживала расцвет в странах ислама. Астрономы эпохи Возрождения учились по сочинениям исламских ученых, которые в свою очередь сохранили и развили достижения древних греков  
(Scientific American, April 1986, Vol. 254, No. 4)
- 28 **Сейсмические изображения границ литосферных плит** *Джон С. Маттер*  
Посылая акустические сигналы, отражающиеся от слоев породы под морским дном, и регистрируя отраженные импульсы с помощью большого числа детекторов, можно получить «изображения» структуры земной коры в областях сближения и раздвижения литосферных плит  
(Scientific American, February 1986, Vol. 254, No. 2)
- 40 **Сердце как эндокринная железа** *Марк Кантен, Жак Жене*  
Сердце — это не просто насос. Недавно было обнаружено, что в предсердиях вырабатывается гормон — предсердный натрийуретический фактор. Это вещество, взаимодействуя с другими гормонами, обеспечивает тонкую регуляцию давления и объема крови  
(Scientific American, February 1986, Vol. 254, No. 2)
- 48 **Воссоздание филогенеза птиц по результатам сопоставления ДНК**  
*Чарлз Дж. Сибли, Джон Э. Олквист*  
Различия между ДНК отражают дивергенцию видов в ходе эволюции. Это позволяет воссоздать картину ветвления линий эволюционного развития, оценить время их расхождения и создает основу для классификации птиц, существующих в настоящее время  
(Scientific American, February 1986, Vol. 254, No. 2)
- 60 **Искусство каменной кладки у инков** *Жан-Пьер Протцен*  
Сохранившиеся сооружения инков сложены из огромных каменных блоков, так тщательно подогнанных друг к другу, что в швы не входит и лезвие ножа. Какие способы применяли инки для добычи, резки, обработки и транспортировки камней? В поисках ответов на эти вопросы автор попробовал сам тесать и обрабатывать камни в одной из старых каменоломен инков  
(Scientific American, February 1986, Vol. 254, No. 2)
- 70 **Вильям Гершель и становление современной астрономии** *Майкл Хоскин*  
Вильям Гершель открыл тысячи звезд и туманностей с помощью телескопов, которые построил сам. Его наблюдения и выводы раздвинули границы астрономии, включив в них исследование объектов за пределами Солнечной системы  
(Scientific American, February 1986, Vol. 254, No. 2)
- 78 **Солнечные протуберанцы** *Х. Л. Бальестер, Й. Клечек*  
Среди наиболее впечатляющих явлений, наблюдаемых в атмосфере Солнца, выделяются так называемые протуберанцы — выступы, видимые на краю диска светила  
(Investigacion y Ciencia, Número 109, Octubre 1985)

**РУБРИКИ**

- 3 Об авторах
- 15 50 и 100 лет назад
- 27, 47, 69, 92, 99 Наука и общество
- 88 Наука вокруг нас
- 94 Занимательный компьютер
- 107 Библиография



# SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel  
PRESIDENT AND EDITOR  
BOARD OF EDITORS

Philip Morrison  
BOOK EDITOR

Armand Schwab, Jr.  
Timothy Appenzeller  
John M. Benditt  
Peter G. Brown  
David L. Cooke, Jr.  
Ari W. Epstein  
Michael Feirtag  
Gregory R. Greenwell  
Robert Kunzig  
James T. Rogers  
Ricki L. Rusting

Samuel L. Howard  
ART DIRECTOR  
Richard Sasso  
PRODUCTION MANAGER

George S. Conn  
GENERAL MANAGER

Gerard Piel  
CHAIRMAN

© 1986 by Scientific American, Inc.

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

## В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР  
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА  
Л. В. Шепелева

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

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

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР  
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ  
И. В. Лунёва

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОАБОРА  
Г. С. Азимов

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР  
Л. П. Чуркина

КОРРЕКТОР  
Р. Л. Вибке

ОФОРМЛЕНИЕ РУССКОГО ИЗДАНИЯ  
М. Г. Жуков

ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ  
В. В. Ефимов

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

ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ  
286.2588

© перевод на русский язык  
и оформление, «Мир», 1986.

## На обложке



## СРЕДНЕВЕКОВАЯ АСТРОНОМИЯ В СТРАНАХ ИСЛАМА

На фотографии изображена медная астролябия — двумерная «карта» неба, широко использовавшаяся в средние века исламскими астрономами (см. статью О. Гингерича «Средневековая астрономия в странах ислама» на с. 16). Остроконечные указатели на подвижном резном диске («пауке») определяют положение основных звезд. Путем вращения «паука» вокруг центральной оси можно воспроизводить суточное движение звезд вокруг Северного полюса мира. Благодаря координатной сетке, выгравированной на нижнем сплошном диске, можно определять положение звезд по отношению к горизонту и меридиану. Астролябия была изобретена в Древней Греции, но из всех инструментов, время изготовления которых известно, самым старым является изображенный на фотографии. Эта астролябия была изготовлена мусульманином по имени Настулус в 927—928 гг. н.э. и в настоящее время хранится в Кувейтском национальном музее.

## Иллюстрации

ОБЛОЖКА: с разрешения Al-Sabah Collection, Kuwait National Museum

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
5	Andrew G. Farr, University of Washington School of Medicine	43	Andrew Christie		Research in
6-13	Bunji Tagawa	44	Kevin A. Somerville		Astronomy, Inc.,
17	Owen Gingerich, Harvard University	45	Kevin A. Somerville ( <i>вверху</i> ), Andrew Christie ( <i>внизу</i> )		Sacramento Peak Observatory ( <i>вверху</i> ), Magda
18, 19	Hank Iken, Walken Graphics	49-57	Patricia J. Wynne		Mària, E. Priest y
20	Thomas Photos, Oxford	61	Jean McMann ( <i>вверху</i> ); Jean-Pierre Protzen, University of California at Berkeley ( <i>внизу</i> )	81	E. Smith ( <i>внизу</i> ) Magda Mària, M. Kuperus y
21-23	Hank Iken, Walken Graphics	62-64	Michael Goodman		E. Tandberg- Hanssen ( <i>вверху</i> ), Magda Mària, Milne, E. Priest y
24	Bodleian Library, University of Oxford	65	Jean-Pierre Protzen, University of California at Berkeley	82	Roberts ( <i>внизу</i> ) Instituto de Astrofísica de Canarias
28, 29	John W. Ladd, Lamont-Doherty Geological Observatory ( <i>вверху</i> ), George Retseck ( <i>внизу</i> )	66	Michael Goodman	83	High Altitude Observatory National Center for Atmospheric Research, patrocinado por la National Science Foundation
30, 31	George Retseck	71	Sky Publishing Corporation		
32, 33	Lucien Montadert, Institut Français du Pétrole ( <i>вверху</i> ), George Retseck ( <i>внизу</i> )	72	The Granger Collection		
34, 35	John C. Mutter, Lamont-Doherty Geological Observatory	73	Quesada/Burke, courtesy of the New York Public Library		
36, 37	George Retseck	74	Quesada/Burke, courtesy of the New York Public Library ( <i>вверху</i> ), Royal Astronomical Society ( <i>внизу</i> )	84	Magda Mària J. M. Malherbe y E. Priest
38	Lamont-Doherty Geological Observatory	75	Royal Astronomical Society	85	Association of Universities for Research in Astronomy, Inc. Sacramento Peak Observatory ( <i>слева</i> ), High Altitude Observatory ( <i>справа</i> )
40	Andrew Christie	76	Quesada/Burke, courtesy of the New York Public Library		
41	Marc Cantin	78	Cortesia del Naval Research Laboratory		
42	Kevin A. Somerville	80	Association of Universities for	89-91	Michael Goodman
				94-97	Ilil Arbel



# Об авторах

Philippa Marrack, John Kappler (ФИЛИППА МАРРАК, ДЖОН КАППЛЕР «Т-клетка и ее рецептор») — супруги, сотрудники Национального еврейского центра иммунологии и изучения респираторных заболеваний в Денвере. Маррак — профессор медицины, биохимии, биофизики и генетики, Капплер — профессор медицины, микробиологии и иммунологии в Научно-исследовательском медицинском центре Колорадского университета. Маррак училась в Кембриджском университете; в 1970 г. получила там степень доктора философии за исследования, которые она вела в Кембриджской лаборатории молекулярной биологии Совета медицинских исследований. Капплер получил диплом в Университете Лихай (1965 г.), степень доктора философии — в Университете Брандейса (1970 г.). Вместе с Маррак работал в Калифорнийском университете в Сан-Диего; в 1973 г. они оба перешли в Медицинскую школу Рочестерского университета, а в 1979 г.: — в Колорадский университет.

Owen Gingerich (ОУЭН ГИНГЕРИЧ «Средневековая астрономия в странах ислама») — астрофизик Смитсоновской астрофизической обсерватории в Кембридже и профессор астрономии и истории науки в Гарвардском университете. Окончил Гошенский колледж в 1951 г.; степень магистра и доктора философии получил в Гарвардском университете в 1953 и 1962 гг. соответственно. С 1955 по 1958 г. преподавал астрономию и физику в Американском университете в Бейруте; там он и познакомился на практике с мусульманским календарем. Гингерич пишет: «Шла вторая неделя моего пребывания в Бейруте, когда меня попросили уточнить дату новолуния в предстоящие несколько месяцев. Я не знал, зачем это понадобилось, и просто сообщил дату астрономического новолуния по мусульманскому ежегоднику. Оказывается, мусульманские праздники следуют не за астрономическими новолуниями, а отсчитываются от даты первого появления лунного серпа спустя два или три дня после новолуния. В университетском справочнике на тот год начало рамадана было дано неправильно и ко мне больше не обращались с такой просьбой».

John C. Mutter (ДЖОН С. МАТТЕР «Сейсмические изображения границ литосферных плит») — морской сейсмолог, доцент на кафедре геологии Колумбийского университета и научный сотрудник Геологической обсерватории Ламонт-Доэрти, входящей в

состав этого же университета. Родился в Австралии, степень бакалавра по физике и математике получил в Мельбурнском университете, степень магистра — в Сиднейском. Работал в Австралийском бюро минеральных ресурсов. Степень доктора философии получил в Колумбийском университете.

Marc Cantin, Jacques Genest (МАРК КАНТЕН, ЖАК ЖЕНЕ «Сердце как эндокринная железа») — сотрудники Института клинических исследований в Монреале, где Жене — консультант, а Кантен — заведующий лабораторией патологии и руководитель междисциплинарной исследовательской группы по изучению гипертонических явлений. Оба они являются профессорами кафедры экспериментальной медицины Университета Мак-Гилла; Кантен также профессор патологии, а Жене профессор медицины Монреальского университета. Кантен получил степени бакалавра (1953 г.) и доктора медицины (1958 г.) в Университете Лавала (Квебек), степень доктора философии (1962 г.) в Монреальском университете. С 1962 по 1965 г. работал в Чикагском университете на кафедре патологии. Сотрудник Монреальского университета с 1965 г., Института клинических исследований с 1980 г., Университета Мак-Гилла с 1983 г. Жене стал бакалавром (1937 г.) и доктором медицины (1942 г.) в Монреальском университете. Затем работал в больнице Отель-Дьё в Монреале, в Университете Джонса Гопкинса, в Гарвардском университете и в Рокфеллеровском институте. С 1965 г. — сотрудник Монреальского университета, с 1970 г. — Университета Мак-Гилла.

Charles G. Sibley, Jon E. Ahlquist (ЧАРЛЗ ДЖ. СИБЛИ, ДЖОН Э. ОЛКВИСТ «Воссоздание филогенеза птиц по результатам сопоставления их ДНК»). Сибли получил степень доктора философии в области зоологии в Калифорнийском университете в Беркли в 1948 г. Работал в Колледже Сан-Хосе и в Корнеллском университете. В 1965 г. стал сотрудником Йельского университета, где в настоящее время он профессор биологии. Будучи специалистом по биологии птиц, занимает также должность хранителя в Йельском музее естественной истории Пибоди; с 1970 по 1976 г. был директором этого музея. Олквист получил степень бакалавра по биологии в Корнеллском университете, степени магистра и доктора

философии — в Йельском университете. С 1972 по 1977 г. состоял в должности помощника хранителя в музее Пибоди; с 1977 г. работает там в составе исследовательской группы как орнитолог. С 1981 г. ведет также научно-исследовательскую работу и читает лекции по биологии в Йельском университете.

Jean-Pierre Protzen (ЖАН-ПЬЕР ПРОТЦЕН «Искусство каменной кладки у инков») — заведующий кафедрой Калифорнийского университета в Беркли. В 1954 г. окончил колледж Сан-Мишеля во Фрибуре, Швейцария. Архитектуру изучал в швейцарском Федеральном технологическом институте, затем в Лозаннском университете, где в 1962 г. защитил диплом. С 1956 по 1967 г. специализировался в области промышленного производства жилых блоков. Стипендия, выделенная Протцену швейцарским Национальным фондом научных исследований, позволила ему проводить в Беркли исследования по проблемам принятия решений в архитектурном проектировании. Основные работы посвящены теории и методам проектирования.

Michael Hoskin (МАЙКЛ ХОСКИН «Вильям Гершель и становление современной астрономии») возглавляет кафедру истории науки и философии Кембриджского университета, является также ректором Черчилль-Колледжа этого же университета. Изучал математику в Лондонском университете, где в 1951 г. получил степень бакалавра, а в 1952 г. — степень магистра. В 1956 г. в Кембридже ему была присвоена степень доктора философии в области алгебраической геометрии. Затем он увлекся историей науки и с 1957 по 1959 гг. (перед переходом в Кембриджский университет) читал лекции по этому курсу в Лейчестерском университете. Хоскин специализируется по вопросам истории звездной астрономии.

J.L. Ballester, J. Kleczek (Х.Л. БАЛЬЕСТЕР, Й. КЛЕЧЕК «Солнечные протуберанцы») совместно работали по данной теме во время подготовки Х. Бальестером под руководством Клечека докторской диссертации по физике. Клечек — ведущий исследователь Ондражейовского астрономического института АН ЧССР, преподает в Карловом университете в Праге. Работал по приглашению в качестве преподавателя в СССР, Голландии, США и других странах. Бальестер преподает в Университетской школе и на кафедре физики Земли и космоса в Университете г. Пальма на о-ве Мальорка.



# Т-клетка и ее рецептор

*Т-клетки играют ключевую роль в способности организма бороться с вирусными инфекциями, а также участвуют в отторжении пересаженной чужеродной ткани.*

*Сейчас становятся понятными молекулярные механизмы этих процессов*

ФИЛИППА МАРРАК, ДЖОН КАППЛЕР

**К**ЛЕТКИ иммунной системы позвоночных обладают способностью узнавать попавшие в организм антигены, т. е. чужеродные вещества или частицы. За узнаванием антигена следует иммунный ответ, которому свойственна поразительная специфичность. Например, человек, у которого путем вакцинации создан иммунитет против оспы, будет устойчив к заражению вирусом оспы, но не вирусом гриппа. В 70-е — 80-е годы было установлено, что в способности иммунной системы специфически реагировать с вирусами важнейшую роль играют мелкие клетки особого типа, называемые Т-лимфоцитами или Т-клетками. Т-клетки являются необходимым участником иммунного ответа и на бактериальные инфекции.

Считается, что всю эту активность приводит в действие встроенная в мембрану Т-клетки молекула, называемая рецептором. Предполагается, что молекула антигена и молекула рецептора соответствуют друг другу, как ключ и замок, и, когда они соединяются, включается сложная цепь биохимических процессов, составляющих иммунный ответ. По целому ряду причин рецептор Т-клеток очень трудно выделить в чистом виде и до последнего времени о его свойствах судили по косвенным данным, не имея точных сведений о структуре. Сейчас структура рецептора оказалась в центре внимания.

Изучение структуры рецептора Т-клеток приводит к более глубокому пониманию всего комплекса взаимодействий этих клеток с другими элементами иммунной системы. В частности, выяснилось, что Т-лимфоциты служат, по-видимому, специально для атаки на инфекционный агент, связывающийся с клетками, а не свободно циркулирующий в крови или других жидкостях организма. Для выполнения этой роли рецептор Т-клеток должен узнавать не только специфический антиген, но и определенные

мембранные белки самих клеток организма. Такой механизм узнавания необходимо держать под жестким контролем, иначе Т-клетки могут активироваться одними белками организма-«хозяина» и переключиться на уничтожение его здоровых клеток. Сложность и тонкая сбалансированность процесса узнавания приводят ко многим удивительным свойствам Т-клеток. Например, Т-клетки быстро воздействуют на пересаженную хирургическим путем чужую ткань, вызывая ее отторжение (поэтому изучение рецептора Т-клеток представляет большой интерес для хирургии).

**С**УЩЕСТВУЮТ два основных класса лимфоцитов, ответственных за узнавание специфических антигенов: Т-клетки и В-клетки. И те и другие происходят из костного мозга, но Т-клетки претерпевают дальнейшее развитие в вилочковой железе, или тимусе (этот орган у человека расположен за грудинной костью). Как В-, так и Т-клетки циркулируют в крови и лимфе и сконцентрированы в основных лимфатических органах — у высших позвоночных ими являются лимфатические узлы и селезенка. Продолжительность жизни этих клеток довольно велика: так, у человека они могут существовать, не делясь, годами. Однако в ответ на антиген лимфоциты существенно увеличиваются в размерах, быстро делятся и секретируют ряд белковых факторов, способствующих удалению из организма вторгшихся туда микробов или чужеродных частиц и веществ.

Известно, что первоначальный иммунный ответ В-клеток на антиген опосредуется белком-рецептором, расположенным на клеточной мембране. Антиген связывается с рецептором и это стимулирует В-клетки к делению и дифференцировке, так что образуется клон плазматических клеток, секретирующих антитела с такой же специфичностью, как у рецептора родительской В-клетки. Молекулы

антитела и рецептора исходной В-клетки, с которой связался антиген, идентичны с той лишь разницей, что в белке-рецепторе на конце имеется дополнительный участок для связывания с мембраной, а у антитела этого «якорного» сегмента нет. И рецепторы В-клеток, и антитела называют иммуноглобулинами. Антитела, попав в кровь или лимфу, связываются там со свободным антигеном и тем самым метят его для дальнейшего разрушения другими компонентами иммунной системы.

Эта схема «отбора» («селекции») антигеном из множества различных В-клеток одной определенной за ее способность секретировать антитела к данному антигену и образовывать клон получила название «клонально-селекционная теория». Она была разработана в 1960-е годы Ф. Бёрнетом из Института медицинских исследований Уолтера и Элизы Холл в Мельбурне, Д. Талмеджом из Чикагского университета и Н. Ерне, в то время сотрудником Всемирной организации здравоохранения.

В мембраносвязанном виде, т. е. в роли рецептора В-клеток, иммуноглобулины присутствуют в организме в очень малых количествах. После стимуляции В-клетки антигеном они появляются в сыворотке в большом количестве в растворимом виде. Антитела секретируются и некоторыми В-клеточными опухолями, например плазмацитомами. Доступность растворимых антител в сравнительно высокой концентрации и тот факт, что каждое антитело связывается с антигеном, весьма облегчают получение очищенных иммуноглобулинов, а следовательно, и изучение рецепторов В-клеток.

Рецептор Т-клеток долгое время оставался неуловимым. Т-клетки, как и В-клетки, отвечают на антиген делением и дифференцировкой, в результате чего образуются клоны нескольких видов Т-клеток, специфичных к данному антигену. Цитотоксические

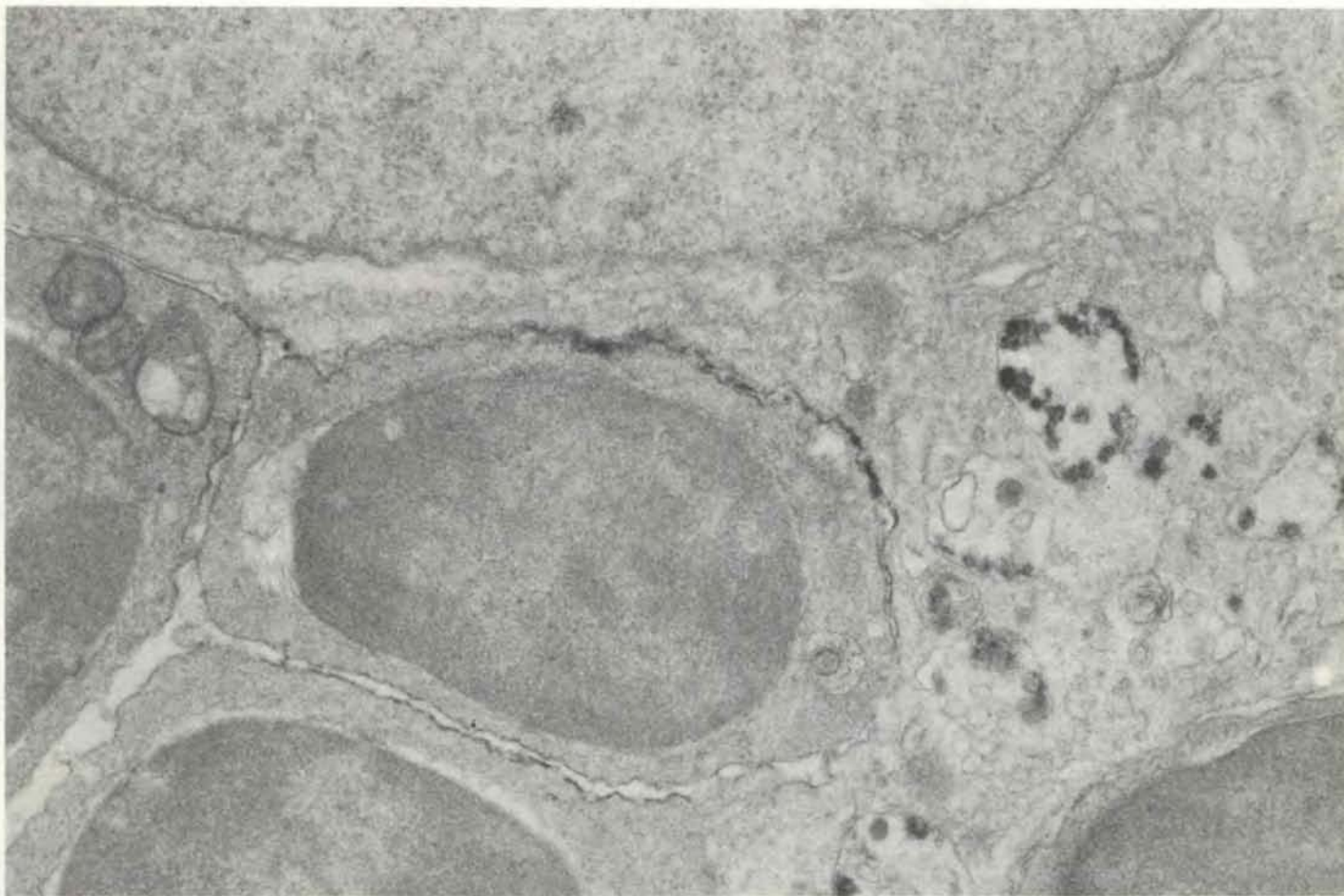


Т-клетки связываются с вирусным антигеном, экспонированным на поверхности зараженной вирусом клетки и убивают ее. Супрессорные Т-клетки подавляют иммунный ответ на данный антиген спустя некоторое время после его начала. Хелперные Т-клетки присоединяются к антигенам, связанным на поверхности В-клеток, после чего секретируют гормоноподобные вещества, называемые лимфокинами, которые способствуют делению и дифференцировке В-клеток. Таким образом, мощный разрушительный потенциал В-клеток может реализоваться только при наличии двух сигналов: роль первого сигнала играет свободный антиген, взаимо-

действующий с рецептором В-клеток, роль второго — антиген, связанный с поверхностью В-клетки и взаимодействующий с рецептором Т-клеток.

Сами Т-клетки никогда не дифференцируются в клетки, производящие антитела. Следовательно, в отличие от рецептора В-клеток, рецептор Т-клеток трудно получить в достаточном количестве в виде химически чистого вещества, что необходимо для его анализа. Так как конструкция иммуноглобулинов на редкость удачна и эффективность их в узнавании антигенов необычайно велика, долгое время считалось, что Т-клетки тоже используют их в качестве рецепторов для антигенов.

**М**НОГИЕ исследователи годами пытались найти иммуноглобулины на поверхности Т-клеток или обнаружить их секрецию этими клетками. Хотя после настойчивых поисков удалось показать, что супрессорные Т-клетки могут связывать антиген с помощью молекул, сходных с иммуноглобулинами, данные множества экспериментов говорили о том, что большая часть Т-клеток не имеет отношения к иммуноглобулинам. Т-клетки не только не секретируют иммуноглобулины, но не содержат их ни на мембране, ни в цитоплазме. Показано также, что в Т-клетках нет мРНК, транскрибированной с генов иммуноглобулинов. Более



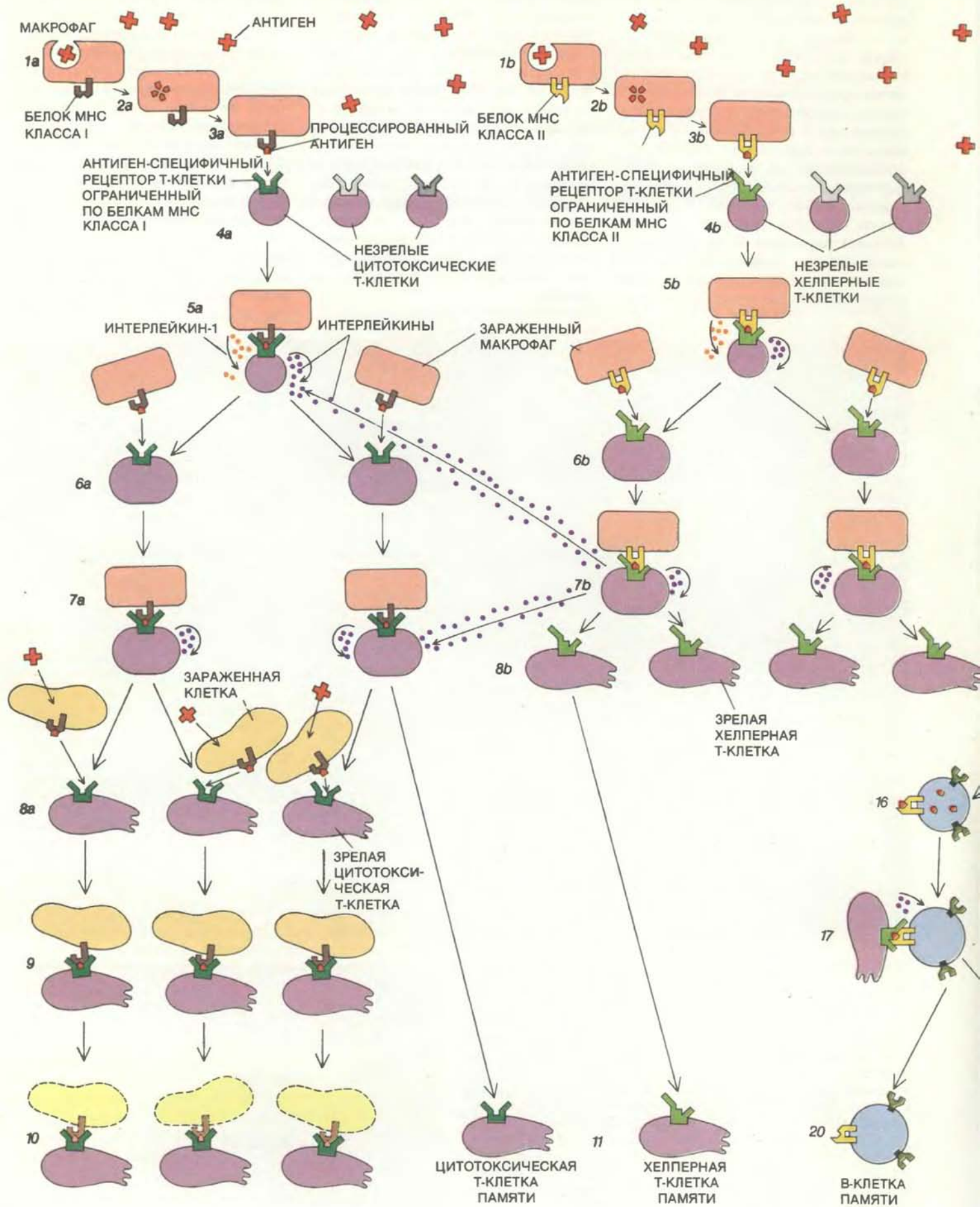
«ОБУЧЕНИЕ» в тимусе сообщает Т-лимфоцитам способность отличать клетки своего организма от чужеродных. На этой фотографии (увеличение  $\times 20\,900$ ) виден тимоцит (т. е. незрелая Т-клетка), связанный с эпителиальной клеткой выстилки тимуса (см. схему справа). Темные пятна у верхнего правого края тимоцита — это молекулы рецепторов на его поверхности, которые, видимо, взаимодействуют с находящимися на поверхности эпителиальной клетки белками МНС, определяющими иммунологическую индивидуальность организма. Возможно, связывание с белками МНС стимулирует «обучение» (созревание) тимоцитов. Зрелые Т-лимфоциты имеют слабое сродство к «своим» белкам МНС, но, когда вместе с этими белками на поверхности клетки-мишени присутствует антиген, Т-клетки проявляют к комплексу антигена с белком МНС сильное сродство. Благодаря деятельности Т-лимфоцитов иммунный ответ направлен только на те «свои» клетки, которые заражены вирусом, либо на чужие клетки.





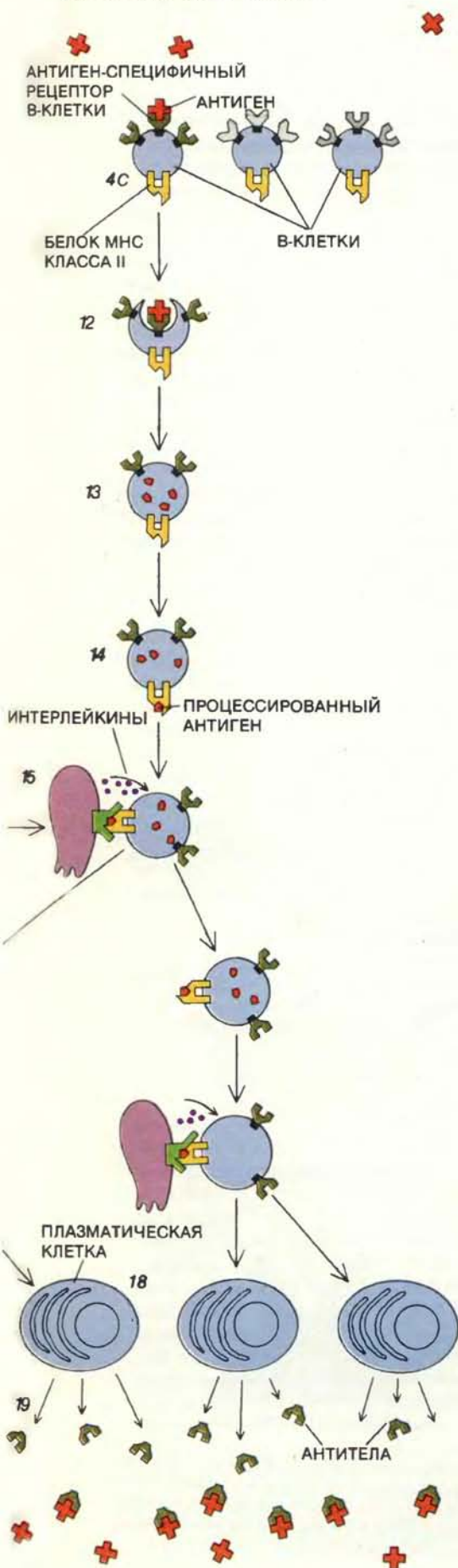
## АКТИВАЦИЯ ЦИТОТОКСИЧЕСКИХ Т-КЛЕТОК

## АКТИВАЦИЯ ХЕЛПЕРНЫХ Т-КЛЕТОК





### АКТИВАЦИЯ В-КЛЕТОК ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ АНТИТЕЛ



того, как выяснилось, в Т-клетках, в отличие от В-клеток, эти гены, как правило, не перестраиваются.

Таких отрицательных результатов в 1970-х — начале 1980-х годов накопилось немало. Хотя каждый из них сам по себе казался неубедительным, но взятые в совокупности, эти неудачи постепенно заставили молекулярных иммунологов изменить свои взгляды. Если иммуноглобулины невозможно обнаружить в Т-клетках, значит, нужно искать какие-то другие молекулы на роль рецептора.

К таким же выводам, но даже раньше пришли иммунологи, изучавшие процесс отторжения организмом чужеродной пересаженной ткани. Например, если мышам одной линии ввести клетки мышей другой линии, эти клетки будут очень быстро отторгнуты. Еще в начале 1930-х годов П. Горер и другие исследователи показали, что отторжение обусловлено антигенными молекулами, находящимися на поверхности чужеродных клеток.

Белки, отмечающие каждую клетку как «свою» или «чужую», кодируются генами, образующими в геноме крупный кластер, называемый главным комплексом гистосовместимости или сокращенно МНС (от англ. major histocompatibility complex).

Продукты этих генов называются, соответственно, белками главного комплекса гистосовместимости или белками МНС. Наиболее отличительная черта этих белков — исключительный полиморфизм. Существуют миллионы аллелей (т. е. вариантов генов) для каждого белка МНС. А следовательно, вероятность того, что у двух неродственных индивидов белки МНС одинаковы, очень мала.

После работ Горера стало ясно, что отторжение тканей и белки МНС имеют самое прямое отношение к процессу иммунного ответа. П. Медавар и еще ряд исследователей показали, что за узнавание антигенных молекул на пересаженной чужеродной ткани ответственны лимфоциты. Позже выяснилось, что в отторжении Т-лимфоциты играют большую роль, чем В-лимфоциты. Однако трансплантация органов и тканей — процедура естественная, в природе такого не бывает, и иммунологи терялись в догадках об истинном назначении белков МНС.

Некоторые предположения об их функциях появились в 1960-х годах. Х. Мак-Девитт, в то время сотрудник Национального института медицинских исследований (Великобритания), М. Села из Вейцмановского института в Израиле, Б. Бенацераф, работавший тогда в Национальном инсти-

АНТИГЕН-СПЕЦИФИЧЕСКИЙ ИММУННЫЙ ОТВЕТ. Здесь изображены схемы трех основных ответов: цитотоксических Т-клеток (слева), хелперных Т-клеток (посередине) и В-клеток (справа). Вторгшийся в организм антиген поглощается макрофагом (1a, 1b) и подвергается внутри его процессингу — расщеплению на фрагменты (2a, 2b). Эти фрагменты представляют на поверхности макрофага (3a, 3b) и образуют там комплекс с белком МНС. Т-клетка, рецептор которой соответствует комплексу антиген — белок МНС, связывается с ним. Таким образом происходит отбор этой Т-клетки для дальнейшего размножения и образования клона (4a, 4b). Аналогично, путем взаимодействия со свободным антигеном, отбирается В-клетка, рецептор которой соответствует данному антигену (4c). Т-клетки, которые должны стать цитотоксическими, связывают антиген в сочетании с белком МНС класса I (5a), а будущие хелперные Т-клетки — с белком МНС класса II (5b). Связывание с Т-клеткой стимулирует макрофаг к синтезу и секреции гормоноподобного вещества — интерлейкина-1, что в свою очередь, побуждает Т-клетки к делению и дифференцировке (6a, 6b). Размножение Т-клеток продолжается до тех пор, пока есть стимуляция со стороны клеток, представляющих антиген (7a, 7b). Зрелые Т-лимфоциты (8a, 8b) затем приступают к исполнению своей роли. Цитотоксические Т-клетки связываются с зараженной вирусом клеткой, представляющей антиген (9), и убивают ее (10). Некоторые Т-клетки остаются циркулировать в крови и лимфе в качестве носителей иммунологической памяти: если в организм снова попадет тот же антиген, он будет уничтожен значительно быстрее (11); зрелые хелперные Т-клетки тоже могут стать клетками памяти. Функция хелперных Т-клеток состоит в том, чтобы стимулировать к пролиферации активированные В-клетки. В-клетка, поглотившая связанный антиген (12) и осуществившая его процессинг (13), также представляет фрагмент антигена на своей поверхности вместе с белком МНС класса II (14). Зрелая хелперная Т-клетка может связаться с комплексом антиген — белок МНС на поверхности В-клетки (15). Это приводит к выделению интерлейкинов, под действием которых В-клетка делится и дифференцируется (16); размножение В-клеток продолжается, пока есть стимуляция Т-хелперами (17). Зрелая плазматическая клетка (18) секретирует антиген-специфические иммуноглобулины, т. е. антитела, которые связываются со свободным антигеном и тем самым метят его для разрушения (19). Другие зрелые В-клетки остаются циркулировать в организме как клетки памяти (20). Эта схема составлена по экспериментальным данным; многое в ней еще противоречиво.



туте аллергии и инфекционных заболеваний, и их коллеги изучали иммунный ответ на антиген у животных различных линий. Они обнаружили, что у мышей, принадлежащих к различным генетическим линиям, ответ на один и тот же синтетический антиген разный. Например, когда мышам вводили полимер, называемый сокращенно TGAL, у животных, несущих аллели *b* генов МНС, образовывались антитела против этого антигена, а у животных с аллелями *k* тех же генов такие антитела не вырабатывались. Вскоре выяснилось, что гены МНС действуют, влияя на функции именно Т-лимфоцитов, а не других клеток иммунной системы.

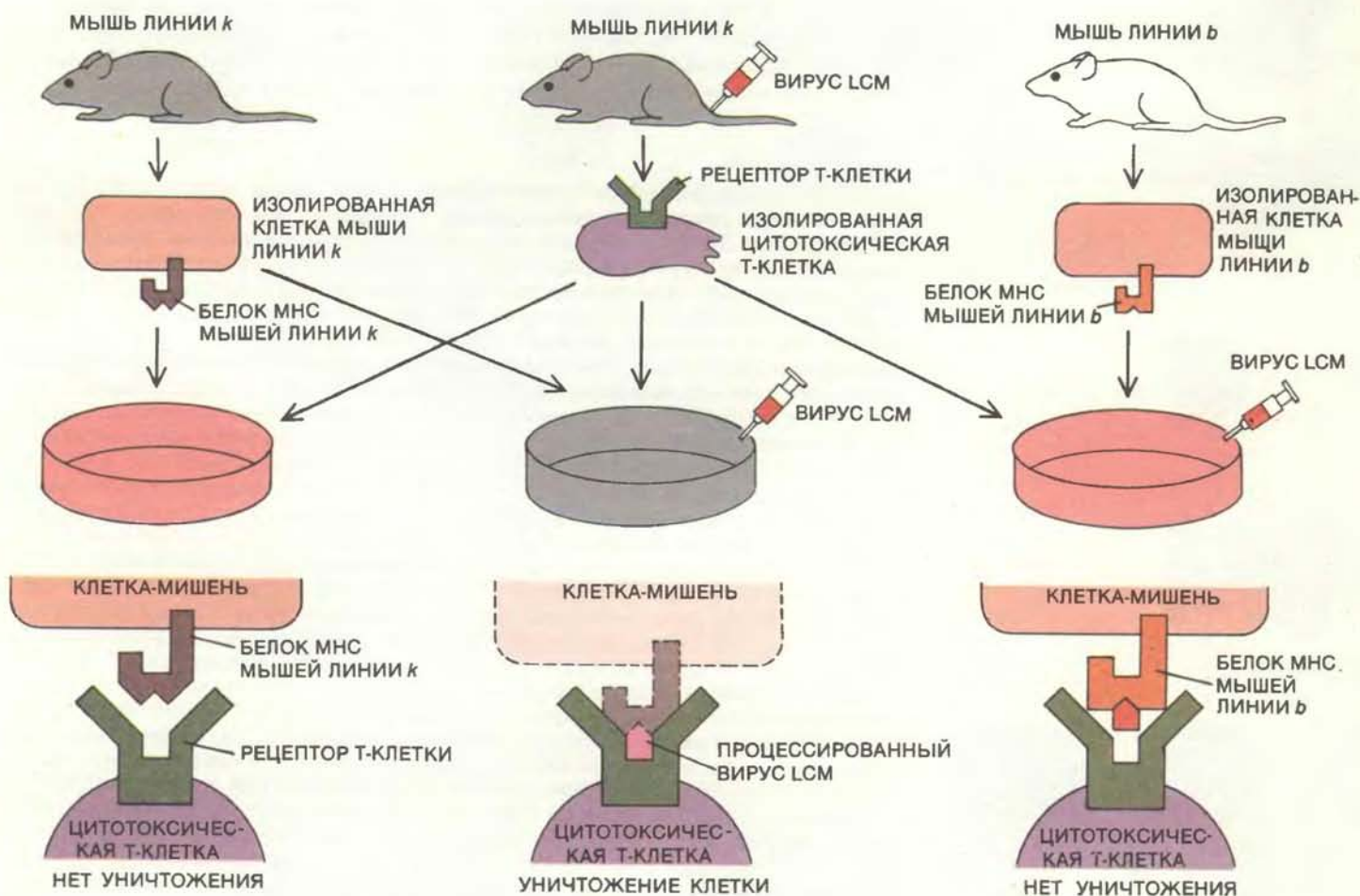
Некоторые иммунологи после этого предположили, что белок-рецептор Т-клеток кодируется каким-то из генов МНС. Тогда следовало ожидать, что у мышей разных линий из-за различия в генах МНС рецепторы Т-клеток различны и поэтому по-разному реагируют с TGAL. Гипотезу пришлось отбросить, когда обнаружилось, что некоторые белки — продук-

ты генов МНС, влияющие на связывание с TGAL, даже не присутствуют на поверхности Т-клеток у мышей. Значит, наблюдаемые различия в силе иммунного ответа обусловлены не только рецептором Т-клеток и нет никаких причин считать, что он кодируется геном МНС. На самом деле результаты экспериментов укладываются в рамки более «хитрой» гипотезы: различия в силе иммунного ответа на TGAL свидетельствуют, что белки — продукты генов МНС влияют на процесс узнавания антигена рецептором Т-клеток. Эта идея была первым шагом к пониманию того, что взаимодействие чужеродного антигена с белком МНС — необходимое условие для функционирования рецептора Т-клеток.

**КАК МОЖНО** объяснить такой странный набор фактов? Источником ответа на этот вопрос послужили пионерские работы Э. Шевача и А. Розенталя в Национальном институте аллергии и инфекционных заболеваний, Д. Г. Каца и Б. Бенацерафа

в Гарвардской медицинской школе, Б. Киндред из Университета в Констанце (ФРГ), Д. Шреффлера из Мичиганской медицинской школы. А решающий шаг сделали Р. Цинкернагель и П. Догерти из Австралийского национального университета.

В одном из своих экспериментов Цинкернагель и Догерти вводили мышам сублетальную дозу вируса лимфоцитарного хориоменингита (сокращенно LCM — от англ. lymphocytic choriomeningitis) и выделяли из иммунизированных животных цитотоксические Т-клетки, специфичные к вирусу LCM (см. рисунок внизу). Обычной функцией таких Т-лимфоцитов является узнавание вирусного антигена на поверхности зараженной клетки и разрушение ее. Мыши большинства линий вырабатывают антитела к вирусу LCM и поэтому было маловероятно, чтобы у каких-то мышей не возникло иммунного ответа на LCM, как это бывает с TGAL. Однако Цинкернагель и Догерти к своему удивлению обнаружили, что Т-клетки от мышей линии *k*, иммунизированных



Т-КЛЕТКА РЕАГИРУЕТ НА АНТИГЕН, только если он представлен на поверхности клетки-мишени в сочетании с белком МНС. Цитотоксические Т-лимфоциты мышей линии *k*, иммунизированных против вируса лимфоцитарного хориоменингита (LCM), могут убивать клетки, несущие белки

МНС мышей линии *k*, если эти клетки заражены вирусом LCM (посередине). Т-лимфоциты не способны убить клетки, зараженные тем же вирусом, но не имеющие на поверхности белка МНС мышей линии *k* (справа), и, разумеется, не убивают незараженные клетки (слева).



вирусом LCM, могут убивать клетки, зараженные LCM, только если эти клетки несут по меньшей мере один из белков МНС мышей линии *k*. Иными словами, Т-клетки, успешно справлявшиеся с зараженными клетками, несущими определенные белки МНС мышей линии *k*, не способны были убивать клетки мышей других линий (скажем, линии *d*), зараженные тем же вирусом, но несущие иные белки МНС.

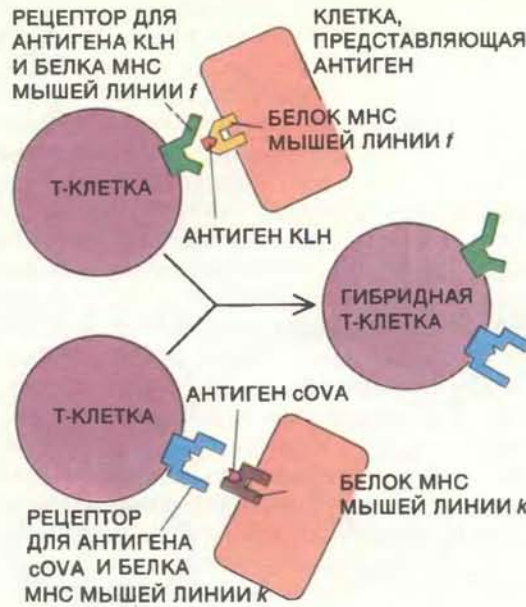
Эти и подобные эксперименты показали, что цитотоксические Т-лимфоциты реагируют не только на вирусный антиген на поверхности зараженной клетки, но также на белки МНС этой клетки. Вскоре то же было обнаружено и для цитотоксических Т-лимфоцитов, специфичных к другим антигенам. Описанное явление назвали ограничением по МНС или МНС-рестрикцией. Белки, кодируемые генами МНС и распознаваемые цитотоксическими Т-лимфоцитами, структурно гомологичны между собой и обозначаются «белки МНС класса I»; эти белки найдены на поверхности всех ядросодержащих клеток организма.

Мы и другие исследователи обнаружили позже, что хелперным Т-клеткам также свойственно ограничение по МНС; однако эти Т-клетки узнают белки МНС иного типа — белки МНС класса II. Белки МНС класса II встречаются в организме не так широко, как белки МНС класса I; у людей они есть только на Т- и В-лимфоцитах, макрофагах и на некоторых других клетках.

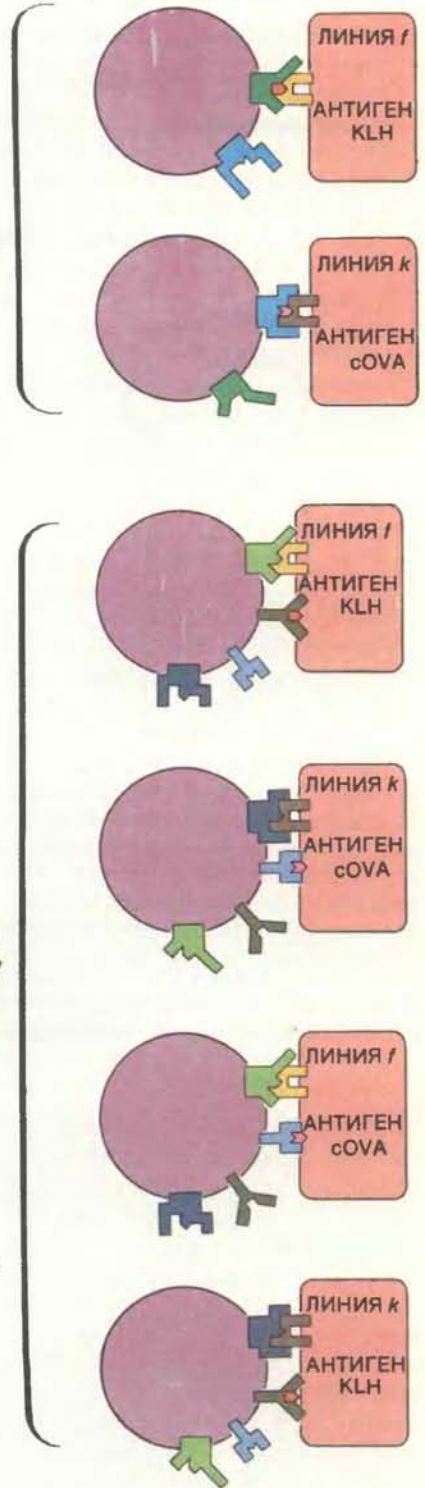
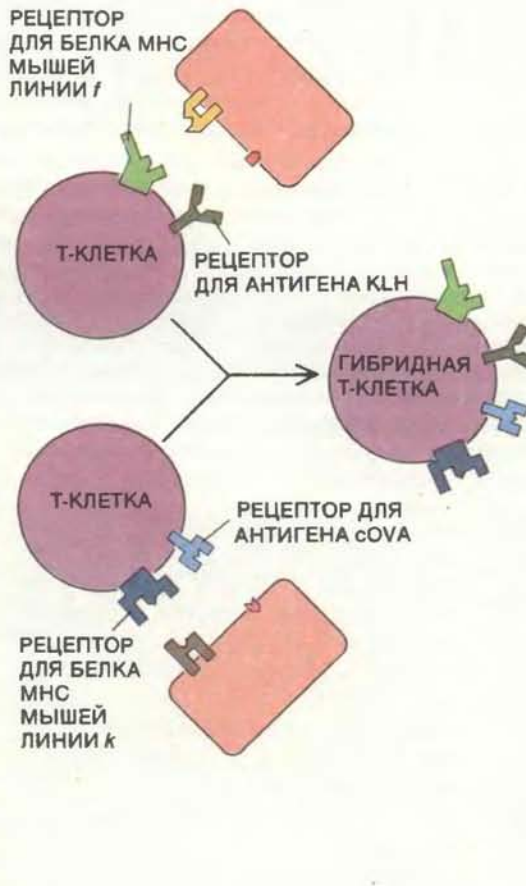
**ОГРАНИЧЕНИЕ по МНС** можно объяснить с помощью двух теорий. Одна из них, теория ассоциированного узнавания, в своей крайней форме предполагает, что каждая Т-клетка несет рецепторы только одного вида. Каждая молекула такого рецептора должна каким-то образом связывать комплекс антигена с определенным белком МНС, экспонированный на поверхности клетки, представляющей антиген. Другая теория, называемая теорией двойного узнавания, в своей крайней форме предполагает, что каждая Т-клетка несет рецепторы двух видов: один связывает специфический антиген, а другой — специфический белок МНС.

И та и другая теория имеет свои преимущества и свои слабые места. Теория ассоциированного узнавания соответствует тому наблюдению, что Т-клетки редко связываются только с антигеном или только с белком МНС, но взаимодействуют с двумя этими белками одновременно. Кроме того, она хорошо объясняет данные Мак-

### ТЕОРИЯ АССОЦИИРОВАННОГО УЗНАВАНИЯ

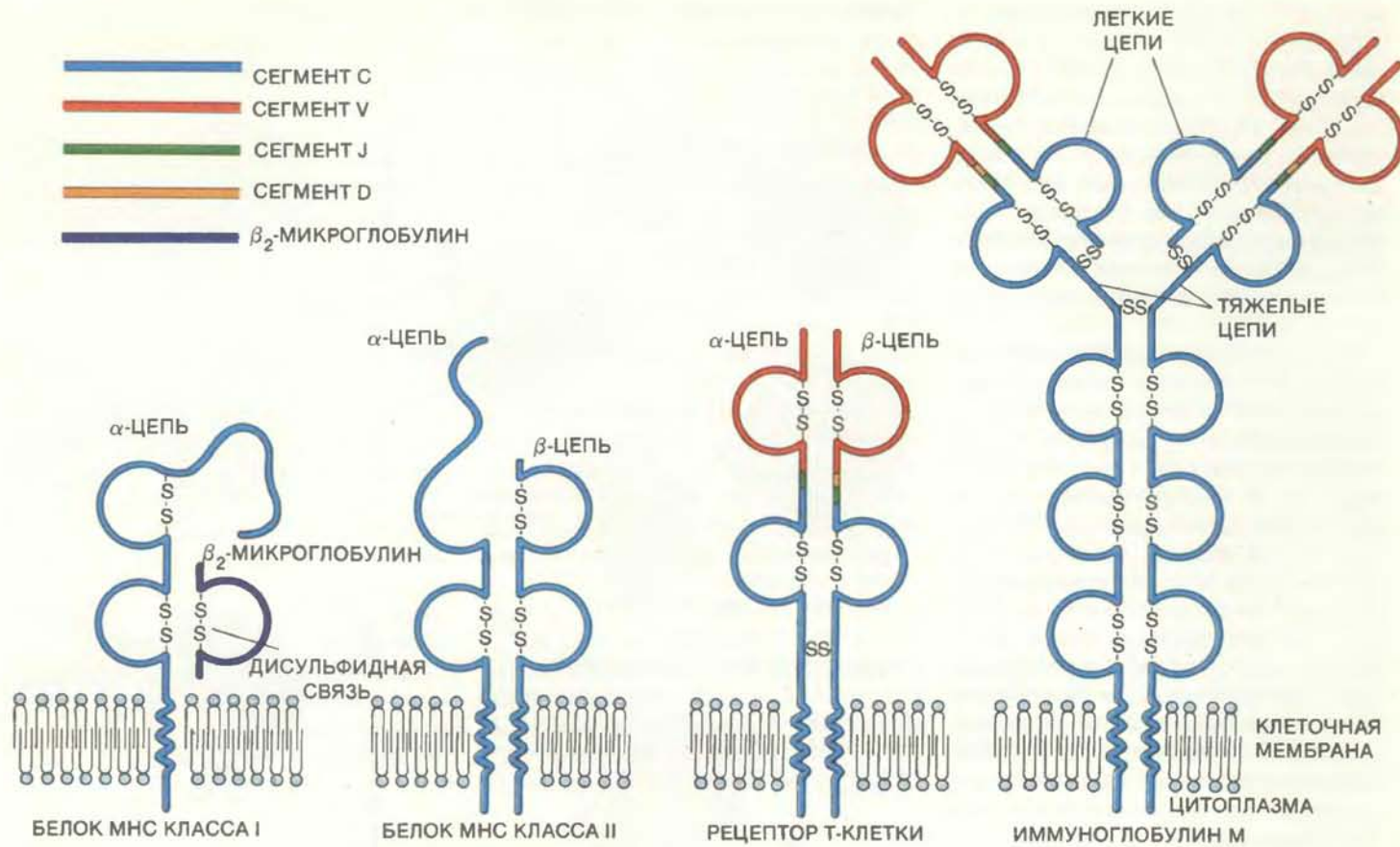


### ТЕОРИЯ ДВОЙНОГО УЗНАВАНИЯ



**ДВЕ ВЗАИМОИСКЛЮЧАЮЩИЕ ТЕОРИИ** предложены для объяснения одновременного узнавания Т-клетками антигена и белка МНС. Теория ассоциированного узнавания утверждает, что с антигеном и белком МНС взаимодействует один и тот же белок-рецептор (вверху слева). Согласно теории двойного узнавания, каждая Т-клетка несет два различных рецептора: один для антигена и другой для белка МНС (внизу слева). Чтобы сделать выбор в этой альтернативе, авторы получили гибридную Т-клетку путем слияния двух разных Т-клеток. Одна из них была выделена из мыши линии *f*, иммунизированной антигеном KLH, а другая — из мыши линии *k*, иммунизированной антигеном cOVA. По теории ассоциированного узнавания гибридная Т-клетка должна узнавать антиген KLH только на клетках линии *f* и cOVA — только на клетках линии *k* (вверху справа), а по теории двойного узнавания гибридная Т-клетка должна узнавать и KLH, и cOVA на клетках обеих линий (внизу справа). Эксперименты показали, что выполняется предсказание теории ассоциированного узнавания.





МОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА белков МНС класса I, белков МНС класса II, рецептора Т-клеток и иммуноглобулинов (рецепторов В-клеток и антител) весьма сходна, и аминокислотные последовательности этих белков имеют гомологию друг с другом. Во всех четырех молекулах полипептидные цепи образуют характерные петли длиной примерно в 70 аминокислот, скрепленные дисульфидными (S—S) связями. У высших позвоночных белки МНС класса I присутствуют на всех ядросодержащих клетках вместе с  $\beta_2$ -микроглобулином, который не принадлежит к белкам МНС. Бел-

ки МНС класса II есть на поверхности клеток только некоторых типов, в частности на В-клетках. Молекула рецептора Т-клеток, как и иммуноглобулинов, состоит из сегментов V, J и D. В геноме для каждого сегмента имеется несколько взаимозаменяемых последовательностей. При сборке полного гена для белка-рецептора последовательности, соответствующие отдельным сегментам, могут соединяться в различных комбинациях, что и обеспечивает разнообразие рецепторов. (Рисунок без соблюдения масштаба.)

Девитта, Села и Бенацерафа о необычных иммунологических свойствах TGAL как антигена для мышей. Если одна и та же молекула рецептора Т-клеток должна связывать комплекс антигена с белком МНС, то неспособность мышей линии *k* к иммунному ответу на TGAL может быть обусловлена тем, что TGAL не образует комплекс с белком МНС мышей линии *k*. Зато теория двойного узнавания не имеет существенного недостатка теории ассоциированного узнавания: она не постулирует, что каждый из разнообразных антигенов взаимодействует с однотипными в данном организме белками, кодируемыми генами МНС.

Хотя последнее слово еще не сказано, следует признать, что современные данные, пожалуй, лучше согласуются с теорией ассоциированного узнавания, предлагающей единый рецептор для антигена и белка МНС. Например, мы изучали свойства гибридных Т-клеток, в которых экспрессировались гены Т-клеточных рецеп-

торов, унаследованные от двух разных родителей (см. рисунок на с. 9). Вначале мы выделили из мышей линии *k* хелперные Т-клетки, специфически распознававшие определенный антиген, а именно куриный овальбумин (cOVA — от англ. chicken ovalbumin), ассоциированный с белком МНС класса II мышей линии *k*. Мы осуществили слияние этих Т-клеток с опухолевыми Т-клетками, получив таким образом Т-гибридому — гибридные клетки, быстро размножающиеся и легко клонируемые в культуре.

Чтобы создать клетки, имеющие два различных набора рецепторов, клетки этой Т-гибридомы слили с Т-клетками, обладавшими другой антигенной специфичностью — к гемоцианину морского моллюска фиссуреллы (KLH — от англ. keyhole-limpet hemocyanin), ассоциированного с белком МНС класса II мышей линии *f*.

Мы изучали ответ этих новых гибридных Т-клеток на антигены cOVA и KLH в сочетании с белками МНС

класса II мышей линий *k* и *f*. Если бы теория двойного узнавания была верна, то следовало ожидать, что новые гибридные клетки будут обладать рецепторами четырех типов — по одному на каждый антиген и на каждый белок МНС класса II. Соответственно они должны были бы реагировать на оба антигена, представленных на клетках мышей линии *k* и на оба антигена, представленных на клетках мышей линии *f*. Вместо этого мы обнаружили, что гибридные клетки взаимодействуют с антигенами точно так же, как их родители: с cOVA только в ассоциации с клетками мышей линии *k* и с KLH только в ассоциации с клетками мышей линии *f*. Не было ни малейшего намека на взаимодействие с cOVA на клетках мышей линии *f* и с KLH на клетках мышей линии *k*.

ЕСЛИ же верна теория ассоциированного узнавания, то антиген и белок МНС должны образовать комплекс до того, как с ними свяжутся Т-клетки. Данные, полученные в



некоторых экспериментах, можно считать указанием на то, что какое-то взаимодействие между антигенами и белками МНС существует, но лишь немногие эксперименты показали это прямо. Наиболее впечатляющие результаты были получены Е. Р. Унанью и его коллегами из Медицинской школы Университета Вашингтона.

Унанью с сотрудниками нашли небольшой антиген, который Т-клетки узнавали в ассоциации с белком МНС мышей линии *k*, но не взаимодействовали с ним в сочетании с белком МНС мышей линии *d*. В сосуд, разделенный пополам полупроницаемой мембраной, они поместили раствор антигена и в одну половину добавляли белки МНС мышей различных линий. Антиген по размерам гораздо меньше белка МНС, так что он мог свободно проходить сквозь мембрану в обе стороны и его концентрация в обоих отсеках была одинаковой. Белок же проходить сквозь мембрану не мог и находился весь по одну ее сторону. Было обнаружено, что когда в один из отсеков добавляли белок МНС мышей линии *k*, после установления равновесия концентрация антигена была больше в той части сосуда, где находился белок. В случае белка МНС мышей линии *d* концентрация антигена оставалась одинаковой по обе стороны мембраны. Этот результат показывает, что антиген действительно связывается с тем белком МНС, вместе с которым его узнает рецептор Т-клеток.

**И** ВСЕ ЖЕ, хотя стали известны вышеописанные важные свойства рецептора Т-клеток, структура его оставалась загадкой. Было ясно лишь, что по меньшей мере одним своим свойством он отличается от иммуноглобулинов. Состоит рецептор из единственной белковой молекулы или из двух, в любом случае как-то его часть явно должна иметь родство к одному из белков МНС. Молекулы иммуноглобулинов такого родства не имеют.

Два методических достижения в молекулярной биологии позволили исследователям приступить к расшифровке структуры рецептора Т-клеток. Одно из них — разработанный в начале 1970-х годов Г. Келером и Ц. Мильштейном из Лаборатории молекулярной биологии в Кембридже метод моноклональных антител: исследователи открыли способ создавать В-клеточные гибридомы, которые могут *in vitro* производить большие количества антител одного сорта. Другой важный шаг — развитие методов наращивания в культуре

Т-клеточных клонов и Т-клеточных гибридом, специфичных к определенному антигену и к определенному белку МНС. Мы и другие исследователи использовали эти два подхода для получения антител к рецепторам Т-клеток и изучения таким образом их структурных свойств.

С целью получить антитела к рецепторам Т-клеток мы сначала создали Т-клеточную гибридому, рецептор которой был специфичен к антигену *cOVA* в ассоциации с белком МНС класса II мышей линии *d*. При взаимодействии рецепторов таких гибридом с соответствующими антигенами и белками МНС наблюдается быстрое реагирование, сопровождающееся выделением лимфокинов. Эти гибридомы очень удобны для экспериментов, так как секрецию лимфокинов можно индуцировать и тут же регистрировать в культуре клеток.

Чтобы получить антитела заданной специфичности, необходимо иммунизировать животное нужным антигеном. Но в случае рецептора Т-клеток антиген не был точно идентифицирован. Мы иммунизировали мышей Т-клеточными гибридами в надежде вызвать образование антител, препятствующих функциям рецепторов этих гибридом. Идея состояла в том, что антитела к рецептору будут связываться с ним, и рецептор не сможет взаимодействовать с *cOVA* и с белком МНС класса II мышей линии *d*. О том, что рецептор выведен из строя, должно свидетельствовать уменьшение секреции лимфокинов.

Мы иммунизировали большое число мышей различными Т-клеточными гибридами. Затем через разные интервалы времени после иммунизации у каждой мыши брали сыворотку крови и проверяли ее на способность блокировать в культуре ответ Т-клеточных гибридом на клетки мышей линии *d* и *cOVA*. В конце концов нашлось несколько мышей, у которых вырабатывались искомые антитела. Причем сыворотки этих мышей обладали важным свойством: они не блокировали реакцию Т-клеточных гибридом иной специфичности. Мы повторили эксперимент, иммунизируя мышей другими Т-клеточными гибридами. Каждый раз антитела, образующиеся у иммунизированных животных, были эффективны только против той Т-клеточной гибридомы, которая использовалась для иммунизации. Тот факт, что каждая из таких сывороток специфична к одной определенной Т-клеточной гибридоме, позволял надеяться, что мы действительно получаем антитела к определенному рецептору Т-клеток. Рецептор Т-клеток — это единственная мо-

лекула на поверхности Т-клеточных гибридом, которую антитела могут блокировать так специфически, потому что именно рецептор различен в разных гибридомах.

Однако на этом работа не закончилась. Так как от одной мыши можно получить лишь очень небольшое количество антител, мы применили метод Келера и Мильштейна для имortalизации клеток, производящих антитела. Сотрудники нашей лаборатории К. Хаскинс и Дж. Уайт выделили плазматические В-клетки у одной из мышей, иммунизированной Т-клеточной гибридомой, специфичной к *cOVA*. Эти плазматические клетки слили с опухолевыми клетками и получилась В-клеточная гибридома, способная быстро размножаться в культуре. Антитела, которые секретирует гибридома, проверяли на способность блокировать узнавание антигена *cOVA* и белка МНС класса II мышей линии *k* Т-клеточной гибридомой, специфичной к *cOVA*. Одна В-клеточная гибридома обладала таким свойством. Примерно одновременно аналогичные антитела получили Д. Аллисон из Центра по изучению рака в Смитвилле при Техасском университете, а также С. Мойер и Э. Рейнхерц из Медицинской школы Гарвардского университета.

**И** МЕННО успешное получение соответствующих антител сделало возможным детальное исследование рецептора Т-клеток. Благодаря прочности связывания рецептора с антигеном можно выделять чистый белок-рецептор в количествах, достаточных для изучения его свойств на молекулярном уровне. Как ни парадоксально, обнаружилось, что рецептор Т-клеток по своей структуре очень похож на иммуноглобулины. Молекула его тоже состоит из двух соединенных S—S-связью полипептидных цепей, каждая из которых кодируется отдельным геном (см. рисунок на с. 10). В иммуноглобулинах две цепи различаются по размеру: одна называется тяжелой цепью, другая — легкой. Каждая цепь включает константный (С) участок аминокислот, который в данном организме относительно не изменен во всех антителах даже к разным антигенам, и переменный (V) участок, который сильно меняется в зависимости от специфичности иммуноглобулина.

Изменчивость переменного участка иммуноглобулинов в пределах одного организма объясняется особенностью строения их генов. Каждая полипептидная цепь молеку-



лы иммуноглобулина состоит из трех или четырех участков, каждый из которых может кодироваться одной из нескольких последовательностей ДНК. При сборке гена, кодирующего всю молекулу, из этих сегментов за счет комбинаторики возникает множество вариантов, что и объясняет существование огромного числа различных иммуноглобулинов.

Например, тяжелая цепь иммуноглобулина состоит из четырех сегментов: С, V, D (от англ. diversity — разнообразие) и J (от англ. joining — соединяющий). Константная область кодируется только одним участком ДНК, зато для сегмента J есть 4 последовательности, для сегмента D — 10, а участок V кодируется более чем 100 последовательностями. Общее число различных аминокислотных последовательностей, которые могут образоваться при сборке полного гена, будет равно  $4 \times 10 \times 100 = 4000$ . Число вариантов возрастает еще и из-за неточности соединения сегментов J, D и V. Ген легкой цепи также собирается из различных участков ДНК. Согласно С. Тонегаве из Массачусетского технологического института, потенциально возможное число различных иммуноглобулинов близко к миллиарду (см. Тонегав С. Молекулы иммунной системы, «В мире науки», 1985, № 12).

В рецепторе Т-клеток полипептидные цепи обозначаются  $\alpha$  и  $\beta$ . У мы-

ши обе цепи имеют молекулярную массу около 43 000 дальтон, у человека молекулярная масса  $\alpha$ -цепи примерно 50 000, а  $\beta$ -цепи — примерно 39 000. Сравнивая  $\alpha$ - и  $\beta$ -цепи, выделенные из разных клонов Т-клеток, мы обнаружили, что определенные участки аминокислотной последовательности неизменны во всех клонах, а другие участки в разных клонах различны.

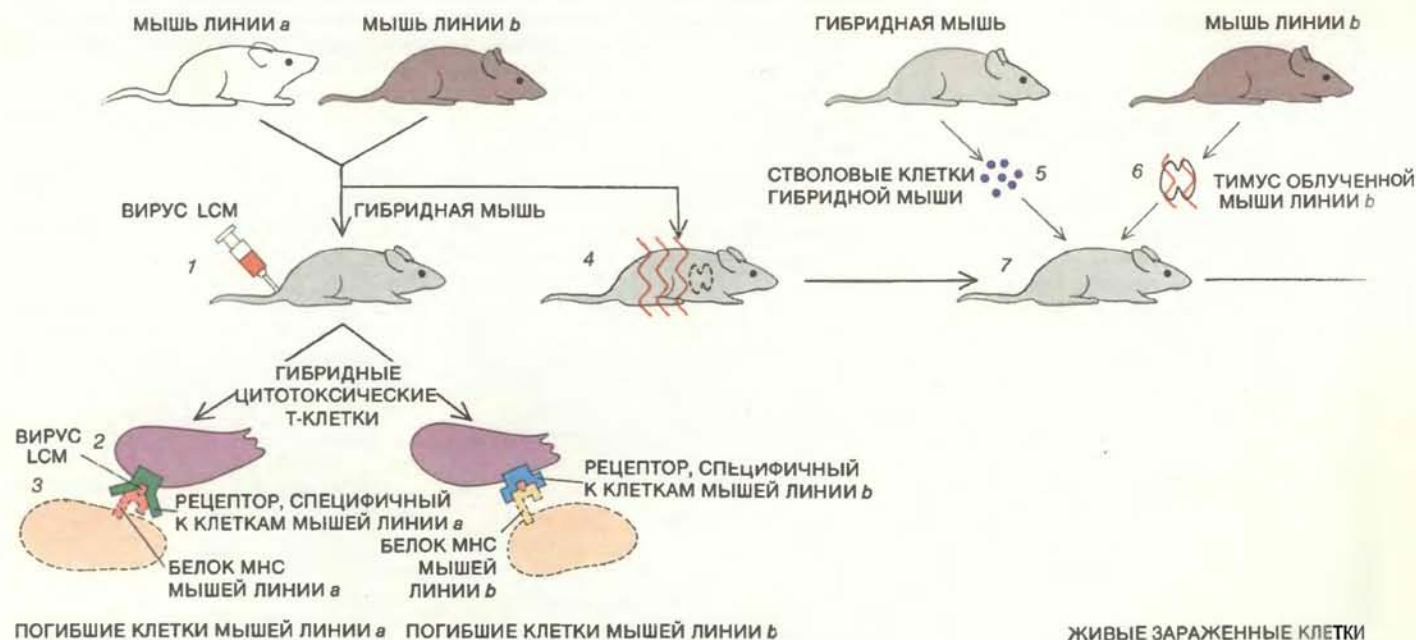
**ОТКРЫТИЕ** белков, составляющих рецептор Т-клеток, дало исследователям возможность воспользоваться методами молекулярной биологии. Эти методы позволяют анализировать гены, кодирующие изучаемые белки, и таким путем определять структуру белка гораздо быстрее, чем биохимическими методами. Поскольку рецепторы Т-клеток и иммуноглобулины играют, по-видимому, сходную роль в иммунной системе и притом сходны по структуре, казалось весьма вероятным, что, прежде чем рецептор Т-клеток начнет синтезироваться и появится на клеточной поверхности, сегменты ДНК, кодирующие его, перестраиваются, подобно генам иммуноглобулинов. И начались поиски генов для рецепторов Т-клеток.

Первые серьезные кандидаты на роль этих генов были описаны группой исследователей из Национальных институтов здоровья, Калифорний-

ского университета в Сан-Диего и Станфордского университета под руководством С. Хедрика и М. Дэвиса и одновременно Т. Маком с сотрудниками в Институте рака пров. Онтарио. Хедрик и Дэвис изучали гены мышей, а Мак — гены человека. В своей работе они исходили из того, что белок-рецептор Т-клеток должен присутствовать только на этих клетках, а, скажем, не на В-лимфоцитах. Применяв остроумную экспериментальную методику, исследователи идентифицировали гены, экспрессирующиеся либо только в В-лимфоцитах либо только в Т-лимфоцитах, но не в обоих видах клеток. Вначале были выделены гены, кодирующие  $\beta$ -цепь рецептора, а затем и гены  $\alpha$ -цепи. Анализируя эти гены, удалось многое узнать о структуре рецептора Т-клеток.

В состав как  $\alpha$ -, так и  $\beta$ -цепи рецептора Т-клеток входят сегменты V, J и С. Кроме того, в  $\beta$ -цепи обнаружен сегмент D; возможно, аналогичный участок есть и в  $\alpha$ -цепи. Аминокислотные последовательности этих сегментов имеют гомологию с соответствующими сегментами молекул иммуноглобулинов, но вовсе не идентичны им.

М. Дэвис и Л. Худ с сотрудниками в Калифорнийском технологическом институте изучали организацию последовательностей ДНК, кодирующих  $\beta$ -цепь. Они обнаружили 12 сег-



ВЛИЯНИЕ ТИМУСА на Т-клетки было продемонстрировано в экспериментах Р. Цинкернагеля. Гибридных мышей, потомков родителей линий *a* и *b*, иммунизировали вирусом LCM (1). Их цитотоксические Т-клетки, специфичные к этому вирусу (2), могли убивать зараженные вирусом клетки и линии *a*, и линии *b* (3). У животных удалили тимус и

подвергли их облучению, чтобы уничтожить все Т-лимфоциты и другие лимфоидные клетки (4). Этим мышам пересадили костный мозг от таких же гибридных мышей, но необлученных (5) и тимус от облученных мышей линии *b* (6). Таким образом гибридные стволовые клетки развивались в гибридных животных, тимус которых состоял из клеток



ментов J, 2 сегмента D (причем каждый из них может транскрибироваться по трем рамкам считывания) и около 20 сегментов V. Число возможных комбинаций составляет по меньшей мере  $12 \times 2 \times 3 \times 20 = 1440$ . Заметим, что это наверняка гораздо меньше реальной изменчивости, так как в нее, кроме того, дают вклад мутации и неточность соединения сегментов ДНК. Число возможных  $\alpha$ -цепей еще огромнее: хотя в ней сегмент D пока не обнаружен, но вариантов сегментов V и J больше, чем в  $\beta$ -цепи, — вероятно, их около 100. Таким образом, вместе  $\alpha$ - и  $\beta$ -цепи могут дать около 10 млн. различных видов рецептора Т-клеток, что более чем достаточно для обеспечения известного на сегодняшний день разнообразия специфичности Т-клеток.

**Н**ОВАЯ информация о структуре рецептора Т-клеток привела к переосмыслению и уточнению многих традиционных представлений о действии иммунной системы. Существуют три основные ситуации узнавания, механизм которых было бы желательно объяснить со структурных позиций. Во-первых, Т-клетки не реагируют на белки МНС своего собственного организма (иначе говоря, толерантны к ним). Во-вторых, Т-клетки реагируют на антиген при одновременном присутствии белка МНС данного организма, но не взаи-

модействуют с тем же антигеном в сочетании с белками МНС другого организма. В-третьих, Т-клетки реагируют на белки МНС другого организма даже в отсутствие антигена (чем и объясняется отторжение пересаженной чужеродной ткани). Возникает вопрос, связанный с этими тремя фактами: каким образом в тимусе предшественники Т-клеток дифференцируются в клетки, имеющие такие свойства?

Наиболее простое объяснение явления толерантности Т-лимфоцитов к клеткам собственного организма состоит в следующем: клоны Т-клеток, реагирующих с белками МНС того же организма, в тимусе каким-то образом выявляются и элиминируются. До сих пор непонятно, как это происходит. Есть несколько гипотез. Так, предполагают, что на одной из стадий своего развития Т-клетка гибнет, если ее антиген-специфичный рецептор связывается с какими-либо молекулами, экспонированными на поверхности клеток организма. Эта идея известна под названием «клонально-абортная теория»; согласно ей, в ходе развития все Т-клетки, которые специфично реагируют с белками МНС или другими антигенами данного организма, должны быть уничтожены, так как они постоянно подвергаются воздействию «своих» молекул. Т-клетки, специфично связывающиеся со «своими» белками МНС в сочетании с чужими антигенами, тоже гибли бы, если бы образование этих комплексов происходило. Но в ничем не зараженном животном чужеродных антигенов нет, и такие Т-клетки развиваются до полной зрелости.

Реакция Т-клеток на белок МНС в сочетании с антигеном имеет свои загадки. Р. Цинкернагель с сотрудниками и М. Биван (тогда сотрудник Массачусетского технологического института) первыми очертили эту проблему в работе об «обучении» Т-клеток в тимусе (см. рисунок слева). Они скрестили мышей двух разных линий, *a* и *b*, и получили от них потомство, которое было гибридным: у каждой особи в соматических (неполовых) клетках имелись белки МНС животных обеих линий — *a* и *b*. У гибридных мышей удалили тимус и подвергли их действию радиации, чтобы убить все В- и Т-клетки. Этим животным пересадили тимусы мышей линии *b* и новый костный мозг от таких же гибридных, но неоперированных и необлученных животных.

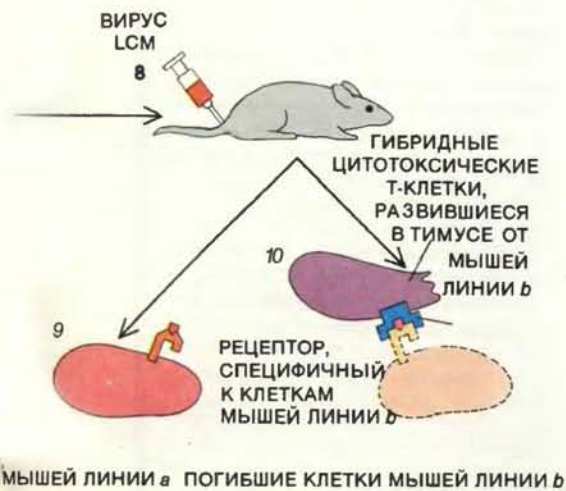
В нормальных условиях у гибридных мышей стволовые клетки, имея гены *a*, и гены *b*, должны развиваться в зрелые Т-клетки, способные реагиро-

вать на антиген в сочетании как с белком МНС мышей линии *a*, так и с белком МНС мышей линии *b*. Однако у бестимусных облученных животных, которым пересадили тимус от мышей линии *b*, на поверхности нелимфоидных клеток пересаженного тимуса присутствовали только белки МНС мышей линии *b*, хотя на всех остальных клетках тела были белки *a*, и *b*. К своему удивлению, исследователи обнаружили, что Т-клетки этих животных могут реагировать на антиген только вместе с белком МНС мышей линии *b*, но не *a*. Таким образом, среди Т-клеток, которые развивались в тимусе, содержащем лишь клетки *b*, произошел отбор на способность узнавать антигены в сочетании с тем белком МНС, который имелся на клетках тимуса. Т-клетки явно не могут узнавать антиген с белком МНС, чужим по отношению к тимусу, в котором они прошли «обучение».

Для объяснения всех этих неожиданных результатов было предложено немало гипотез, но ни одна из них не является исчерпывающей. Возможно, что до того, как Т-клетки созреют и начнут функционировать, их рецепторы должны слабо связываться с белками МНС, присутствующими на клетках тимуса. Клоны тех Т-клеток, рецепторы которых имеют наибольшее сродство к белкам МНС своего организма, подвергнутся элиминации, а оставшиеся Т-клетки со слабым сродством к этим белкам перейдут в кровотоки. Сродство же рецепторов таких Т-клеток к антигену в комплексе с белком МНС данного организма может быть существенно больше, чем к одному антигену в отдельности.

А что можно сказать о мощном ответе Т-клеток на чужеродную ткань? Наиболее общепринятое объяснение состоит в том, что для Т-клеток чужие белки МНС структурно похожи на «свои» белки МНС в комплексе с антигеном. Эта гипотеза опирается на ряд наблюдений. Например, установлено, что «свои» белки МНС в комплексе с антигеном связывает тот же самый рецептор, который взаимодействует с чужими белками МНС. Кроме того, рецептор, по-видимому, устроен так, что может связывать антиген, ассоциированный с белком МНС либо только класса I, либо только класса II, но не с тем и другим независимо от того, является белок МНС «своим» или чужеродным.

В 1984 г. было немало сделано для выяснения основы такой «предрасположенности» рецептора Т-клеток. Однако пока никому не удалось обнаружить существенных различий между Т-клетками, ограниченными тем



мышей линии *b* (7). Когда таких мышей иммунизировали вирусом LCM (8), то оказалось, что их Т-клетки не способны убивать зараженные вирусом клетки линии *a* (9), но убивают зараженные клетки линии *b* (10).



или другим классом белков МНС. Тонегава с сотрудниками открыли в Т-клетках третий перестраивающийся ген, который обозначили  $\gamma$ . Особенности нуклеотидной последовательности гена  $\gamma$  позволяют предположить, что, насколько сейчас можно судить, белок — продукт этого гена не является частью рецептора Т-клеток. Ген  $\gamma$  экспрессируется только в цитотоксических Т-лимфоцитах; возможно, белок, кодируемый им, вносит какой-то вклад в специфичность этих клеток к определенному белку МНС.

Если существует сходство в структуре между комплексом «своего» белка МНС с антигеном и чужим белком МНС, то можно предположить, что антиген в составе комплекса занимает относительно мало места. Небольшая антигенная часть лучше соответствует антигенсвязывающему участку рецептора Т-клеток, чем крупная. Последние работы нескольких исследователей групп, в частности, Э. Унью и его коллег, Р. Шварца с сотрудниками из Национального института аллергии и инфекционных заболеваний, а также наши данные, полученные в сотрудничестве с Г. Греем из Национального еврейского центра иммунологии и респираторных заболеваний, говорят о том, что связанный антиген действительно весьма мал.

Мы обнаружили, например, что Т-лимфоциты взаимодействуют с живыми клетками, инкубированными с антигеном, но не реагируют на тот же самый антиген, когда он добавлен к клеткам, обработанным химическим фиксирующим агентом. Однако, если в среде с такими клетками присутствует не целый антиген, а небольшой его фрагмент, реакция Т-лимфоцитов наблюдается. Эти результаты подтверждают, что клетки, представляющие антиген, с которыми и связываются Т-клетки, осуществляют определенный процессинг антигена, т. е. каким-то образом перерабатывают его.

**СЛЕДУЕТ** обсудить еще один важный аспект проблемы. Поскольку существуют В-клетки, ясно, что возможна и такая система, в которой рецептор узнает и связывает свободный антиген. Это через некоторое время приводит к росту клонов и дифференцировке В-клеток, которые в большом количестве синтезируют и секретируют антитела, метящие антиген для последующего разрушения. Зачем же тогда у Т-клеток развилась столь сложная «процедура» узнавания антигена только в сочетании с белками — продуктами генов МНС?

На этот вопрос можно ответить телеологически: Т-клетки предназначены для того, чтобы реагировать только с клеткой-мишенью, а не со свободным антигеном. Скажем, цитотоксические Т-лимфоциты уничтожают зараженные вирусом клетки и тем самым препятствуют его размножению и распространению инфекции по организму. Эти клетки не могут убивать свободные вирусные частицы, а значит, если бы не было механизма, направляющего их действие на клетки, зараженные вирусом, ресурсы Т-лимфоцитов растранивались бы зря. Рецептор цитотоксических Т-клеток устроен так, что связывает вирусный антиген только тогда, когда может одновременно связать белок МНС класса I, представленный на по-

верхности всех ядродержащих клеток данного организма.

Значительно сложнее устроен рецептор хелперных Т-клеток, который предназначен для взаимодействия в первую очередь с В-клетками, а также с другими клетками иммунной системы. Рецептор Т-хелперов связывается с антигеном в сочетании со «своим» белком МНС класса II, который имеется на поверхности только В-лимфоцитов и других клеток иммунной системы. Следовательно, иммунная система развивалась таким путем, что оба класса белков МНС служат как бы указателями для Т-клеток, направляя их к антигену в те места, где действие Т-клеток будет эффективным.

## Издательство МИР предлагает:

### Ю. Нентвиг, М. Крейдер, К. Моргенштерн ХИМИЧЕСКИЙ ТРЕНАЖЕР. ПРОГРАММИРОВАННОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

В 2-х томах

Перевод с английского

Учебное пособие по химии, предназначенное для средней школы. По объему материала пособие соответствует полной школьной программе по химии, но форма подачи материала необычна — это программированный учебник, рассчитанный в основном на самостоятельную работу учащегося и снабженный системой постоянного самоконтроля.

Для преподавателей и учащихся средней школы, учебных заведений, входящих в систему профтехобразования, техникумов.

Из отзыва Председателя предметной комиссии по химии Всероссийской химической олимпиады школьников, профессора Г.В. Лисичкина: «Причина активного интереса массового читателя к программированным учебникам состоит в том, что такие учебники незаменимы для самообразования ... Удачное программированное пособие во многих случаях может

быть для учащегося более полезно, чем обычный учебник ... В условиях проходящей реформы общеобразовательной и профессиональной школы значение учебных пособий, позволяющих активизировать учебную работу, еще более возрастет».

Из отзыва члена Президиума научно-методического совета по химии Минвуза СССР и Комиссии по химии учебного методического совета Министерства просвещения СССР, заслуженного деятеля науки РСФСР, профессора В.М. Потапова: «... опора на фактический материал, чем отличается данный учебник, безусловно полезна в плане приближения к жизни, к практике, что является одной из главных целей реформы. Программированная форма будет способствовать выполнению и другой важной задачи реформы школы — активизировать учебную работу учащегося как главную форму их труда».

1986, 60 л. Цена комплекта 3 р.70 к.





## SCIENTIFIC AMERICAN

ФЕВРАЛЬ 1936 г. Прошел почти год с тех пор, как в созвездии Геркулеса была обнаружена очень яркая звезда. Когда английский астроном-любитель Прентис впервые заметил ее утром 13 декабря 1934 г., ее блеск соответствовал третьей звездной величине. Затем он уменьшился вдвое и снова возрос, а к 23 декабря ее блеск достиг звездной величины 1,5, сравнившись с блеском звезды альфа Лебедя; новая звезда стала одной из самых ярких звезд на небосклоне. В течение трех месяцев после этого ее блеск менялся нерегулярно, постепенно уменьшаясь. Наконец, 1 апреля он стал быстро снижаться и за девять дней из звезды 4,5 величины она превратилась в звезду 10-й величины. В начале мая ее блеск начал неуклонно возрастать, так что в конце июня это была звезда 8-й величины. С тех пор ее блеск изменился, но незначительно.

В начале 80-х годов прошлого века алюминий представлял собой дорогостоящий металл, мало используемый и с весьма туманными перспективами на будущее. Ровно 50 лет назад в феврале 1936 г. Ч. Холл произвел революцию в промышленности, разработав электролитический метод получения алюминия из его оксида. Цена на алюминий упала буквально за одну ночь, и в последующие 50 лет можно было наблюдать за возникновением самых разных направлений использования этого металла. В настоящее время по объему производства алюминий занимает среди металлов пятое место в мире, его опережают лишь железо (и сталь), медь, свинец и цинк. Мечты, которые витали в воздухе в 80-х годах прошлого века, воплотились в жизнь: появились поезда, мосты и даже здания из алюминия! Роль этого металла в течение следующих 50 лет будет определяться в основном потребностями экономики.

Бесспорно, что важная роль кино определяется не только тем, что оно оказывает влияние на общественную жизнь, но и тем, что оно является единственным видом искусства, появившимся в наше время. К сожалению, фильмы чрезвычайно быстро «исчезают» с экрана. Фильм двухлетней давности зрители, вообще говоря, больше не могут увидеть. Если бы

такое положение существовало в литературе, то читателям были бы доступны только те произведения, которые изданы за последний год. Чтобы исправить ситуацию, при Музее современного искусства создана библиотека кинолент. В ней будут храниться лучшие фильмы разных жанров. Студенты колледжей и сотрудники музея смогут теперь изучать историю кино как вида искусства.

## SCIENTIFIC AMERICAN

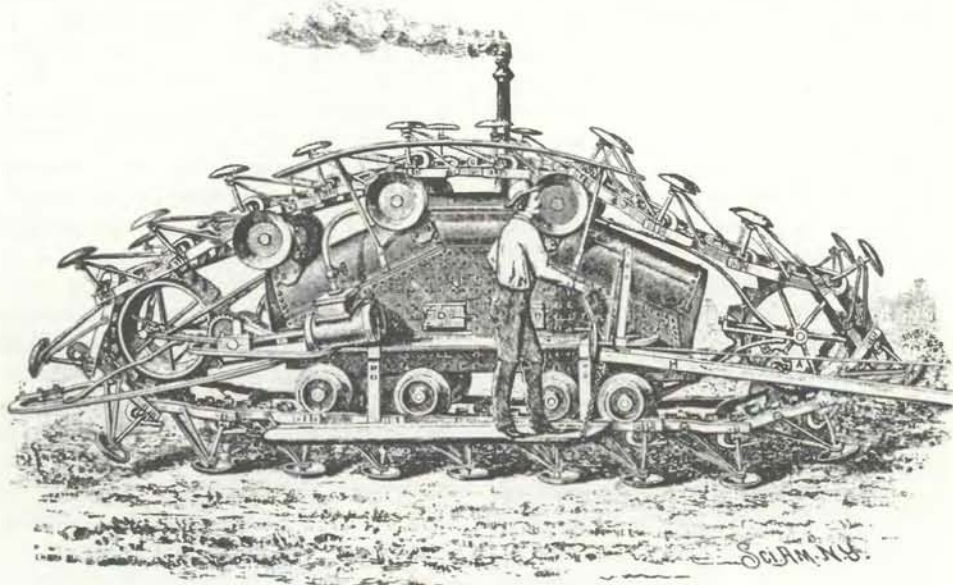
ФЕВРАЛЬ 1886 г. Прошлым летом было объявлено о том, что Томас А. Эдисон работает над созданием индуктивного телеграфа, предназначенного для передачи и приема сообщений на движущихся поездах. Это подготовило широкую публику к тому, чтобы обратить внимание на новую систему, испытываемую на железнодорожной линии Staten Island. Главное, что отличает эту систему, — использование обычных телеграфных проводов, протянутых на столбах вдоль железной дороги, позволяющее избежать прокладки специального кабеля. Аппаратура состоит из телеграфного ключа Морзе, наушников, электромагнита, вибратора, индукционной катушки и электрической батареи. Такая же аппаратура устанавливается на железнодорожных станциях.

В Соединенных Штатах все возрастают отлов и уничтожение птиц ради прихотей моды. В результате удручающе уменьшилось видовое разнообразие

образия и численность многих видов птиц, что побудило Американское орнитологическое общество организовать Комитет по охране североамериканских птиц. В задачи комитета входит сбор всевозможных сведений об уничтожении птиц, проведение мероприятий, необходимых для их защиты, распространение этих сведений с целью вызвать у людей сострадание к птицам, а также разработка законов, которые взяли бы под охрану мелких птиц, как это сделано в правилах охоты на больших птиц.

Небольшое устройство, размещенное на центральной телефонной станции, сообщает абонентам точное время. Это устройство каждую минуту посылает по линии прерывистые сигналы. Сигналы настолько слабые, что не мешают разговору, однако они все-таки слышны в трубке. Если абонент хочет узнать точное время, он должен всего лишь снять трубку. Каждую минуту он слышит тихий звук, который служит предупреждением: сразу после него следуют прерывистые сигналы, которые указывают часы и минуты. Фирма National Time Regulating Co., обслуживающая новое устройство, взимает с абонентов плату 1 долл. в год.

Новая сельскохозяйственная машина, изображенная на рисунке, укладывает перед собой «пути», которые состоят из «бесконечной» цепи, натянутой на два звездчатых колеса, «башмаков», опирающихся на землю, и соединительных «шпал». Машиной и сцепкой из 10 плугов может управлять один человек. На испытаниях машина мощностью 20 л.с. вспахала за один час три акра земли при глубине вспашки шесть дюймов.



Гусеничная сельскохозяйственная машина



# Средневековая астрономия в странах ислама

*В средние века астрономия, находившаяся в застое в Европе, переживала расцвет в странах ислама.*

*Астрономы эпохи Возрождения учились по сочинениям исламских ученых, которые в свою очередь сохранили и развили достижения древних греков*

ОУЭН ГИНГЕРИЧ

**И**СТОРИКИ науки, прослеживающие развитие астрономии с античности до Возрождения, иногда называют период с VIII по XIV в. «исламским». В эту эпоху наиболее быстрый подъем астрономии был отмечен на Среднем Востоке, в Северной Африке и в мавританской Испании. В то время, когда Европа была погружена во тьму средних веков, светильник древней науки перешел в страны ислама. Ученые этих стран «поддерживали в нем огонь», и от них он попал в Европу эпохи Возрождения.

Развитию астрономии в странах ислама способствовали два обстоятельства. Одним из них была географическая близость к регионам, где древняя наука достигла своего расцвета, в сочетании с проявлением терпимости по отношению к ученым из других стран. В IX в. на арабский язык была переведена значительная часть научных сочинений древних греков, включая «Синтаксис» Птолемея — высшее достижение античной астрономии. Именно благодаря этим переводам греческие труды стали впоследствии известны в средневековой Европе. («Синтаксис» Птолемея до сих пор известен в Европе под арабским названием «Альмагест», что означает «Величайший».)

Другое обстоятельство было связано с мусульманскими обрядами, которые ставили перед математической астрономией ряд задач, касающихся в основном исчисления времени. Решая эти задачи, ученые стран ислама вышли далеко за рамки математических методов древних греков. Их достижения, особенно в тригонометрии, сыграли важную роль в становлении европейской астрономии в эпоху Возрождения.

Отголоски достижений средневековой астрономии исламского мира звучат и в наши дни. Термины «зенит»,

«азимут», «алгебра» или названия звезд «летнего треугольника»: Вега, Альтаир, Денеб, — слова арабского происхождения. Однако если история заимствования греческой астрономии арабоязычными учеными известна сравнительно хорошо, то история усовершенствования ими этой науки, равно как и история ее последующего возвращения на латиноязычный Запад, только сейчас начинает проясняться. Остаются непроцртенными еще тысячи рукописей. Тем не менее в общих чертах уже можно осветить этот процесс.

## *Багдадский «Дом мудрости»*

В исламском мире наука в целом и астрономия в частности стали развиваться спустя два века после 622 г. н.э. — переселения Мухаммада из Мекки в Медину. Это событие, известное под названием «хиджры», принято в качестве начальной точки мусульманского летоисчисления. В первые века существования ислама происходило его стремительное и беспорядочное распространение. Лишь в конце II — начале III вв. (по мусульманскому календарю) в этом регионе сложилась достаточно устойчивая обстановка с характерным для нее смешением народностей, в которой наука могла достигнуть расцвета. В этот период правители новой династии Аббасидов, ставшей в 750 г. во главе халифата (высшего политического института ислама) и основанной в 762 г. новую столицу — Багдад, поощряли деятельность по переводу греческих рукописей. В течение всего нескольких десятилетий на арабский язык были переведены основные научные сочинения античных мыслителей, включая Галена, Аристотеля, Евклида, Птолемея, Архимеда и Апол-

лония. Эта работа выполнялась учеными-мусульманами, христианами и язычниками.

Наиболее деятельным покровителем наук был халиф аль-Мамун, который пришел к власти в 813 г. Аль-Мамун основал академию, получившую название «Дом мудрости», и во главе ее поставил несторианина Хунайна ибн Исхак аль-Ибади с плеядой блестящих ученых-греков. Хунайн получил наибольшую известность из всех переводчиков греческих текстов. Он перевел на арабский Платона, Аристотеля и их комментаторов, а также труды трех основоположников греческой медицины: Гиппократ, Галена и Диоскорида.

В переводе трудов по астрономии и математике главную роль в академии играл язычник Сабит ибн Корра. До этого Сабит был мясолом на рынке в городе Харране в северной части Месопотамии, считавшемся центром астрального культа. Он утверждал, что приверженцы этого культа первыми начали обрабатывать землю, возводить города, строить морские порты и развивать науку. В мусульманской столице к его взглядам отнеслись спокойно, и здесь он написал свыше 100 научных сочинений, включая комментарий к «Альмагесту».

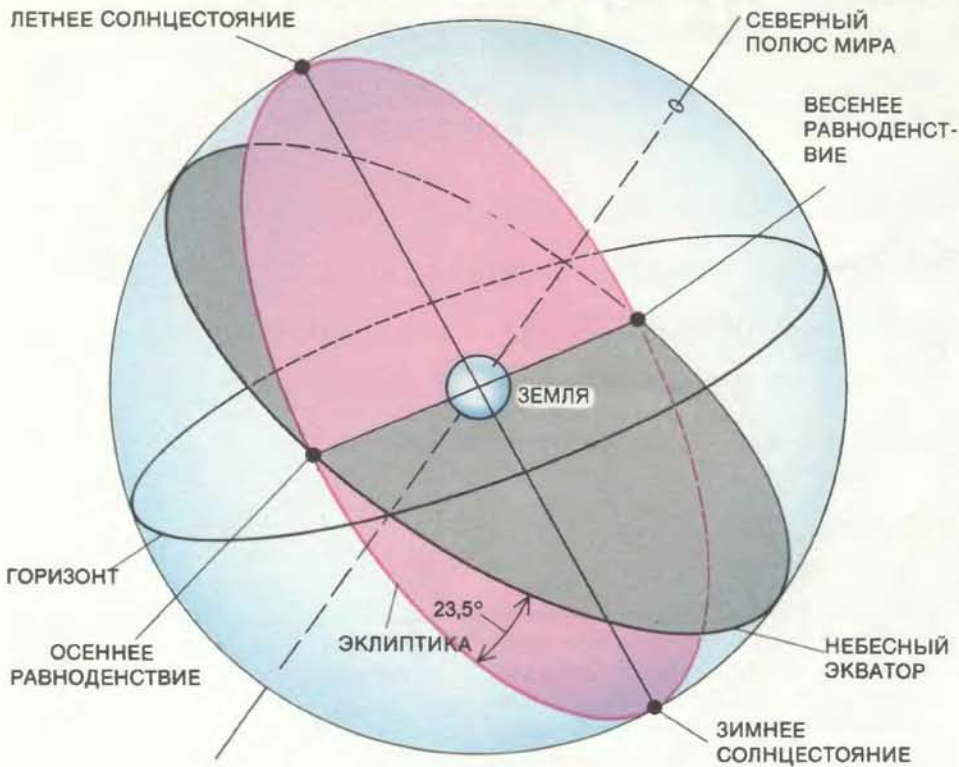
Еще одним астрономом-математиком в «Доме мудрости» был аль-Хорезми, чья «Алгебра», посвященная аль-Мамуну, стала, вероятно,

КАРТА СОЗВЕЗДИЯ ПЕРСЕЙ — средневековая мусульманская копия рисунка, выполненного в X в. персидским астрономом Абд аль Рахман ас-Суфи. Ас-Суфи пересмотрел список звезд, составленный во II в. Птолемеем, выдающимся астрономом древности. Рисунок взят из рукописи, хранящейся в Каирской национальной библиотеке.









**НЕБЕСНАЯ СФЕРА**, вращающаяся вокруг Земли, использовалась древними астрономами для объяснения движения Солнца и звезд. Ее полюса и экватор — это проекции на небосвод полюсов и экватора Земли. Суточному вращению сферы вокруг своей оси в направлении с востока на запад отвечает движение Солнца и звезд по концентрическим кругам вокруг полюсов. Солнце движется несколько медленнее звезд, так что его годичному движению на восток соответствует движение на небесной сфере по кругу, называемому эклиптической. В моменты равноденствий Солнце пересекает небесный экватор; во время солнцестояния светило находится на угловом расстоянии  $23,5^\circ$  выше или ниже экватора. Наблюдатель, находящийся на Земле, видит только ту половину небесной сферы, которая находится выше горизонта.

первой арабоязычной книгой в этой области математики. Появление «Алгебры» способствовало привнесению в исламский мир методов, развитых греками и индийцами. После 1100 г. она была переведена на латынь англичанином Робертом из Честера, который приехал в Испанию, чтобы изучать математику. Его перевод оказал большое влияние на западную средневековую алгебру. Арифметический трактат аль-Хорезми, начинающийся словами «Dixit Algoritmi» (от которых происходит современное слово «алгоритм»), также оказал большое влияние на европейскую алгебру.

Более того, это влияние навсегда сохранилось в математике и других науках: с этим сочинением в Европу пришли арабские цифры. Наряду с некоторыми тригонометрическими преобразованиями арабы заимствовали из Индии числовой ряд, включая цифру ноль. Индийские цифры существовали в исламском мире в двух формах; в Европу через Испанию попала западная форма. Эти цифры, включая явный ноль, гораздо удобнее для вычислений, чем римские цифры.

В IX в. в Багдаде работал еще один астроном — Ахмад аль-Фаргани. Его труд «Элементы астрономии» способствовал распространению наиболее простых, нематематических понятий птолемеевой геоцентрической астрономии. «Элементы» существенно повлияли на развитие западной науки. Книга дважды переводилась на латынь в Толедо: в первой половине XII в. Иоанном Севильским (Испанским) и в более полном виде спустя несколько десятилетий Герардо Крёмонским.

По переводу Герардо с начатками птолемеевой астрономии познакомился Данте. (В «Божественной комедии» поэт спускается по всем сферам планет к центру, где находится Земля.) Однако на Западе большую известность получил ранний перевод Иоанна Севильского. Он послужил основой для «Сферы» Сакробоско — еще более упрощенного изложения «сферической астрономии», — книги, написанной в начале XIII в. Джоном из Холивуда (известным также под именем Иоанна Сакробоско). В университетах всего западного христиан-

ского мира «Сфера» Сакробоско оставалась популярной в течение долгого времени. В эпоху книгопечатания она выдержала 200 изданий, пока в начале XVII в. не была вытеснена другими сочинениями, включая трактат Иоанна Кеплера. Если не считать «Начал» Евклида, ни одно научное руководство не господствовало в науке в течение столь продолжительного времени.

Таким образом, из багдадского «Дома мудрости», объединившего ученых разных национальностей и верований, распространялись не только замечательные переводы научных и философских трудов греческих авторов, но и комментарии к ним, а также оригинальные труды. К 900 г. деятельность представителей этой академии привела к расцвету многонациональной науки с одним языком (арабским) в качестве носителя.

### *Влияние религиозных обычаев*

Основной толчок к развитию астрономии в странах ислама был связан с религиозными обрядами, которые ставили перед математической астрономией, и, в частности, перед сферической геометрией ряд разнообразных вопросов.

Во времена Мухаммада как христиане, так и иудеи вычисляли дни религиозных праздников, таких, как пасха, по фазам Луны. Однако обе общины сталкивались с одинаковой трудностью: лунный месяц продолжительностью около 29,5 земных суток несоизмерим с земным годом продолжительностью 365 суток. Иначе говоря, 12 лунных месяцев составляют в сумме лишь 354 дня. Чтобы устранить это препятствие, христиане и иудеи пользовались системой исчисления времени, которая была основана на схеме, разработанной около 430 г. до н.э. афинским астрономом Метонем. 19-летний «метонов цикл» состоял из 12 лет по 12 лунных месяцев и 7 лет по 13 лунных месяцев. Периодическое включение 13-го месяца «удерживало» дни календаря в пределах одних и тех же сезонов.

В действительности описанной стандартной процедуре следовали не всегда: иногда правители самовольно, в своих интересах, прибавляли тринадцатый, дополнительный, месяц чаще всего ради денежных выгод. Мухаммад видел в таких действиях «козни дьявола». Он записал в Коране (сура 9, стих 36): «Поистине, число месяцев у Аллаха — двенадцать месяцев в писании Аллаха в тот день, как Он сотворил небеса и землю. Из них

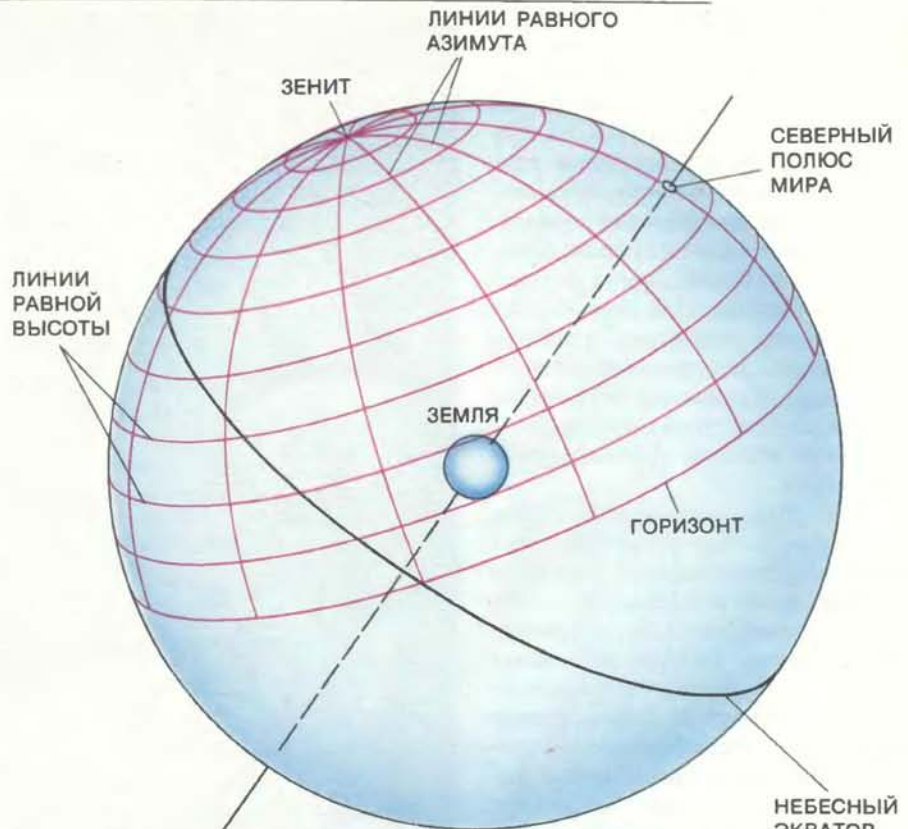


четыре — запрещенных, это — стойкая религия». Халиф Умар I (634—644) воспринял это указание как требование ввести точный лунный календарь, который и до настоящего времени используется в большинстве мусульманских стран. Поскольку год хиджры на 11 суток короче солнечного года, мусульманские праздники, например рамадан (месяц поста), медленно смещаются по сезонам, возвращаясь к первоначальной дате через каждые 30 солнечных лет.

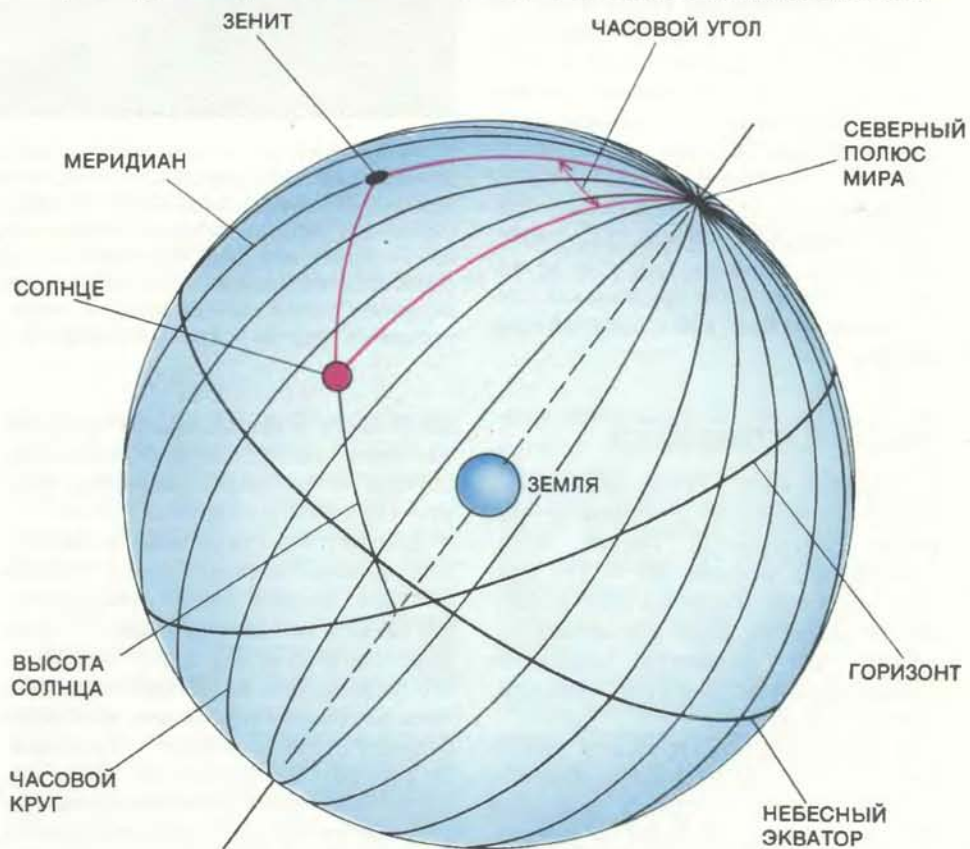
Кроме того, рамадан и другие мусульманские праздники не начинаются в момент астрономического новолуния, когда долгота Луны равна долготе Солнца, и поэтому Луна не видна. Начало праздников приурочено к тому времени, когда в западной части ночного неба впервые появляется тонкий лунный серп. Предсказание времени появления лунного серпа было особенно важной задачей для астрономов-математиков в исламском мире. Хотя теория Птолемея для сложного движения Луны «работала» довольно точно вблизи момента новолуния, она определяла путь Луны лишь по отношению к эклиптике (пути Солнца по небесной сфере). Чтобы предсказать появление луны, нужно было определять ее движение относительно горизонта, а для этого были необходимы изощренные методы сферической геометрии.

Этого же требовали и два других религиозных обычая. Одна задача была связана с тем, что мусульмане молятся, обратясь лицом к Мекке, и строят мечети, ориентируя их в этом же направлении, поэтому надо было научиться определять направление на священный город в любом заданном месте. Вторая задача состояла в том, чтобы по расположению небесных тел определять правильное время дневных молитв, совершаемых с восходом Солнца, в полдень, днем, с заходом Солнца и перед наступлением ночи.

Решение обеих задач связано с нахождением неизвестных сторон и углов треугольника на небесной сфере по известным сторонам и углам. Один из способов определять время дня, например, состоит в построении треугольника, вершины которого суть зенит, Северный полюс мира и Солнце. Наблюдатель должен знать высоту Солнца и полюса; первая может быть измерена, а вторая равна широте места, в котором находится наблюдатель. Время дня определяется углом между меридианом (дугой, проходящей через зенит и полюс мира) и солнечным часовым кругом (дугой, соединяющей Солнце и полюс мира).



**ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ** позволяют картировать небесную полусферу, видимую на данной широте. Небосвод делится линиями равной высоты, лежащими выше горизонта, и линиями равного азимута, которые пересекают горизонт; последние сходятся в зените — точке, расположенной над наблюдателем.

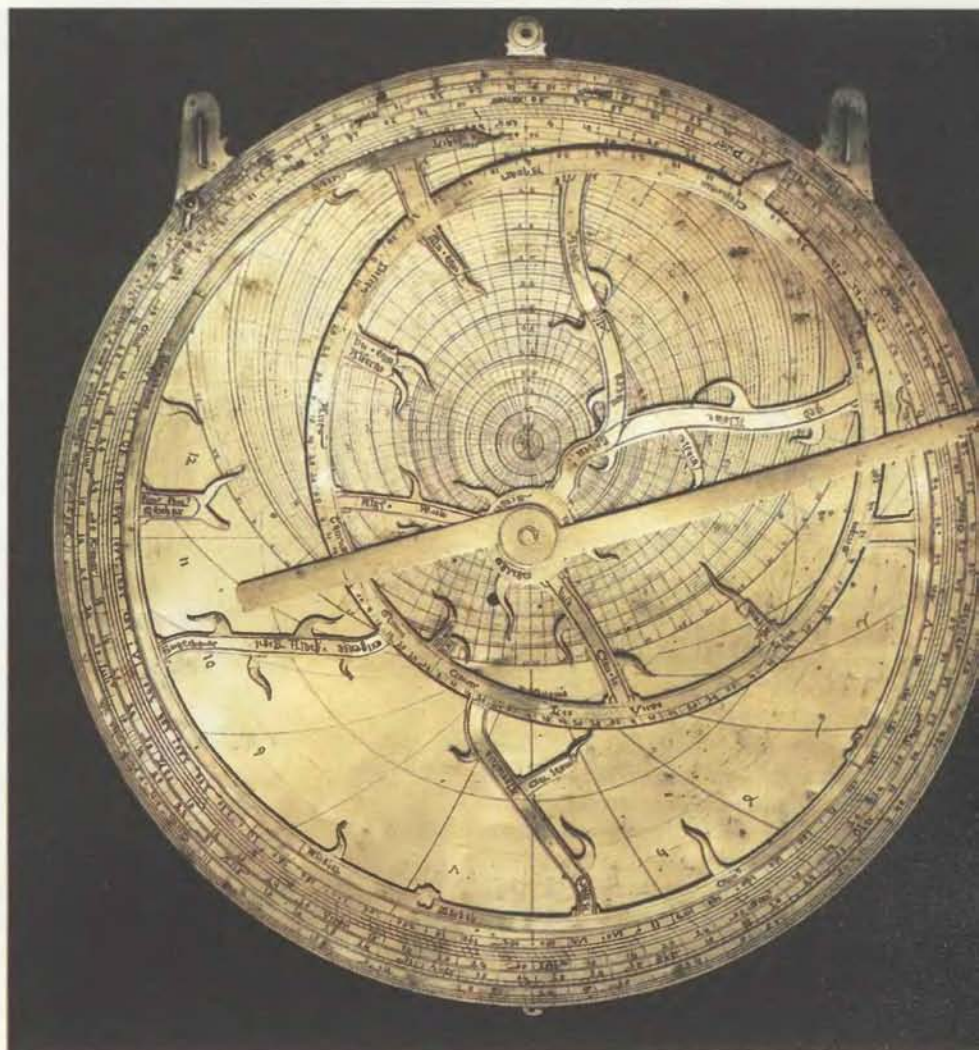


**РЕШЕНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ ТРЕУГОЛЬНИКОВ** представляло ключевой момент многих задач, с которыми сталкивались астрономы в странах ислама. Для определения времени дня по высоте Солнца, например, требовалось найти часовой угол, образованный пересекающимися в Северном полюсе мира меридианом (большим кругом, проходящим через зенит и полюса мира) и солнечным часовым кругом (проходящим через Солнце и полюса мира). В полдень, когда Солнце пересекает меридиан, его высота (для данного дня) максимальная, а часовой угол равен нулю.



Птолемей использовал для решения сферических треугольников довольно сложный метод, разработанный в конце I в. н.э. Менеласом из Александрии и основанный на построении двух пересекающихся прямоугольных треугольников; применение к нему теоремы Менелая позволяло найти одну из шести сторон, однако лишь в том случае, когда остальные пять известны. Для определения времени суток, например, требовалось несколько раз применять теорему Менелая. Исламские астрономы стояли перед серьезной проблемой — найти более простой тригонометрический метод.

К IX в. были определены шесть современных тригонометрических функций — синус и косинус, тангенс и котангенс, секанс и косеканс, в то время как Птолемей знал одну лишь хордовую функцию. Пять из названных функций — арабского происхождения; только «синус» был заимствован в Индии. (Интересна этимология этого слова. В санскрите есть слово «ордхаджива», означающее «половина хорды», которое в арабском языке укоротилось и превратилось в «джиб». В арабском языке краткие гласные буквы не изображаются при письме, поэтому оно стало читаться как «джайб», что означает «карман», «впадина». В средневековой Европе это слово было переведено словом *sinus* (по-латыни — «карман».) С IX в. началось быстрое развитие сферической тригонометрии. Ученые стран ислама открыли простые тригонометрические тождества, такие, как теорему синусов, которые позволили свести решение сферических треугольников к быстрой и простой процедуре.



АСТРОЛЯБИЯ упростила астрономические вычисления, включая исчисление времени. Используемые в ней медные диски — это плоские проекции небесной сферы. Верхний резной диск, называемый «паук», содержит остроконечные указатели, определяющие положения основных звезд. Смещенный круг на «пауке» — эклиптика. Под «пауком» находится сплошной диск, на котором выгравирована сетка звездных координат, соответствующая определенной широте наблюдения: линии равной высоты, линии равного азимута и часовые круги. Путем вращения «паука» вокруг центральной точки (соответствующей Северному полюсу

## Звезды и астрольбии

Название звезд — одно из наиболее заметных наследий арабской астрономии. Бетельгейзе, Ригель, Вега, Альдебаран, Фомальгаут — это примеры названий, которые либо имеют непосредственно арабское происхождение, либо являются арабскими транскрипциями греческих названий, данных Птолемеем.

В «Альмагесте» Птолемей приводит список более 1000 звезд. Впервые с критикой этого списка выступил Абд аль-Рахман ас-Суфи — персидский астроном X в., работавший как в Иране, так и в Багдаде. Сочинение ас-Суфи «Книга созвездий неподвижных звезд» не дополнило список «Альмагеста» новыми звездами и не изъяло из него старые; не исправлены в нем и многие неверные положения звезд. Однако более точно определены вели-

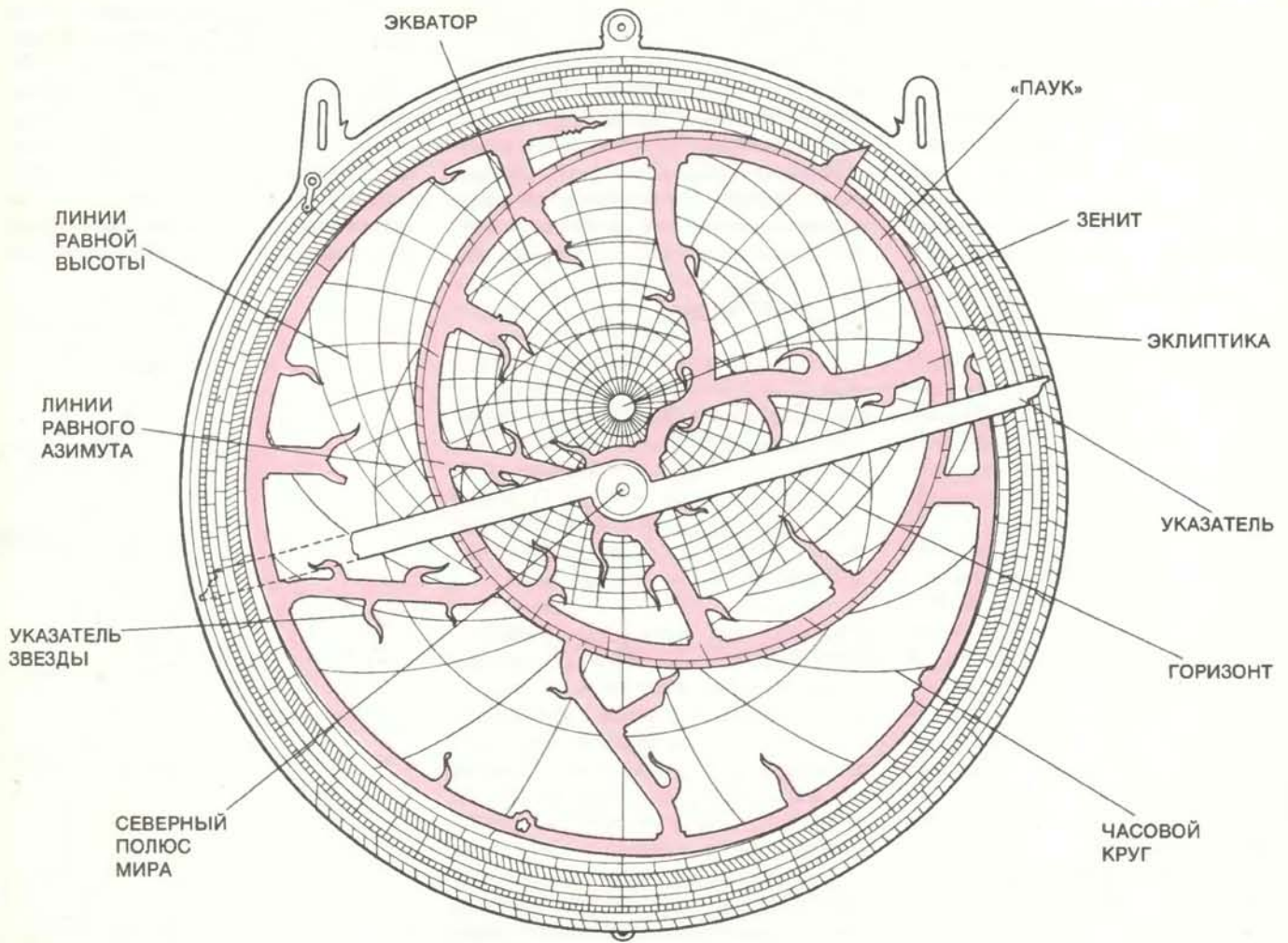
чины звезд и приведены их арабские названия; последние в большинстве случаев — дословные переводы данных Птолемеем названий.

Долгие годы существовало мнение, что арабские названия звезд, данные ас-Суфи, легли в основу номенклатуры звезд в западных странах. Теперь представляется, что в XIV и XV вв. его переводчики на латынь пользовались латинским переводом арабского издания трудов самого Птолемея. Оттуда они брали описания звезд, которые сочетали с великолепными рисунками созвездий, приведенными в книге ас-Суфи. В то же время арабская номенклатура звезд проникала на Запад другим путем — в надписях на астрольбиях.

Астрольбия была изобретена греками. Она представляет собой двумерную модель неба, т.е. по существу аналоговую вычислительную машину

для решения задач сферической геометрии (см. статью: J. North. *The Astrolable*, "Scientific American", January, 1974). Типичная астрольбия состоит из дисков, покоящихся на медном основании, которое по-арабски называется «умм» («матка», «мать»). Резной диск сверху, называемый «санкабут» («паук») содержит два-три десятка остроконечных указателей, которые определяют положения некоторых выбранных звезд. На сплошном диске под «пауком» выгравирована координатная сетка звездного неба, соответствующая наблюдениям на определенной широте: круги равной высоты над горизонтом (аналогичные параллелям на глобусе) и круги равного азимута, пересекающие горизонт (аналогичные меридианам на глобусе). Путем вращения «паука» вокруг центральной оси, которая определяет направление на Се-





мира) можно воспроизвести суточное движение звезд. Для определения времени суток сначала необходимо определить высоту Солнца с помощью визира и градусной шкалы на задней поверхности астрольбии. Затем следует повернуть «паук» так, чтобы Солнце заняло на эклиптике положение, соответствующее истинной линии высоты. Часо-

вой угол в этом случае равен углу в центральной точке между меридианом и линией, которая проходит через наблюдаемый объект. Изображенная здесь астрольбия была сделана в Англии в XIII в. и принадлежит Мертонскому колледжу Оксфордского университета. Арабские названия звезд проникали на Запад главным образом на астрольбиях.

верный полюс мира, можно воспроизводить движения звезд на небесной сфере.

Хотя астрольбия была знакома античным ученым, самый ранний (из известных) инструмент, дошедших до наших дней, относится к исламскому периоду (см. обложку журнала). Эту астрольбию изготовил мусульманин по имени Настулус в 315 г. хиджры (927—928 гг. н.э.), и сейчас она является одним из редчайших экспонатов Кувейтского национального музея. Сохранившиеся арабские астрольбии X в. можно пересчитать по пальцам, в то время как астрольбий XI и XII вв. насчитывается около сорока. Некоторые из них были сделаны в Испании в середине XI в. и обнаруживают характерный мавританский стиль.

Самый ранний сохранившийся трактат об астрольбии на арабском языке был написан в Багдаде Али ибн

Исой, одним из придворных астрономов халифа аль-Мауна. Позже по этому вопросу писали также ученые багдадской школы, среди которых следует назвать аль-Хорезми и аль-Фаргани. Трактат аль-Фаргани выделялся тем, что автор сумел применить астрольбию для математического решения множества задач астрономии, астрологии и для исчисления времени.

Многие из этих сочинений проникли в Испанию, где в XII—XIII вв. они были переведены на латынь. Наиболее популярное из них, дошедшее до нас примерно в 200 рукописных копиях на латыни, долгое время ошибочно приписывалось Маша'аллаху, астроному VIII в. еврейского происхождения, который участвовал в принятии решения об основании Багдада. Этот труд, скорее всего, представлял собой более позднюю компиляцию

ряда источников. Около 1390 г. он послужил английскому поэту Джеффри Чосеру основой для сочинения на эту тему. Вероятно, именно через Англию астрольбия в конце XIII—XIV вв. попала из Испании в Западную Европу. Возможно, научная деятельность, которая в то время была сосредоточена в Оксфорде, могла способствовать усилению интереса к этому инструменту. Во всяком случае, в Мертонском и Ориельском колледжах Оксфордского университета до сих пор сохранились прекрасные астрольбии XIV в.

На них можно обнаружить типичный список арабских названий звезд, написанных по-латыни готическими буквами. На астрольбии, принадлежащей Мертонскому колледжу, например, читаются арабские названия, которые вошли в современный каталог звезд: Вега, Альтаир, Бетельгей-

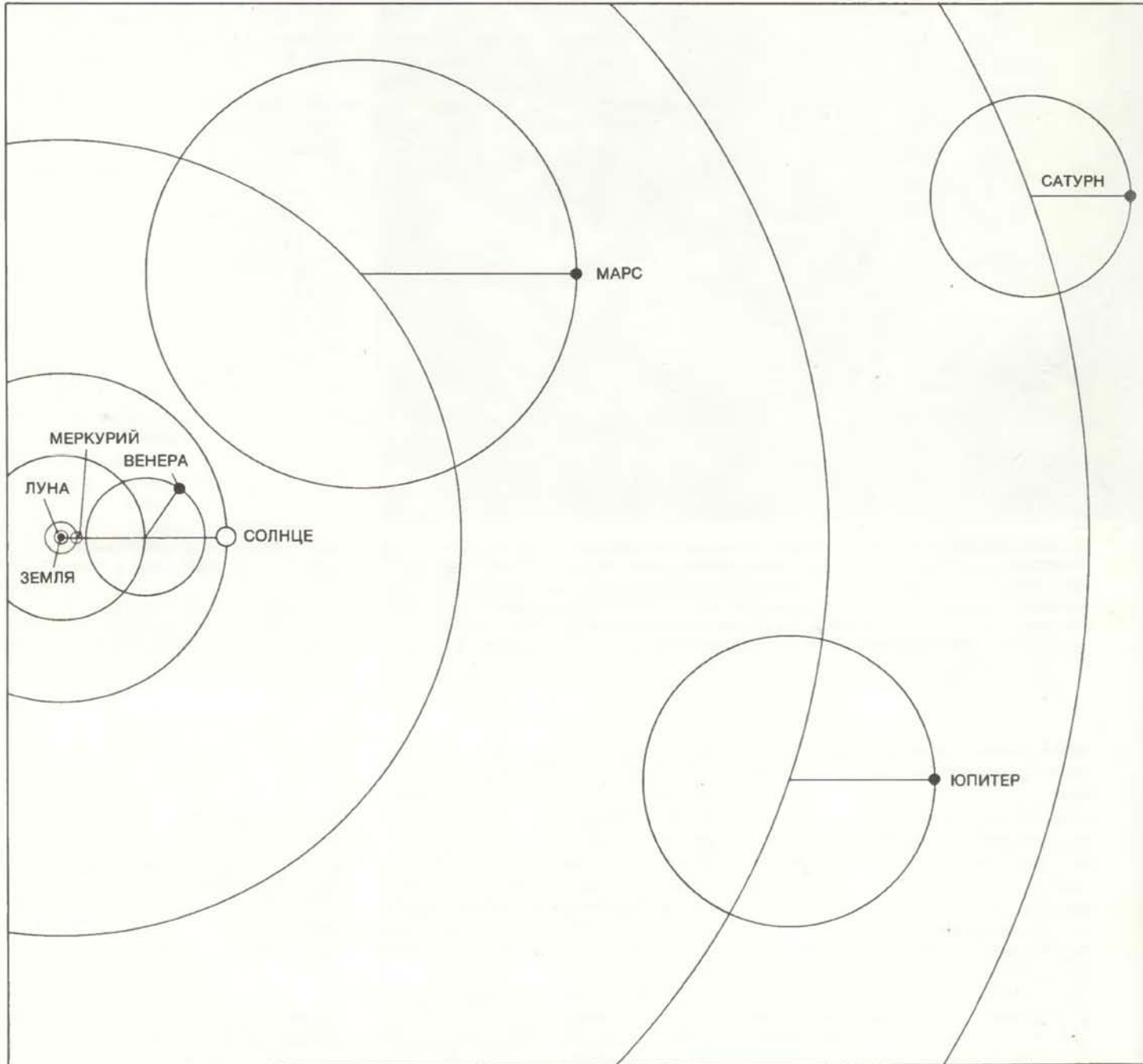


зе, Ригель, Эльфета, Альферас и Миррак (см. рис. на с. 21). Большинство звезд, используемых сейчас в навигационных целях, имеют арабские названия: это либо местные названия, либо переводы на арабский греческих названий, данных Птолемеем. В основном эти названия проникли в Англию из Испании, а в Испанию — с исламского Востока выгравированными на медных астролябиях.

### «Очищенная» система Птолемея

Основываясь на преобладании арабских названий звезд, можно сделать неправильный вывод, что исламские астрономы пристально изучали небосклон. Напротив, их наблюдения были весьма ограничены. Например, захватывающее зрелище рождения Сверхновой (звездного взрыва)

1054 г., которое дало начало Крабовидной туманности, практически не отражено в исламских текстах, хотя в Китае, например, на него обратили внимание повсеместно. Астрономы нашего времени, изумленные этим бросающимся в глаза противоречием, часто не могут представить, почему астрономам в странах ислама не удалось отразить документально наиболее яркие события. Они просто не



СИСТЕМА ПТОЛЕМЕЯ основывалась на допущении, что Солнце, Луна и пять известных в то время планет обращаются вокруг Земли. Предполагалось, что Луна и пять планет движутся по своим кругам, так называемым эпициклам, центры которых в свою очередь описывают большие круги — деференты. Эпициклы позволяли воспроизвести кажущиеся попятные движения планет (справа). Однако

даже вне участков попятного движения орбитальная скорость планеты меняется. Чтобы описать это неравномерное движение, Птолемей применил два дополнительных геометрических построения. Во-первых, он сделал деференты эксцентрическими, сместив их центры относительно центра Земли. Во-вторых, он предположил, что орбитальное движение планеты является равномерным отно-



особенно стремились к этому. Их астрология в отличие от китайской основывалась не столько на небесных предзнаменованиях, сколько на положениях планет, которые можно было предсказывать на основе учения Птолемея.

В модели, разработанной Птолемеем во II в. н.э., предполагается, что Солнце, Луна и планеты движутся вокруг Земли. Простые круговые орби-

ты, однако, не могли объяснить, почему планеты время от времени меняют направление своего движения по небосклону. (В соответствии с современной гелиоцентрической системой это движение наблюдается тогда, когда либо Земля проходит мимо планеты в своем движении вокруг Солнца, либо планета — мимо Земли.) Поэтому Птолемей предположил, что каждая планета движется по эпициклу — небольшому кругу, центр которого движется вокруг Земли по большому кругу, называемому деферентом. Эпицикл и другие геометрические схемы, изобретенные Птолемеем, позволили получить неплохое приближение модели к действительному движению планет. Великий теоретик, Птолемей, по-видимому, был весьма уверен в геометрических основах своей системы, так как в сочинениях он не упоминает, откуда он их заимствовал.

Однако сама идея использования законов математики для определения количественных характеристик физического мира была для древних греков довольно необычной, отличающейся от чисто математических концепций Евклида и Аполлония. Птолемей, несомненно, понимал, что уточнение численных параметров его модели желательно и неизбежно, поэтому он оставил подробные указания, как определять эти параметры по ограниченному числу наблюдений. Исламские астрономы прекрасно усвоили эти наставления. Свои наблюдения (по крайней мере те, которые отбирались для записей) они ограничили главным образом измерениями, позволившими повторно рассчитать ключевые параметры. Сюда входили ориентировка и эксцентриситет орбиты Солнца (эклиптики) и угол наклона плоскости эклиптики.

Одним из прославленных исламских астрономов, строго следовавшим указаниям Птолемея, но уточнившим параметры его системы, был Мухаммад аль-Баттани, живший в одно время с Сабитом ибн Коррой. Труд аль-Баттани «Зидж» («Астрономические таблицы») до сих пор вызывает восхищение как одно из наиболее важных астрономических сочинений в период между Птолемеем и Коперником. Аль-Баттани превзошел Птолемея в умении определять положение орбиты Солнца (что с современной точки зрения эквивалентно определению положения земной орбиты).

Аль-Баттани не оставил подробно описания своих наблюдений, поэтому до сих пор не ясно, отличалась ли стратегия его наблюдений от той, которой придерживался Птолемей. Во всяком случае, он получил надеж-

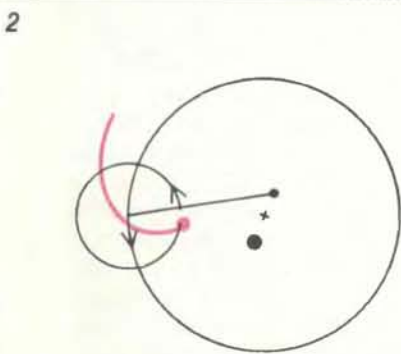
ные результаты, и рассчитанные им параметры орбиты Солнца оставались спустя столетия широко распространенными в Европе. Первой страной, куда попал его «Зидж», была Испания. Здесь в начале XII в. этот труд был переведен на латынь, а через столетие — на испанский язык. Сохранилась одна-единственная арабская копия этой рукописи (она находится в библиотеке Эскориала вблизи Мадрида). Из этого можно заключить, что в исламском мире астрономия аль-Баттани не ценилась так высоко, как в Европе, где благодаря книгопечатанию труд аль-Баттани сохранился и сделался доступным, в частности, Копернику и его современникам. В трактате «Об обращениях небесных сфер» польский астроном цитирует своего предшественника, жившего в IX в., не менее 23 раз.

В противоположность этому один из величайших исламских астрономов средневековья Али ибн Абд аль-Рахман ибн Юнис остался совершенно неизвестным европейским астрономам эпохи Возрождения. Ибн Юнис работал столетием позже аль-Баттани в Каире, где написал основное астрономическое руководство под названием «Хакимов зидж». В отличие от других арабских астрономов он предваряет свой «Зидж» описанием более 100 наблюдений, в основном касающихся затмений и соединений (наибольших сближений) планет. Хотя астрономическое руководство Ибн Юниса было широко распространено в исламском мире, а его хронологические таблицы продолжали использоваться в Каире еще в прошлом веке, на Западе его труды стали известны только менее 200 лет назад.

### Критика системы Птолемея

На протяжении всего исламского периода астрономы оставались в рамках птолемеевой схемы. Не следует слишком порицать их за это. До того как в 1610 г. Галилей провел с помощью телескопа наблюдения за фазами Венеры, не существовало никаких экспериментальных данных, которые могли быть обращены против системы Птолемея. Даже наблюдения Галилея не позволяли сделать однозначный выбор между гео-гелиоцентрической системой Тихо Браге (в которой предполагалось, что планеты обращаются вокруг Солнца, но само Солнце вращается вокруг Земли) и гелиоцентрической системой Коперника (см. статью: O. Gingerich. The Galileo Affair. "Scientific American", August 1982). Несмотря на то, что ис-

сительно экванта — точки, которая симметрична центру Земли относительно центра деферента. Некоторые средневековые мусульманские астрономы считали, что эквант и эксцентриситет деферента неприемлемы с философской точки зрения.









ламские астрономы следовали наставлениям Птолемея по проверке его результатов, они не ограничивались одним улучшением параметров его системы. Технические детали модели Птолемея не были неуязвимы для критики. Однако эта критика основывалась на философских концепциях, а не на данных наблюдений.

Система Птолемея представляла собой по существу математическую модель для предсказания положений планет. Однако в своем сочинении «Планетные гипотезы» он попытался приспособить ее к космологической системе — аристотелевой схеме плотно подогнанных одна к другой сфер, в общем центре которых находится Земля. Ближайшую точку орбиты Меркурия он поместил сразу за наиболее удаленной точкой орбиты Луны; непосредственно за наиболее удаленной точкой орбиты Меркурия находилась ближайшая точка орбиты Венеры и так далее по сферам Солнца, Марса, Юпитера и Сатурна.

Однако, чтобы воспроизвести наблюдаемые движения планет, Птолемей был вынужден в дополнение к эпициклу использовать две чисто геометрические схемы. Во-первых, Птолемей сместил центры деферентов с точки, где помещалась Земля. Во-вторых, он выдвинул остроумное предположение, что движение каждого небесного тела является равномерным не относительно Земли или центра деферента, а относительно точки, называемой эквантом, которая располагается напротив Земли за центром деферента на том же расстоянии, что и Земля. Эксцентрические деференты и экванты прекрасно выполняли свое предназначение, объясняя изменения скоростей движения планет, но они не соответствовали распространенным тогда философским воззрениям некоторых ученых.

Понятие экванта, в частности, вызвало возражение философов, для которых сферы планет были реальными физическими объектами (каждая из сфер приводилась в движение ближайшей внешней сферой, а последняя — «первичным двигателем») и которые хотели бы иметь возможность построить механическую мо-

дель всей системы. Например, писавший по-арабски еврейский ученый XII в. Маймонид, работавший в Испании и Каире, указывал, что для Сатурна эквант попадает прямо на сферу Меркурия. С точки зрения механики это было невозможно. Кроме того, эквант «подрывал» философскую концепцию, согласно которой небесные тела должны приводиться в движение системой идеальных сфер; причем каждая сфера вращается с постоянной угловой скоростью относительно своего центра. Для некоторых пуристов философски неприемлемыми были даже птолемеевы эксцентрические деференты, которые лишали Землю ее центрального положения в мире.

Исламские астрономы приняли птолемево-аристотелеву космологию, но со временем в ее адрес стали высказываться критические замечания. Одним из первых критиков был Ибн аль-Хайсам (его латинизированное имя Альхазен) — наиболее известный каирский физик XI в. В своем сочинении «Сомнительное у Птолемея» он выдвинул соображение, что введение экванта нарушает равномерность кругового движения, и даже решился заявить, что планетарная модель, изложенная в «Альмагесте», неправильна.

В средние века в латиноязычную Европу попало только одно из сочинений Ибн аль-Хайсама по астрономии — «О форме мира». В нем автор попытался отыскать физическую реальность, лежащую в основе математической модели Птолемея. Представлял строение неба в виде концентрических сфер и оболочек, он сделал попытку приписать каждому простейшему движению по «Альмагесту» единственное сферическое тело. Это сочинение было переведено при дворе Альфонса X на испанский язык, а в начале XIV в. с испанского на латынь. Этот перевод или перевод на латынь одного из популяризаторов Ибн аль-Хайсама оказал решающее влияние на развитие европейской науки эпохи Возрождения. Концепция отдельных небесных сфер для каждой компоненты движения в птолемеевой схеме получила широкое распространение благодаря книге венского профессора Георга Пурбаха «Новая теория планет», написанной около 1454 г.

Между тем в XII в. в мавританской Андалусии астроном и философ Ибн Рушд (Аверроэс) высказал более радикальное критическое отношение к системе Птолемея. «Предполагать существование эксцентрической сферы или эпициклической сферы, — писал он, — значит противоречить природе. . . Астрономия Птолемея нич-

тожна в отношении существующего, но она удобна, чтобы вычислять то, что не существует». Аверроэс отстаивал строго концентрическую модель Вселенной.

Его современник из Андалусии Абу Исхак аль-Битруджи попытался построить такую модель. Результаты оказались ужасающими. Сатурн, например, мог временами отходить от эклиптики на  $26^\circ$  (вместо действительных  $3^\circ$ ). Что касается наблюдаемых движений, которые заставили Птолемея ввести понятие экванта, то на них не было обращено ни малейшего внимания. По словам одного современного комментатора, аль-Битруджи «посеял хаос до крайности». Несмотря на это, в начале XIII в. его сочинение было переведено на латынь (имя автора было трансформировано в Альпетрагия), и приблизительно с 1230 г. его идеи широко обсуждались в Европе. Даже Коперник ссылался на установленный им порядок расположения планет, согласно которому Венера непосредственно следует за Солнцем.

### Марагинская школа

В XIII в. Насир ад-Дин ат-Туси выступил с новыми критическими замечаниями в адрес системы Птолемея. Один из самых плодовитых мусульманских математиков, оставивший после себя 150 научных трудов и трактатов, ат-Туси построил большую обсерваторию в г. Марага (ныне находится в иранском Азербайджане на северо-западе Ирана).

У ат-Туси особенно сильное возражение вызвало понятие экванта. В своем сочинении «Тазкира» («Памятка») он устранил это понятие, введя вместо него два дополнительных малых эпицикла для каждой планеты. С помощью этого остроумного нововведения, используя комбинацию равномерно вращающихся сфер, ат-Туси смог достичь желаемого результата: заставить планеты двигаться с переменной угловой скоростью. Центры деферентов, однако, продолжали оставаться смещенными относительно центра Земли. Эта особенность сохранилась и в альтернативной модели, разработанной двумя другими астрономами Марагинской обсерватории — Муайяд ад-Дином аль-Урди и Кутб ад-Дином аш-Ширази.

Полностью концентрическая схема движения планет была построена Ибн аш-Шатиром, который работал в Дамаске около 1350 г. Ибн аш-Шатир использовал схему, близкую той, что создал ат-Туси, и при этом сумел исключить не только эквант, но и другие птолемеевы круги, вызывав-

СИСТЕМА С ДВОЙНЫМИ ЭПИЦИКЛАМИ, предложенная в XIV в. Ибн аш-Шатиром, отличалась тем, что в ней не использовались птолемеевы экванты, а Солнце, Луна и планеты располагались на концентрических орбитах вокруг Земли. На этой схеме, заимствованной из рукописи, которая в настоящее время хранится в Бодлеянской библиотеке в Оксфорде, показаны различные положения Луны.



шие возражения. Тем самым он расчистил путь к созданию схемы идеально расположенных и допустимых законами механики небесных сфер. (Свою работу он описал так: «Я обнаружил, что большинство прославленных астрономов прошлого высказывали явные сомнения в отношении хорошо известной сферической астрономии, изложенной Птолемеем. Поэтому я испросил всемогущего Аллаха даровать мне вдохновение и помочь создать модель, которая бы удовлетворила всем требованиям, и Аллах, да будет благословенно имя его, позволил мне построить общую модель, описывающую движения планет по долготе и широте и все другие наблюдаемые особенности их движения, модель, которая не вызывала бы сомнений в отличие от предшествующих моделей».)

Однако схема Ибн аш-Шатира, равно как и достижения астрономов из Мараги, осталась в средневековой Европе практически неизвестной.

### Влияние на Коперника?

Забывтая модель Ибн аш-Шатира была обнаружена в конце 50-х годов Э. Кеннеди и его учениками из Американского университета в Бейруте. В связи с этим возникла любопытная проблема. Сразу стало ясно, что изобретения Ибн аш-Шатира и марагинских астрономов однотипны с механизмом, который несколькими веками позже использовал Коперник, задавшийся целью исключить эквант и воспроизвести сложные изменения в положении орбиты Земли. Разумеется, Коперник опирался на гелиоцентрическую схему, однако проблема учета медленных, но регулярных изменений орбитальных скоростей планет оставалась в неизменном виде. Коперник разделял философские возражения против понятия экванта (подобно некоторым своим исламским предшественникам он еще допускал, что небесные тела приводятся в движение твердыми сферами), поэтому он также искал, чем заменить эту геометрическую схему. В своем более раннем сочинении «Малый комментарий» Коперник использовал шарнирную связь, эквивалентную имеющейся в модели Ибн аш-Шатира. Позднее в знаменитом трактате «Об обращении небесных сфер» он возвратился к эксцентрическим орбитам, остановившись на модели, которая была гелиоцентрическим эквивалентом модели, разработанной в Мараге.

Могли ли марагинские астрономы или Ибн аш-Шатир оказать влияние на Коперника? Пока не найден ни

один латинский перевод ни одного из этих сочинений, да и вообще каких-либо сочинений, в которых описываются их модели. Можно допустить, что Коперник видел какую-нибудь арабскую рукопись во время обучения в Италии (с 1496 г. по 1503 г.) и перевел ее, но это предположение кажется маловероятным. Известно, что греческие переводы некоторых сочинений ат-Туси в XV в. попали в Рим (многие греческие рукописи были вывезены на Запад после падения Константинополя в 1453 г.), однако нет никаких свидетельств, что Коперник хотя бы в какой-то степени был знаком с ними.

В наше время мнения ученых разделились: одни считают, что свой метод исключения экванта Коперник неизвестным образом заимствовал из науки исламского периода, другие — что он открыл его самостоятельно. Я считаю вполне вероятным, что он мог придти к этому методу независимо.

Тем не менее общая идея критики

Птолемея и исключения экванта была частью той научной атмосферы, которую латиноязычный Запад унаследовал от исламского мира. Исламские астрономы, вероятно, крайне удивились бы и даже ужаснулись, если бы им довелось познакомиться с революционными преобразованиями Коперника. Однако мотивы, которыми руководствовался Коперник, не отличались радикально от мотивов его предшественников. Изыскивая возможность исключить эквант и даже размещая планеты на орбиты вокруг Солнца, Коперник отчасти пытался создать механически действительную схему, которая давала бы не только математическое представление, но и физическое объяснение движения планет. Можно считать, что Коперник просто разрабатывал достижения астрономии, основанной Птолемеем, но преобразованной в странах ислама в средние века. В наши дни эти знания стали достоянием всей мировой науки.

## Издательство МИР предлагает:

*И. Гардан, М. Люка*

### МАШИННАЯ ГРАФИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Перевод с французского

В настоящее время интерактивная машинная графика относится к одному из основных направлений развития систем автоматизированного конструирования и широко используется в промышленных организациях при проектировании и в инженерных вузах в процессе обучения. Книга Гардана и Люка посвящена комплексному изложению аппаратно-программных средств машинной графики. В ней приведены алгоритмы конструирования различных объектов и многочисленные примеры выполнения чертежно-конструкторской документации на ЭВМ. Значительное

внимание уделено определению разрешающей способности графических цветных дисплеев и особенностям работы на них конструкторов при конкретном проектировании пространственных изображений. Даются практические советы по выполнению различных операций, связанных с выделением части чертежа, удалением линий, показом глубины на плоских фигурах и т.п.

Для инженеров-конструкторов, овладевающих методами автоматизированного конструирования, и для студентов, изучающих машинную графику.

1986, 25 л. Цена 2 р. 10 к.





# Наука и общество

## Быстрая перемена

**СИРИУС** в созвездии Большого Пса — самая яркая звезда на ночном небе. Она кажется точкой холодного голубовато-белого цвета. Однако астрономические и астрологические тексты древних вавилонян, греков и римлян приписывают звезде, которая, может быть, является не чем иным, как известным нам Сириусом, красноватый цвет. Недавно были получены независимые свидетельства того, что вплоть до конца VI в. н.э. Сириус мог иметь красноватый оттенок.

Этот вывод сделан на основании изучения одного средневекового манускрипта В. Шлоссером и В. Бергманом из Рурского университета в Бохуме (ФРГ). Изученный ими текст представляет собой единственную дошедшую до наших дней копию астрономического календаря, составленного Григорием из Тура примерно в 580 г. н.э., и сохраненную в Ломбардском манускрипте VIII в. Григорий намеревался дать точные указания монастырям относительно расписания ночных богослужений. С этой целью он составил на каждый месяц таблицы, в которых указал время появления над горизонтом некоторых созвездий.

Для того чтобы сравнить описание Григория с действительными видимыми положениями звезд над центральной областью Франции, исследователи посетили планетарий, где можно увидеть рассчитанную на компьютере картину звездного неба в прошлом — 1000 и более лет назад. Вскоре стало ясно, что если верить Григорию, то звезда, называемая им Рубеола, или Робеола (буквально «красного цвета» или «цвета ржавчины»), не может быть современным оранжеватым Арктуром, как это считали раньше. Она должна быть Сириусом.

Если более тысячи лет назад Сириус казался красным, то что послужило причиной изменения его цвета в дальнейшем? В письме, опубликованном в журнале «Nature», Шлоссер и Бергман приводят доводы в пользу того, что причину этого следует искать в фундаментальных астрофизических превращениях. Сириус является двойной звездой: в эту систему входят яркая голубовато-белая звезда (Сириус А) и звезда-спутник — белый карлик, имеющий низкую светимость (Сириус Б). Считается, что белые карлики — остатки сколлапсировавших красных гигантов (таких, как

Арктур): старых звезд, размер и светимость которых возрастают, когда вместо водорода в их недрах начинают сгорать гелий и другие тяжелые элементы. Мог ли Сириус Б быть красным гигантом всего 1500 лет назад?

Шлоссер и Бергман предположили, что Сириус А не изменил своего блеска с тех времен, и на основании этого рассчитали, насколько «красным» и насколько ярким должен был быть Сириус Б, чтобы двойная звезда, наблюдаемая с Земли, имела различимый красноватый оттенок. Полученные возможные сочетания «цветности» и блеска позволяют отнести «древний» Сириус Б к красным гигантам, находящимся на определенной стадии эволюции.

Однако красные гиганты не становятся белыми карликами сразу. Переходный период занимает, как принято считать, гораздо больше 1500 лет. Более того, это превращение, как правило, сопровождается по крайней мере одним катастрофическим взрывом. Единственным свидетельством такого взрыва можно считать несколько более высокое, чем обычно, содержание металлов в Сириусе А, обнаруженное при наблюдениях. Однако даже при таком предположении остается необъясненной необычно высокая скорость этого процесса.

## Новое об асимметрии в природе

**К** НАСТОЯЩЕМУ времени известно несколько примеров фундаментальной асимметрии в природе, однако до сих пор это явление не получило удовлетворительного объяснения. Дж. Трэнтер из Оксфордского университета в статье, опубликованной в журнале «Nature», предложил механизм, позволяющий установить связь между примерами наиболее сильного проявления этой асимметрии: в области ядерной физики и в области биологии.

Трэнтер отмечает, что слабое (ядерное) взаимодействие, которое проявляется, например, при бета-распаде (превращение нейтрона в протон с испусканием электрона и антинейтрино), обладает асимметрией. При этом электрон, испущенный ядром, всегда имеет «левый» спин. Зеркальным отображением этого процесса было бы излучение электрона с

«правым» спином, которое никогда не наблюдается.

Трэнтер указывает также, что такие вещества, как аминокислоты и сахара, вращают плоскость поляризации линейно-поляризованного света, поскольку их молекулы асимметричны. В принципе для каждой такой молекулы могут существовать две асимметричные формы (зеркальные отображения), однако все аминокислоты живых организмов существуют лишь в той форме, которая вращает плоскость поляризации света в направлении против часовой стрелки; молекулы сахаров вращают ее по часовой стрелке. Возникает вопрос: почему одна из форм широко распространена, а другая практически не встречается в природе?

Неоднократно высказывалось предположение о том, что вследствие слабого взаимодействия одна из двух зеркальных форм молекулы энергетически более выгодна, чем другая. Слабое взаимодействие оказывает определенное влияние на внешние электроны атома (которые играют главную роль при взаимодействии между атомами) и, следовательно, в принципе может приводить к каким-то эффектам при образовании молекул. Однако вне атомного ядра энергия процессов, обусловленных слабыми взаимодействиями, исчезающе мала, поэтому трудно представить, как слабое взаимодействие может приводить к столь подавляющему преобладанию молекул с определенным типом асимметрии.

Трэнтер выдвинул гипотезу, объясняющую усиление влияния слабого взаимодействия: незначительная разница в энергии между двумя формами (зеркальными отображениями) молекулы может многократно увеличиваться в кристаллах или глинистых минералах, которые содержат огромное число одинаковых молекул. Он отмечает, что ранее уже было описано доступное наблюдению различие «левой» и «правой» форм кристаллов кварца.

По мнению Трэнтера, минералы с подобными свойствами могли в свою очередь послужить катализатором при образовании первых молекул жизни. Асимметричность катализаторов могла привести к образованию только одной из форм этих молекул. Трэнтер добавляет, что его гипотеза представляет собой аргумент в пользу теорий, подобных теории А. Кэйрнс-Смита из Университета г. Глазго, который предполагает, что с химической точки зрения слоистые глинистые минералы могли быть предшественниками таких молекул жизни, как РНК.



# Сейсмические изображения границ литосферных плит

*Посылая акустические сигналы, отражающиеся от слоев породы под морским дном, и регистрируя отраженные импульсы с помощью большого числа детекторов, можно получить «изображения» структуры земной коры в областях сближения и раздвижения литосферных плит*

ДЖОН С. МАТТЕР

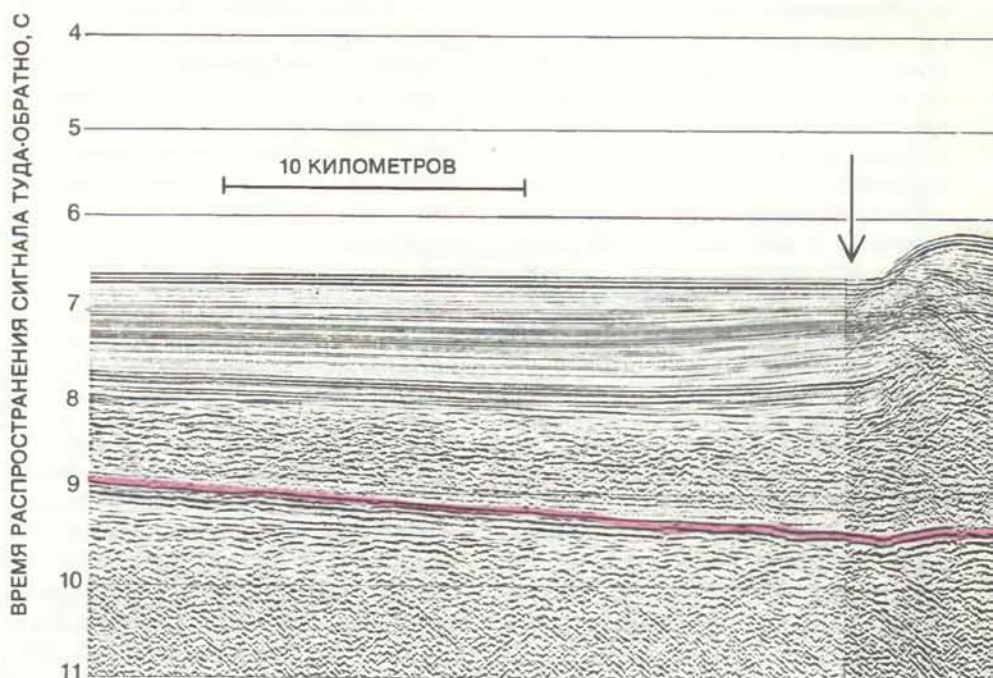
**О**ТКУДА геологи знают, что находится под дном океана? Успех теории тектоники плит в последние два десятилетия придал этому вопросу особую значимость. Перемещающиеся плиты, из которых состоит внешняя оболочка Земли, имеют разную площадь — от нескольких сотен до десятков миллионов квадратных километров, — но одну общую особенность: они внутренне жесткие. По этой причине плиты подвергаются деформациям главным образом на краях; именно здесь сосредоточены глобальные геологические процессы. Там, где плиты сталкиваются, возникают горы и вулканы; там, где плиты раздвигаются, раскрываются океаны и рождается новая океаническая кора; землетрясения происходят и в тех и в других областях, но, кроме того, еще и вдоль трансформных разломов, где плиты скользят относительно друг друга. Для того чтобы понять механику этих взаимодействий, следует изучать деформацию коры, происходящую на границах плит. Однако 70% земной поверхности занято океанами, так что большая часть этих границ находится на большой глубине под водой.

В отличие от «сухопутных» геологов и геофизиков их «морским» коллегам нелегко взглянуть на предмет своих исследований. Разумеется, существуют эффектные снимки морского дна, сделанные с обитаемых подводных аппаратов и с помощью камер, буксируемых за судном на многокилометровых тросах. Но визуальное исследование охватывает лишь незначительную часть морского дна, причем в ближайшем будущем эта ситуация, похоже, не изменится. Глубоководное бурение дало важные сведения о толщах пород, залегающих под дном океана, но опять-таки лишь для

отдельных точек. Кроме того, наиболее глубокие из существующих скважин проникают менее чем на два километра в осадочный чехол океанической коры и менее чем на один километр в базальтовый фундамент, который образован магмой, поднимаю-

щейся в срединно-океанических центрах спрединга.

И тем не менее можно смело утверждать, что строение океанической коры известно — по крайней мере в общих чертах — на большей части земной поверхности. (Так, например,



**ЗОНЫ СУБДУКЦИИ**, где две литосферные плиты сближаются и одна поддвигается под другую, хорошо просматриваются на изображениях, построенных на основе данных многоканального профилирования МОВ (методом отраженных волн). Большая часть океанической коры на погружающейся плите уносится в астеносферу. Во многих зонах субдукции, однако, верхние рыхлые слои осадков как бы сгребаются с погружающейся коры надвигающейся плитой и скапливаются, формируя так называемую аккреционную призму. Примером может служить хребт Кюрасао вблизи Венесуэлы (вверху). В этом месте Карибская плита поддвигается под Южно-Американскую плиту. На сейсмическом изображении граница между рыхлыми осадками Венесуэльской котловины и нижележащими уплотненными осадками проявляется как сильно отражающая поверхность (цветная линия). Она известна как  $A''$  и продолжается, почти не нарушаясь, на 50 км за подножие хребта Кюрасао (стрелка), указывая, что осадочные слои, лежащие ниже этой поверхности, погружаются в астеносферу. Напротив, слои рыхлых осадков выше отражающей поверхности срезаются словно бульдозером с нижней плиты и громоздятся кучей, образуя хребт.



мы знаем, что магматические породы образуют слой толщиной 5 — 7 км.) Эти сведения получают, анализируя «отклик» коры на облучение ее звуком. Звуковые волны, генерируемые взрывом на поверхности воды или пневмопушкой (эти операции выполняются с борта судна), могут проникать до нижней границы коры и даже глубже. В то же время некоторая часть волн отражается от границ, разделяющих слои породы, поскольку в породах, имеющих различный состав и плотность, акустические (сейсмические) импульсы распространяются с различной скоростью. Отраженные волны движутся обратно к поверхности воды, где их удается зарегистрировать с помощью гидрофонов, буксируемых за судном. Анализируя эти отраженные сигналы, можно построить профиль слоистой структуры, т. е. получить ее «сейсмическое изображение».

Профили, построенные по методу отраженных волн (МОВ), начали получать еще в 50-х годах. Но лишь с конца 70-х годов они стали значительно более информативными. Причина

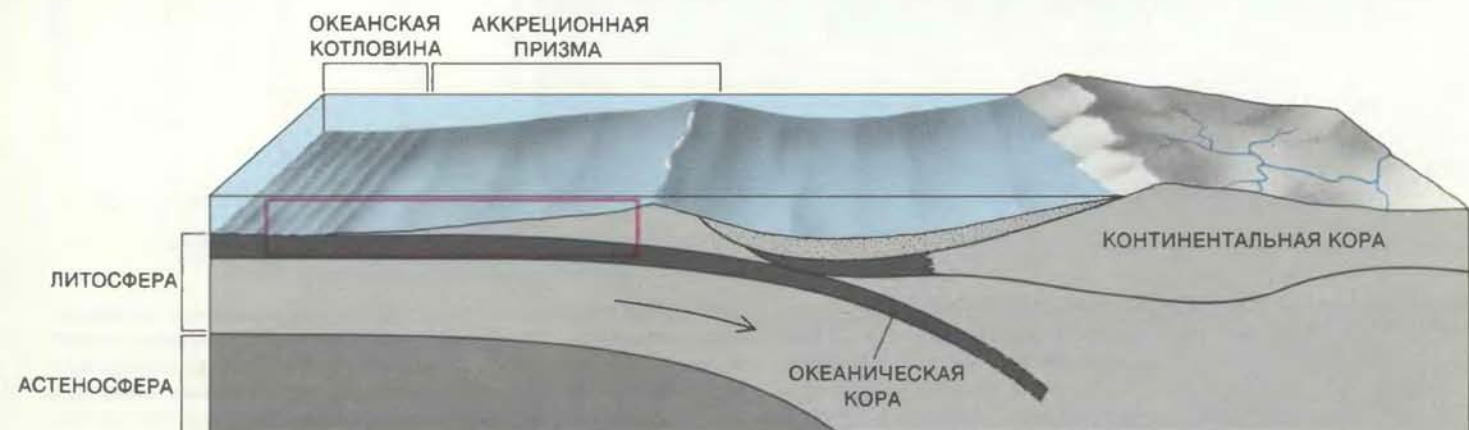
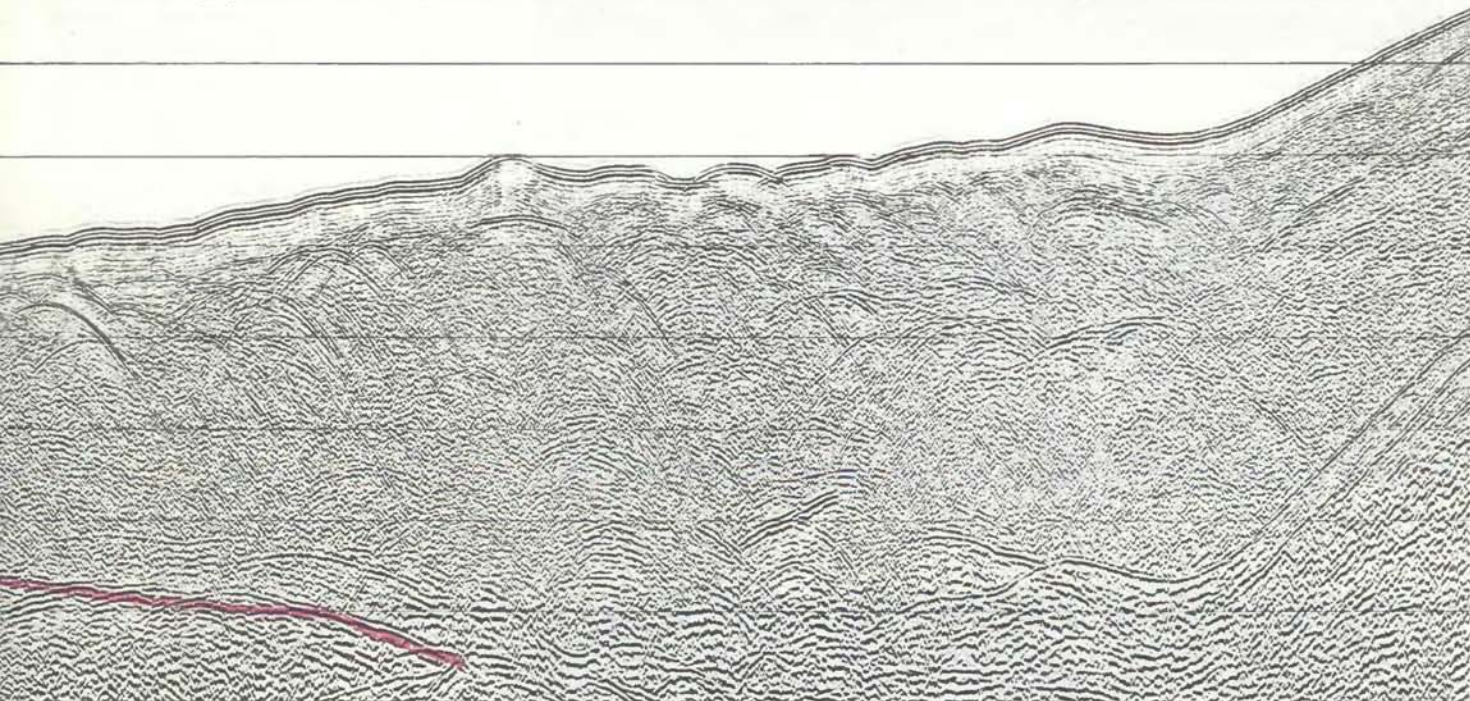
этого успеха довольно проста: если зарегистрировать ряд отраженных сигналов, приходящих из некоторого места на дне, то, объединив отдельные профили вместе, можно получить один более «четкий» разрез коры в этом месте. Чем больше число отраженных сигналов, тем более детальной будет результирующая картина. Современные специальные суда, включая и то, которое мы с коллегами используем в Геологической обсерватории Ламонт-Доэрти Колумбийского университета, располагают тысячами гидрофонов, что позволяет за короткое время зарегистрировать множество отраженных сигналов, приходящих из многих точек на морском дне.

Такой метод, называемый многоканальным профилированием МОВ, доказал свою эффективность для целого ряда приложений. Первоначально он предназначался для разведки на нефть: поскольку в нефти и газе скорость сейсмических волн гораздо меньше, чем в твердом веществе коры, нефтяные резервуары, залегающие под дном моря, обнаруживают

себя на профилях благодаря сильному отражению. Мои собственные научные интересы связаны с применением многоканального профилирования МОВ для изучения тектоники плит. Изображения структуры границ литосферных плит подтвердили некоторые фундаментальные предсказания теории и привели к более ясному пониманию процессов взаимодействия плит. Одновременно эти исследования поставили и ряд важных вопросов.

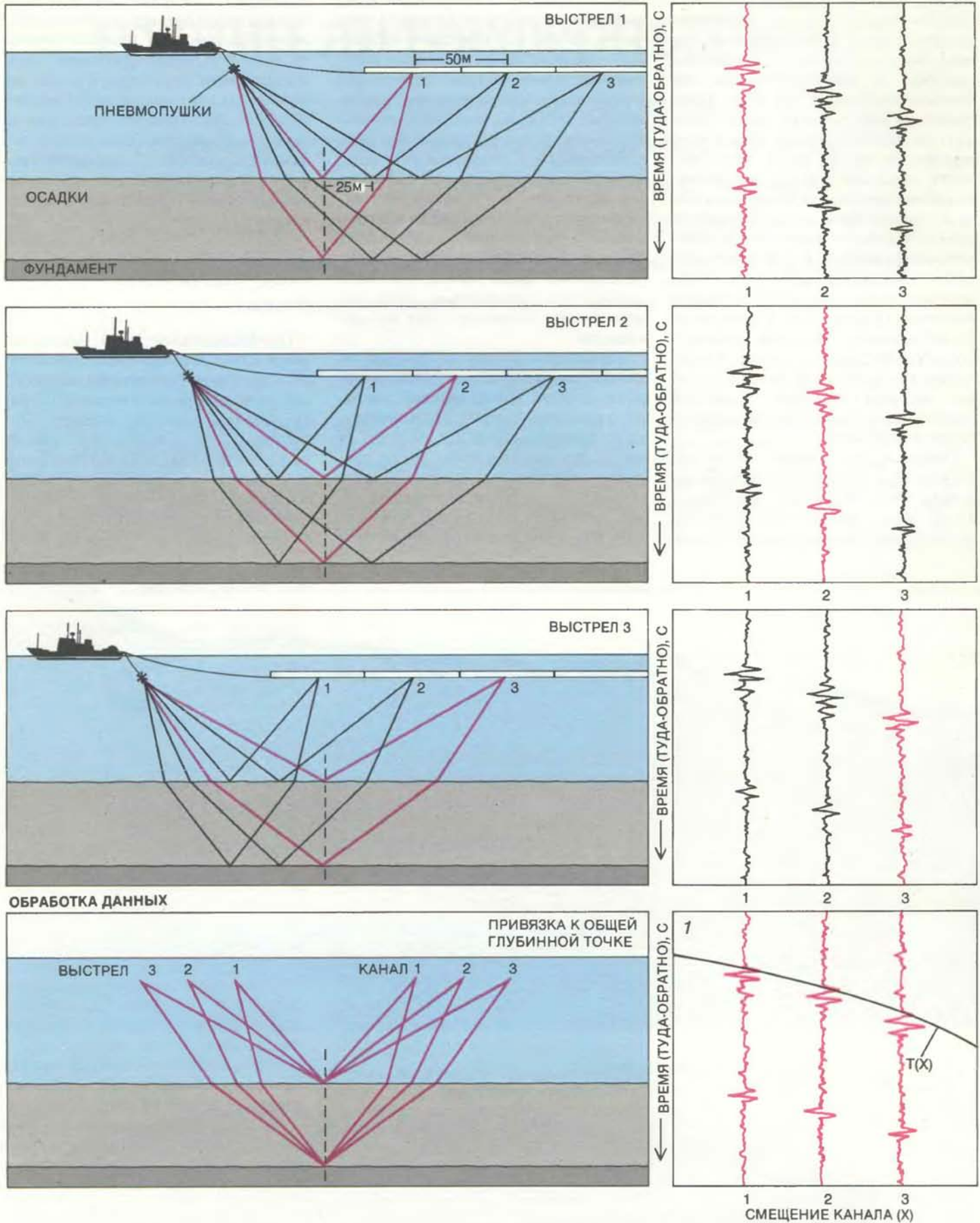
### Сбор сейсмических данных

Профилирование МОВ близко по своей идее к хорошо известной методике картирования рельефа морского дна, основанной на измерении глубины океана с помощью эхолота. Поскольку скорость звука в воде известна (примерно 1500 м/с), глубину океана в данной точке легко рассчитывать по времени прохождения звукового импульса от поверхности воды до дна и обратно. Хотя дно отражает боль-





## СБОР ДАННЫХ



**МНОГОКАНАЛЬНОЕ СЕЙСМОПРОФИЛИРОВАНИЕ** позволяет получить четкие изображения строения коры. Судно буксирует пневмопушки и длинную косу, несущую цепочку гидрофонов, которые сгруппированы в несколько каналов. После «выстрела» пневмопушек сжатым воздухом каждый канал регистрирует сигналы, отраженные от дна,

и сигналы, прошедшие через дно и отразившиеся от нижележащих слоев породы. Разные каналы регистрируют сигналы, отраженные от разных точек. Интервалы между выстрелами и скорость судна подбираются таким образом, чтобы точка, «обследованная» после первого выстрела первым каналом, при втором выстреле была «обследова-



шую часть падающей на него акустической энергии, значительная часть энергии (в виде волн низких частот) не отражается, а преломляется. Преломленная волна проникает в подстилающие слои. Именно это обстоятельство позволяет не только измерять глубину, но и получать профиль коры. Для зондирования океанической коры вплоть до ее нижней границы, т. е. границы Мохоровичича (которая под океанами обычно располагается на глубине 10 км и более от уровня моря), требуются мощные источники низкочастотных звуковых волн. Импульс должен быть коротким; в случае длительного протяженного импульса сигналы, отраженные от близко расположенных слоев породы, наложатся друг на друга и результирующий профиль окажется размытым.

В качестве генераторов звуковых волн чаще всего используются пневмопушки, посылающие сигналы на частотах от 6 до 60 Гц. Обычно используется не одна большая пушка, а «батарея» маленьких, поскольку пушки меньшего размера создают более резкие импульсы. Пневмопушки «стреляют» сжатым воздухом одновременно, с регулярными интервалами по времени (обычно каждые 20 с). Суммарная мощность пушек может быть очень велика. Промышленные суда, ведущие разведку на нефть, часто буксируют 30 и более пневмопушек, каждая из которых создает давление воздуха до 30 МПа. Звуковой импульс от такой «батареи» пушек иногда проникает в Землю на глубину 15 км.

Отраженные от коры сигналы регистрируются сейсмоприемной ко-

сой — длинной пластиковой трубкой, в которой в легкой жидкости находится цепочка гидрофонов. Жидкость придает трубке плавучесть; кроме того, она наряду с пластиком уменьшает контраст значений скорости звука, характерных для гидрофонов и морской воды, и таким образом уменьшает долю отраженных от коры сигналов, которые затем отражаются от гидрофонов и не регистрируются. Коса буксируется на определенном расстоянии за пневмопушками. Она снабжается балластом, благодаря которому при движении заглубляется примерно на 10 м, и таким образом акустические детекторы оказываются в определенной степени экранированными от шума волн.

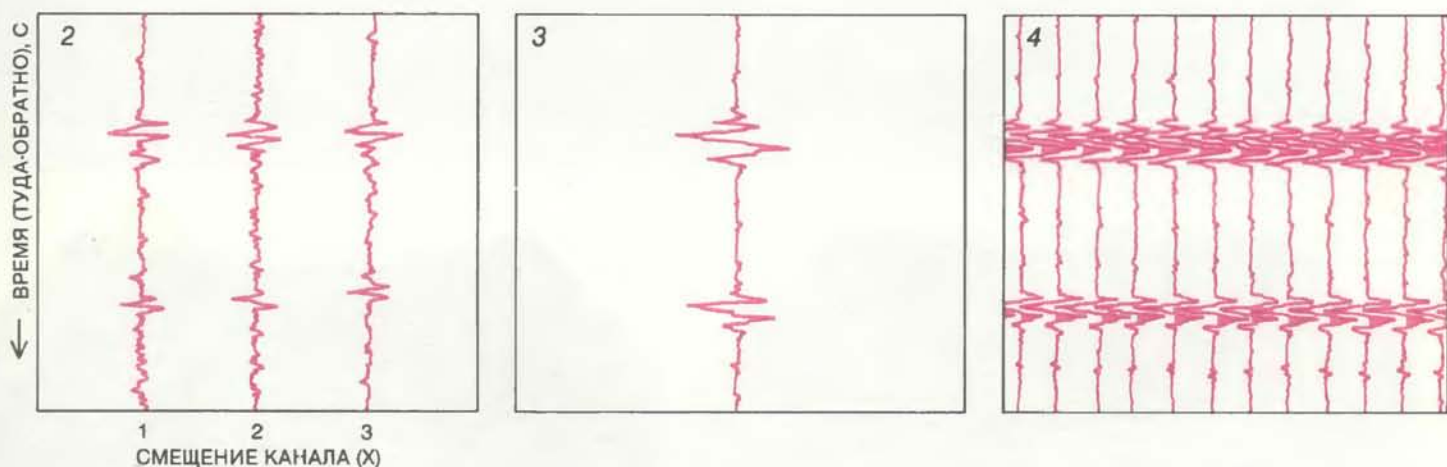
Размеры косы могут быть различными. Та, что принадлежит обсерватории Ламонт-Доэрти, имеет в длину 2,4 км и несет на себе 2400 гидрофонов, размещенных через 1 м. Гидрофоны электрически соединены в группы по 50 штук в каждой; иначе говоря, мы имеем 48 отдельных приемных каналов с расстоянием 50 м между ними. Акустический импульс, принимаемый каждым каналом, превращается в электрический сигнал, который усиливается, преобразуется в цифровую форму и записывается на магнитную ленту. Таким образом, после каждого выстрела регистрируется 48 отдельных отраженных импульсов. Эти импульсы проходят различный путь от источника до приемника, поскольку отражаются от разных точек на морском дне. Наибольшее расстояние проходит импульс, регистрируемый последним каналом.

Одна запись, или трасса, которую формирует один канал после одного

выстрела, уже представляет собой профиль коры в точке отражения. Пики на трассе позволяют определить время вступления импульса и степень отражения на границах между отдельными слоями породы. В то же время отдельно взятая трасса несет в себе достаточно информации лишь о самых верхних слоях коры. Сигналы, отраженные от глубоких слоев, при выходе на поверхность оказываются слишком слабыми, поскольку они частично отражаются от вышележащих слоев и ослабляются при прохождении через многокилометровую толщу породы. Кроме того, принимаемый сигнал маскируется акустическим шумом: его создают волны, судовые двигатели и вода, обтекающая гидрофоны. На отдельной трассе сигнал зачастую буквально «тонет» в шуме.

К счастью, шум в отличие от сигнала носит случайный характер. Если наложить друг на друга много профилей для данной точки, то небольшие пики шума, находящиеся не в фазе друг с другом, взаимно уничтожатся. Напротив, полезные сигналы можно сочетать так, чтобы они оказались в фазе. Эта возможность реализована в многоканальном профилировании МОВ: на результирующем изображении полезный сигнал усилен, а шум подавлен и отдельные отражающие слои в коре видны более отчетливо.

С помощью многоканальной сейсмоприемной косы нетрудно получить много трасс для одной точки дна: интервал между выстрелами пневмопушек и скоростью движения судна выбирается таким образом, чтобы сигналы, отраженные от одной точки, по очереди регистрировались всеми каналами. Поскольку угол отражения



на» вторым каналом и т. д. На первом шаге обработки выбираются все регистрации сигналов (трассы), относящиеся к «общей глубинной точке» (1). Затем компьютер выявляет пики, соответствующие сигналам, отраженным от одной и той же границы; их времена вступления на разных каналах связаны друг с другом формулой, в которую вхо-

дят значения скорости звука в слоях породы. Трассы сдвигаются так, чтобы соответствующие пики имели одно время вступления (2). При сложении этих трасс полезные сигналы усиливаются, а случайный шум взаимно погашается (3). Для получения разреза коры тысячи профилей рисуют вплотную друг к другу, а пики затемняют (4).



звуковой волны равен углу ее падения на отражающую поверхность, расстояния между точками отражения должны быть равны в идеальном случае половине интервала между каналами. Если за время между выстрелами судно перемещается относительно дна как раз на такое расстояние, точка отражения, которую «обследовал» первый канал, при следующем выстреле будет «обследована» вторым каналом и т. д.

### Обработка сигналов

По возвращении судна из рейса собранные данные обрабатываются компьютером. На первом шаге из записей извлекаются трассы, отвечающие какой-то одной точке дна. Эта группа трасс называется группой общей глубинной точки (ОГТ).

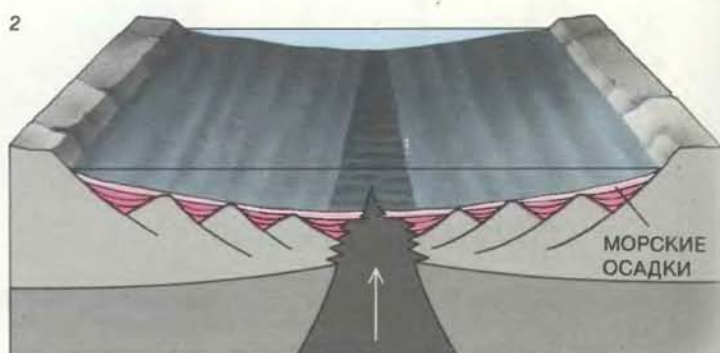
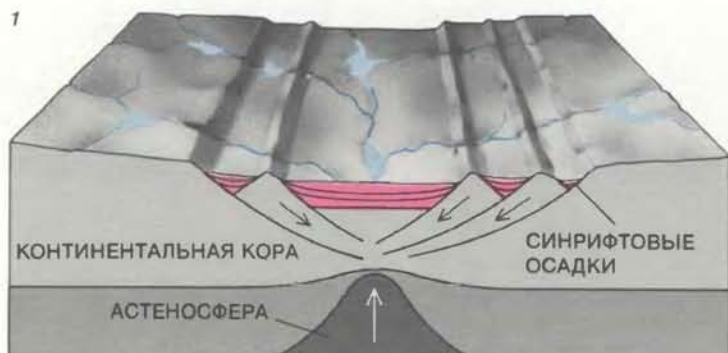
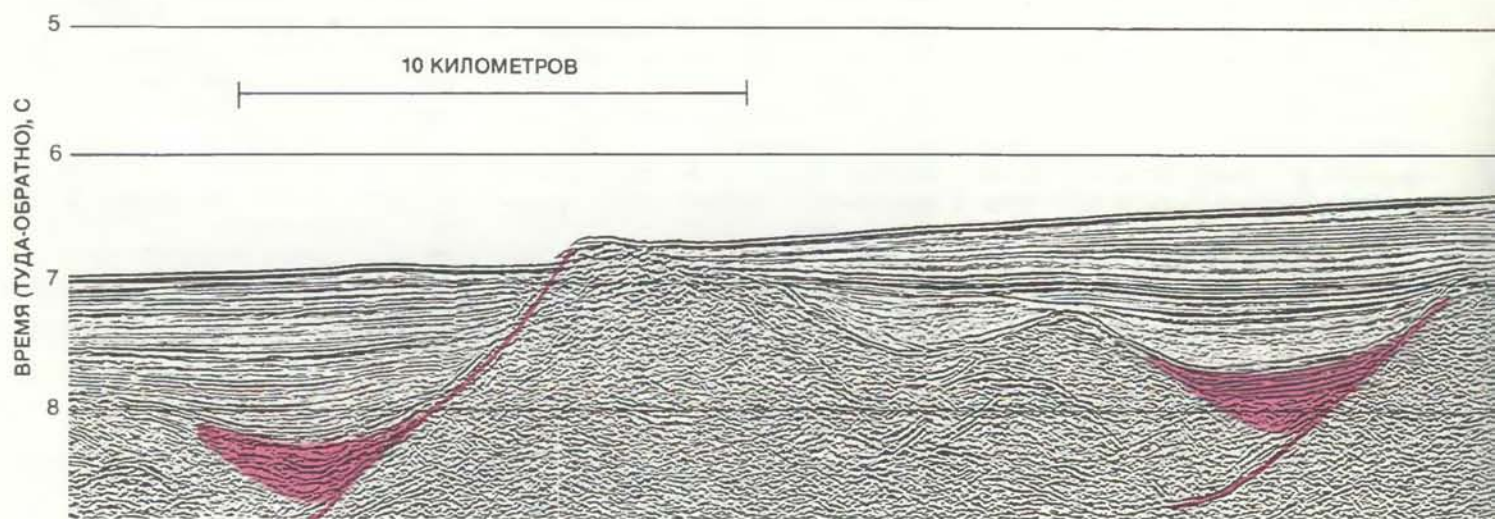
Полученные трассы нельзя сразу же суммировать. Сигналам, отраженным от одного слоя, требуется различное время, чтобы достичь разных каналов сейсмоприемной косьы: например, сигнал, регистрируемый последним каналом, проходит гораздо

большой путь, чем тот, который попадает в канал, ближайший к пневмопушкам. В результате пики на различных трассах первоначально оказываются смещенными относительно друг друга. Для того чтобы они совместились, необходимо время вступления каждого сигнала привести к стандартному опорному времени — времени вступления, которое имел бы импульс, распространяющийся вертикально вниз от судна к отражающему слою, а затем вертикально вверх к гидрофонам. Это опорное время называется вертикальным временем.

Описанная математическая процедура сдвига трасс оказывается возможной благодаря тому, что существует закономерная связь между временами вступления для соответствующих сигналов, принимаемых различными каналами. Время вступления является функцией расстояния канала от пневмопушек (смещения) и скоростей звука во всех слоях, включая воду, лежащих выше отражающей поверхности. Для упрощения вычислений все скорости заменяются одной величиной, называемой среднеквадратичной скоростью. Эта величина равна корню квадратному из

суммы квадратов значений скорости, причем каждой скорости придается вес, равный времени распространения сигнала в соответствующем слое.

Перед проведением анализа группы общей глубинной точки неизвестны ни время вступления для каждого сигнала (пики), ни соответствующие среднеквадратичные скорости. На отдельных трассах пики, отвечающие отраженным сигналам, как правило, трудно выделить из шума. Компьютер находит пики и вычисляет значения среднеквадратичной скорости методом проб и ошибок. Компьютер «продвигается» по оси времени вступления, останавливаясь через равные интервалы, для того чтобы исследовать все трассы, пробегая по оси смещения (оси  $x$ ). На каждой остановке на временной оси компьютер ищет набор «когерентных» пиков, т. е. пиков, для которых время вступления определяется в описанной выше формуле одним и тем же значением среднеквадратичной скорости. Пики, которым соответствует одно и то же значение среднеквадратичной скорости, должны создаваться сигналами, которые прошли через одни и те же слои породы и отразились от одной и





той же границы раздела под морским дном.

Компьютер повторяет эту процедуру, пока не достигнет нижней точки трассы. После этого значения среднеквадратичной скорости используются для того, чтобы привести все времена вступления к вертикальному времени. Наконец, «сдвинутые» трассы накладываются друг на друга. Пики, соответствующие отраженным сигналам, оказываются совмещенными и усиливаются, а случайный шум погашается. В результате получают улучшенный профиль коры в одной точке. Снимки, сопровождающие эту статью, составлены из тысяч таких профилей, размещенных вплотную к друг другу так, что темные пики образуют линии и в ряде случаев «рисуют» непрерывные отражающие границы.

Положение границы определяется обычно не в координатах глубины, а в координатах времени распространения сигнала вниз-вверх. Для определения глубины залегания отражающей поверхности нужно знать значения скорости звука в отдельных слоях породы, лежащих выше отражающей границы. Их можно оценить по значе-

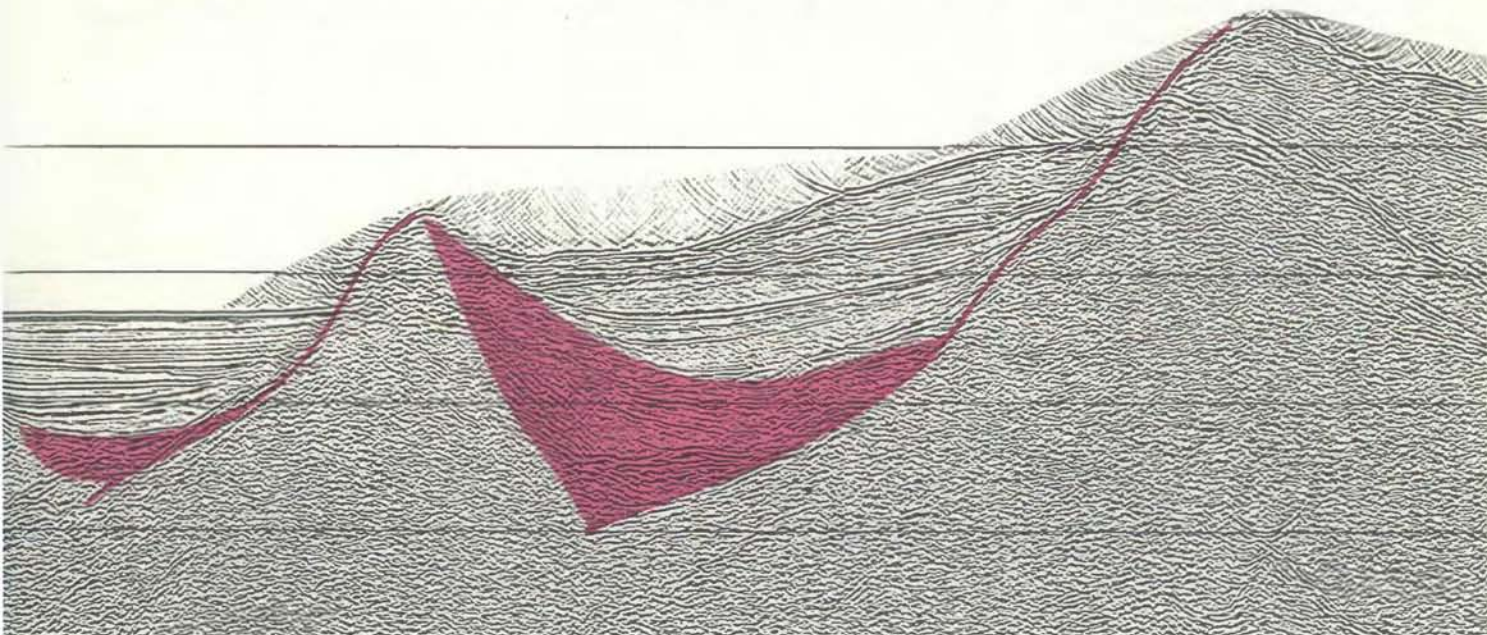
ниям среднеквадратичной скорости. Во время поиска отражающей границы компьютер находит значения среднеквадратичной скорости для всех слоев, лежащих выше отражающей границы. Поскольку скорость звука в воде, т. е. в первом слое, известна, значения скоростей звука в более глубоких слоях могут последовательно определяться по значениям среднеквадратичной скорости. Этот анализ дает больше, чем глубину залегания отражающего слоя: само значение скорости звука в слое породы служит ключом для понимания состава этой породы.

### Методы улучшения измерений

Для дальнейшего улучшения сейсмического изображения и подавления шума применяются дополнительные способы. Здесь я хотел бы остановиться лишь на одном из них. Ясно, что качество профиля для общей глубинной точки возрастает с увеличением входящих в него трасс и, следовательно, с возрастанием числа каналов. Это особенно справедливо для

профилей наиболее глубоких слоев, от которых приходят слабые отраженные сигналы. С помощью нашей 48-канальной косы нам удается обнаруживать поверхность Мохоровичича (нижнюю границу коры); это относительно мощный отражатель, поскольку физические различия между корой и верхней мантией велики. В глубине коры отражающих границ мало. Ниже слоя осадков располагается фундамент, представленный магматическими породами, физические свойства которых почти одинаковы или меняются с глубиной гладко. Сорока восьми каналов недостаточно для того, чтобы разрешить внутреннее строение фундамента, и даже для того, чтобы непрерывно отслеживать границу Мохоровичича в местах ее наибольшего заглубления.

Один из способов увеличить число каналов — сделать косу более длинной. Работа с длинной косой, однако, связана с техническими трудностями, которые ограничивают сбор данных. П. Бул и его коллеги по обсерватории Ламонт-Доэрти нашли способ обойти эту трудность, использовав вместо длинной косы два судна, вооруженные пневмопушками и обычными ко-



КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ РИФТ возникает при растяжении и утонении литосферы. Когда верхние слои коры растягиваются, отдельные блоки начинают скользить вниз, создавая ряд хребтов и впадин (1). Когда в процессе рифтинга кора погружается, впадины заполняются синрифтовыми осадками, эродируемыми с блоков и с континентов и отложенными в озерах. Если растяжение продолжается, плита раскалывается на две отдельные плиты (2) и возникает новая океанская котловина (3). Синрифтовые осадки перекрываются морскими осадками. На сейсмических изображениях континентальной окраины в Бискайском заливе видны разломы, образованные при растяжении коры (темная окраска). Мощность синрифтовых слоев осадков (более светлая окраска) во впадинах уменьшается в направлении к вершинам блоков, указывая, что осадки были отложены в то время, когда блоки еще скользили.



сами. Суда следуют друг за другом и поочередно стреляют из пневмопушек. Каждое судно регистрирует отражения как своих сигналов, так и чужих. Если каждое судно буксирует 2,4-километровую косу (с 48 каналами) и если второе судно держится в 2,4 км от конца первой косы, то две косы можно рассматривать как одну длиной 7,2 км со 144 каналами. Эта методика называется профилированием ОГТ с широкой базой.

Независимо от того, используется ли одно судно или два, измерения могут продолжаться до тех пор, пока погодные условия не заставят выбрать косы на борт. В течение нескольких дней при скорости 5 узлов суда могут собрать такой объем данных, который позволяет получить изображение внутреннего строения коры на отрезке протяженностью сотни километров. Поэтому многоканальное сейсмическое профилирование является прекрасным средством для поиска крупномасштабных эффектов плито-тектонической активности.

### Зоны субдукции

Плиты, из которых состоит жесткая литосфера, перемещаются по верхнему слою мантии, называемому астеносферой, вещество в котором находится в частично расплавленном состоянии. Кора представляет собой лишь внешнюю оболочку литосферы; сами плиты имеют толщину от 75 до 150 км и включают в себя значительную часть вещества верхней мантии.

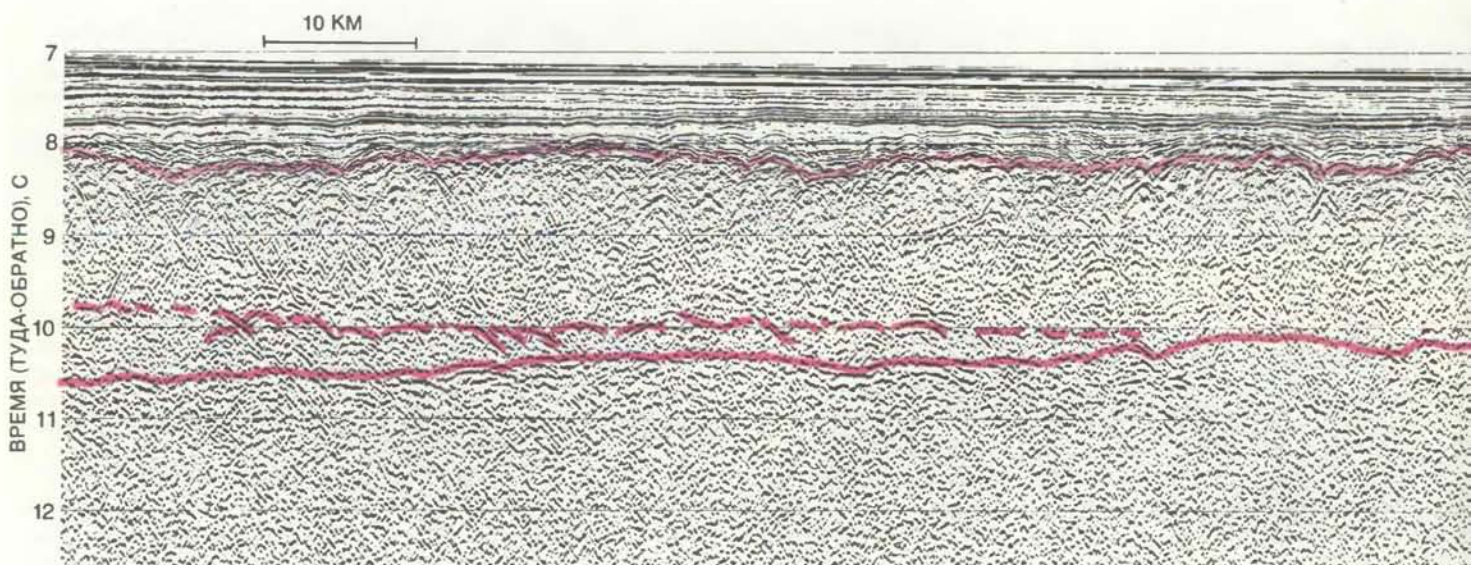
Там, где две плиты сближаются, одна поддвигается под другую и погружается в астеносферу. Что происходит при этом с корой? Как правило, большая часть коры загибается в астеносферу вместе с погружающейся плитой. Однако верхние осадочные слои частично как бы соскабливаются с погружающейся плиты надвигающейся плитой. В частности, рыхлый, насыщенный водой материал на океанском дне сгребается с подстилающей твердой породы почти так же, как снег с твердой дороги сгребается снегоочистителем. Осадки скапливаются перед надвигающейся плитой, образуя так называемую аккреционную призму.

Этот процесс прекрасно иллюстрируют профили МОВ Карибского бассейна, полученные Дж. Ладдом из обсерватории Ламонт-Доэрти (см. рисунок на с. 28-29). На континентальной окраине близ Венесуэлы Карибская плита поддвигается под Южно-Американскую. Кора, поступающая в зону субдукции, состоит из недеформированных слоев осадков (самые глубокие из них имеют возраст около 85 млн. лет), отложенных на фундаменте из изверженных пород. На профилях заметен хорошо отражающий горизонт А", располагающийся на глубине около 7 км ниже уровня моря в слое возрастом 37 млн. лет. Керны, полученные при бурении, показывают, что слои осадков ниже горизонта А" образованы сильно литифицированным пясчистым мелом и известняком. В то же время выше указанного отражающего горизонта рас-

полагается слабо уплотненная толща глин и турбидитов (осадков, образовавшихся из материала, эродированного с суши и с континентального шельфа).

Граница зоны субдукции маркируется имеющим небольшой наклон хребтом Кюрасао. Горизонт А" продолжается под хребтом в направлении к суше по крайней мере на 50 км. Он, вероятно, несколько искривлен, но в целом его удается легко опознать. Осадки, залегающие ниже отражающего горизонта, по-видимому, поступают в нетронутым виде в зону субдукции, чтобы затем разрушиться в мантии вместе с фундаментом и остальной частью погружающейся литосферы. В противоположность этому осадки, залегающие выше горизонта А", обнаруживают резкие изменения под хребтом: если до хребта слои кажутся недеформированными, то за хребтом они образуют бесформенную массу. В хребте Кюрасао почти никак не проявляется внутренняя упорядоченная структура. Он представляется скоплением осадочного материала, сметенного Южно-Американской плитой.

Другие аккреционные призмь формируются в результате более регулярных процессов. Примером может служить прогиб Нанкай, являющийся частью Японского желоба, где движущаяся на запад Тихоокеанская плита поддвигается под Евразийскую плиту. (Все глубоководные желоба Тихого океана представляют собой зоны субдукции.) Большая часть осадков в прогибе Нанкай, похоже,



ОКЕАНИЧЕСКИЕ ЗОНЫ РАЗЛОМОВ проявляются на сейсмических изображениях, как участки с утоненной корой. Там, где зона разломов пересекает срединно-океанический хребет, две раздвигающиеся плиты скользят относительно

друг друга вдоль трансформных разломов. Хотя такой разлом может быть коротким, участок дна с аномально тонкой корой может простираться на тысячи километров вдоль линии разлома. Рисунок изображает зону разломов



переносится на некоторое расстояние в зону субдукции. Вода выдавливается из осадков, и они сжимаются и уплотняются. В конечном счете клин уплотненных осадков откалывается вдоль слабо наклонного разлома. Он, таким образом, оказывается отделенным от неуплотненных осадков, лежащих под ним на опускающейся плите. Этот более молодой осадочный материал поддвигается вдоль плоскости разлома под уплотненным клином и также сжимается, пока не откалывается второй клин. В такой последовательности, клин за клином, осадочный материал внедряется в нижнюю часть аккреционной призмы — причем более молодые осадки оказываются под более древними, — в результате чего призма постепенно растет и наклоняется. На профилях МОВ в прогибе Нанкай надвиги между клиньями образуют сильно отражающие границы.

Как в прогибе Нанкай, так и в Карибском море часть осадочного материала, находящегося на погружающейся плите, субдуцируется вместе с ней. В других зонах субдукции весь осадочный материал, похоже, аккрецируется на надвигающейся плите. В некоторых зонах субдукции никакая часть осадочного материала не избегает субдукции; имеются данные, что в ряде случаев погружающаяся плита может эродировать материал фронтальной границы вышележащей плиты. Многоканальное профилирование МОВ показало, что не существует двух совершенно одинаковых зон субдукции. В связи с этим возникает

естественный вопрос: чем объясняются эти различия? Судьба коры может зависеть от скорости сближения двух плит, но один этот фактор не в состоянии объяснить все разнообразие строения коры. Поставленный вопрос до сих пор не нашел исчерпывающего удовлетворительного ответа.

### Рифты

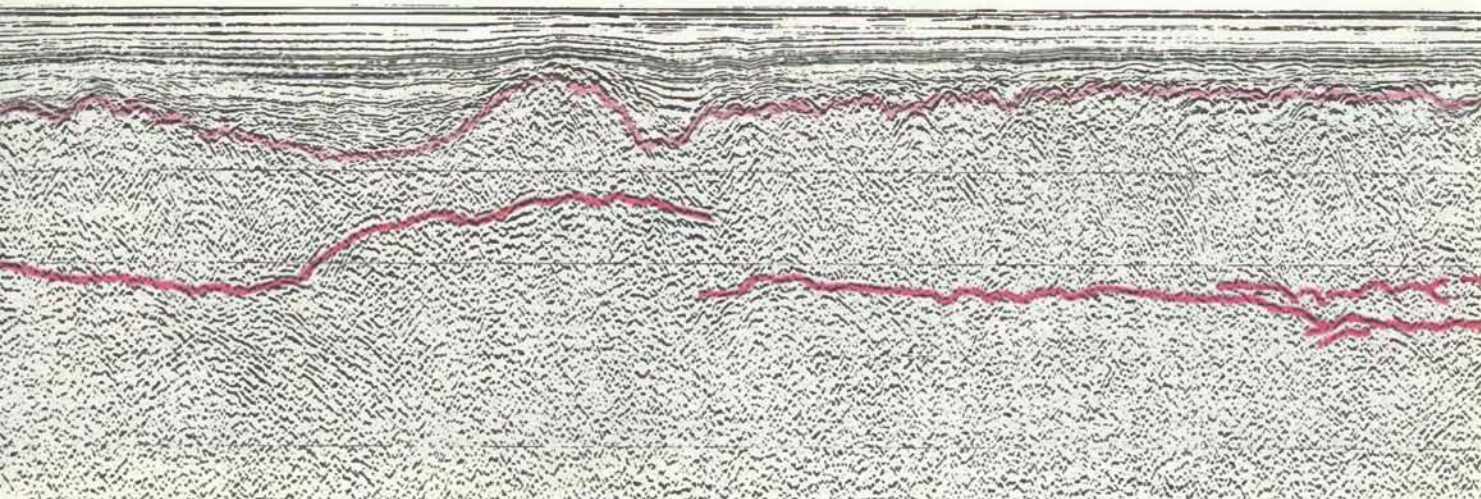
Еще более загадочной является другая проблема: с чего начинается сближение плит? Данных, на которые можно было бы опереться, немного: во всех случаях структуры, возникшие в том месте и в тот период, когда плиты начали сближаться, в основном оказываются погруженными в мантию. В противоположность этому образование границ раздвижения плит документировано довольно неплохо. Для того чтобы понять, например, процесс разъединения Северной Америки и Европы, т. е. процесс рифтинга, достаточно взглянуть на окраины двух континентов, где сохранились свидетельства этого процесса.

В рифтинге участвует вся литосфера целиком, а не только кора. Принято считать, что плита не раскалывается мгновенно, а сначала в течение миллионов лет испытывает растяжение и утоняется. Свидетельства растяжения часто имеют косвенный характер: их дает, например, изучение осадочных бассейнов, таких, как Северное море. Согласно теоретическим расчетам Д. Мак-Кензи из Кембриджского университета, осадочные бассейны могут образоваться тогда, когда вещество на нижней границе

утоняющейся плиты замещается разогретым веществом астеносферы. По мере остывания горячее вещество сжимается, что приводит к проседанию литосферы. С этой точки зрения многие осадочные бассейны — это либо рифты, которым не удалось открыться, либо рифты, находящиеся на стадии открытия.

Если до начала рифтинга литосфера действительно медленно растягивается, то в структуре коры на континентальных окраинах должны быть зафиксированы прямые свидетельства этого процесса. Л. Монтадер из Французского нефтяного института, Д. Робертс из лондонского отделения "British Petroleum" и их коллеги обнаружили такие свидетельства на профилях МОВ континентальных окраин во Франции, Испании и Португалии (см. рисунок на с. 32 и 33). Формации, составляющие фундамент коры, разбиты там на ряд зубчатых блоков. Со стороны, обращенной к берегу, эти блоки ограничены плоскостями разломов, которые вблизи поверхности наклонены круто, но затем искривляются и на глубине становятся почти горизонтальными; это в точности тот тип разломов, который, как полагают, должен быть характерен для хрупкого материала, подвергающегося очень сильным напряжениям растяжения. Когда Европа и Северная Америка отодвигались друг от друга, считают Монтадер и Робертс, отдельные блоки скользили вниз по искривленным плоскостям и образовали серию зубчатых хребтов и впадин.

### ЗОНА РАЗЛОМОВ «ШПОРА БЛЕЙК»



«Шпора Блейк» в 1000 км к востоку от Флориды. Светлая цветная линия обозначает границу между осадочным слоем и фундаментом коры, который образовался на Срединно-Атлантическом хребте 130 млн. лет назад. Вблизи зоны

разломов кора утоняется. Поверхность Мохоровичича (темная цветная линия), отмечающая нижнюю границу коры, поднимается, а отражающая поверхность, называемая горизонтом R (прерывистая цветная линия), исчезает.



Осадки, отложенные во впадинах, подтверждают, что до начала рифтинга литосфера испытывала медленное растяжение. Мощность осадочных слоев уменьшается в направлении к вершинам блоков, указывая тем самым, что они откладывались, когда блоки еще находились в движении. Керны, полученные при бурении, показывают, что эти «синрифтовые» (т. е. откладываемые одновременно с рифтингом) осадки включают в себя обломки, эродированные с пород фундамента блоков. Более важно, что отобранные образцы позволяют определить возраст осадков: последние отлагались в течение 10 млн. лет, прямо перед тем, как была сформирована самая древняя кора в Атлантическом океане. (Образование океанической коры в новом океаническом центре спрединга указывает на то, что рифтинг закончился и плиты начали раздвигаться.) Но тогда, судя по синрифтовым осадкам, отделению Северной Америки от Европы, которое между Францией и Испанией началось около 110 млн. лет назад, предшествовали 10 млн. лет растяжения литосферы. После того как рифтинг завершился и континентальные окраины опустились ниже уровня моря, синрифтовые осадки были перекрыты ровными слоями других осадков, которые были обусловлены постоянным «дождем» из остатков пелагических растительных и животных организмов.

Связь между растяжением литосферы и раздвижением плит не всегда носит столь явный характер. Так, например, вблизи Норвегии кора континентальных окраин несет на себе явные следы растяжения, но это растяжение имело место почти за 80 млн. лет до того, как начался спрединг океанского дна. Расчлененный на блоки фундамент и синрифтовые осадки имеют возраст около 135 млн. лет, в то время как самая древняя океаническая кора в Норвежско-Гренландском море образовалась лишь 59 млн. лет назад. В указанный промежуток времени ровные слои осадков аккумуляровались на толще синрифтовых осадков. Эти слои были слабо деформированы завершающимся рифтингом, для которого уже не требовалось дальнейшего растяжения литосферы. Очевидно, литосфера, растянувшаяся до предельной точки разрыва, оставалась в таком состоянии в течение 80 млн. лет и в какой-то момент резко разорвалась.

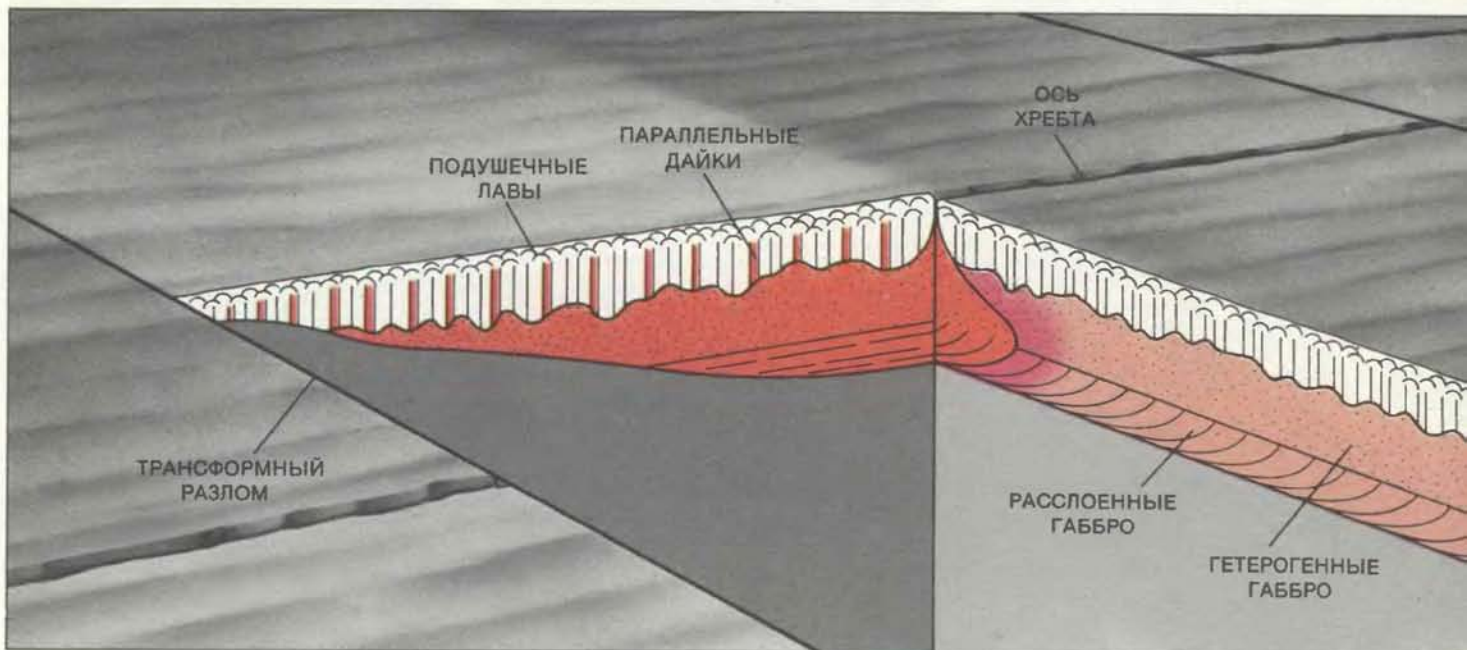
### *Спрединг океанского дна*

Как только плита раскололась, начинают раздвигаться две новые плиты. Расплавленная порода поднимается из астеносферы в образовавшийся разрыв и формирует новую литосферу. Небольшая часть вещества изливается на поверхность в виде лавы,

остальной материал остывает и приплавляется к краям расходящихся плит. Как показывают многоканальные профили континентальных окраин, включая побережье Норвегии, эта вулканическая деятельность наиболее интенсивна в первые несколько миллионов лет спрединга океанического дна.

По мере того как литосфера «отъезжает» от срединно-океанического хребта, она продолжает остывать, сжиматься и погружаться. Самые глубокие впадины в Атлантическом океане располагаются по соседству с континентальными окраинами, т. е. там, где океаническая литосфера наиболее древняя и поэтому наиболее холодная. Однако у побережья Норвегии океан на удивление мелкий. Образцы породы, полученные при бурении, свидетельствуют, что кора в этом месте действительно океаническая, а не континентальная; сейсмические профили показывают, что она примерно в два раза толще, чем можно ожидать от коры, которая (как и вся литосфера) остывала и сжималась в течение 60 млн. лет. Во время образования этой мощной коры, в первые 3—5 млн. лет спрединга, скорость подъема магмы на срединно-океаническом хребте должна быть существенно превышать обычные значения.

И в самом деле, как показывают многоканальные профили МОВ для норвежского побережья, подъем магмы был настолько быстрым, что оке-



МАГМАТИЧЕСКАЯ КАМЕРА под срединно-океаническим хребтом может быть причиной утонения коры вблизи зоны разломов. Предполагается, что в основной массе океаническая кора образуется при остывании и кристаллизации расплава в магматической камере; лишь небольшая часть магмы изливается на поверхность в виде подушечных лав.

Горизонт R, вероятно, разделяет гетерогенные габбро, которые образуются на боковых и верхней стенках камеры, и расслоенные габбро, которые образуются из кристаллов, осаждающихся на дно камеры. Поверхность Мохоровичича представляет нижнюю границу камеры. Каждый сегмент хребта, ограниченный зонами разломов, может пи-



анический хребет поднялся над уровнем моря. На профилях видна хорошо выраженная структура верхней части фундамента: нагромождение искривленных слоев, наклоненных в сторону моря. М. Тальвани из Университета Райса и я предположили, что эти слои образовались последовательностью вулканических потоков на спрединговом центре, который должен был выступать из воды. (Лава, изливающаяся под водой, остывает и затвердевает, образуя «подушки», прежде чем успевает распространиться достаточно далеко.) Эта гипотеза объясняет наклон слоев в направлении открытого моря: большая часть лавы в каждом потоке оставалась вблизи места ее излияния, и поэтому нагрузка, которую создавал каждый поток на подстилающие слои, увеличивалась в направлении центра спрединга. Почти то же самое происходит сейчас в Исландии, где Срединно-Атлантический хребет лежит выше уровня моря. Лавовые потоки в восточной части Исландии имеют структуру, подобную структуре коры вблизи норвежского побережья.

Рассмотрев многоканальные профили, К. Хинц из Федерального института наук о Земле и природных ресурсов в Ганновере обнаружил свидетельства существования наклонных слоев лавы на континентальных окраинах по всему земному шару, включая такие непохожие друг на друга области, как Антарктида и Индия. Сейчас

становится понятным, что ранняя стадия эволюции спрединговых центров была отмечена активной вулканической деятельностью. В большинстве случаев вулканическая активность, вероятно, ослабевала спустя несколько миллионов лет. Центр спрединга, не поддерживаемый более поднимающейся магмой, опускался ниже уровня моря. Лава, которая продолжала изливаться, нагромождалась, образуя подушки, которые характерны для срединно-океанических хребтов.

### Магматические камеры

Детальная структура спрединговых центров — это предмет горячих споров среди геологов. Принято считать, что срединно-океанический хребет питается за счет постоянно действующей магматической камеры, расположенной в коре. В пользу этого предположения свидетельствуют результаты исследования офиолитов (фрагментов океанической коры, оказавшихся на суше в результате движения плит). Наиболее глубокие слои офиолитов состоят из расслоенных габбро: грубозернистой плутонической породы, которая, как предполагается, остывала и кристаллизовалась на глубине нескольких километров. Трудно объяснить образование расслоенных габбро, не поместив несколькими километрами ниже срединно-океанического хребта магматическую камеру. В такой камере минералы могли бы выделяться из расплава с образованием слоев и уноситься на раздвигающихся плитах. При этом камера должна периодически пополняться за счет притока магмы из астеносферы.

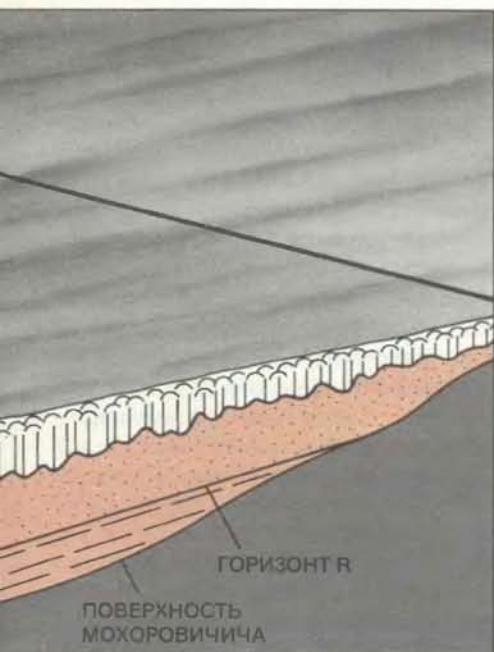
Н. Слип из Станфордского университета и Б. Розендал из Университета Дюка разработали термическую модель спредингового центра, которая учитывает наличие магматической камеры. Неудивительно, что модель предсказывает существование большой магматической камеры под тем хребтом, где литосфера образуется быстро (т. е. скорость спрединга составляет, скажем, 5 см/год), и узкой камеры под низкоскоростным центром спрединга. Магматическая камера под высокоскоростным центром спрединга должна предположительно иметь клиновидную форму: 20 км в ширину у основания и несколько километров у вершины.

Большая магматическая камера должна, вообще говоря, обнаруживаться на сейсмических профилях, поскольку скорость распространения сейсмических волн в магме гораздо ниже, чем в окружающем твердом ве-

ществие. Следовательно, на профилях МОВ должно быть заметно отражение сейсмического импульса от вершины камеры. Вторым типом данных можно получить с помощью еще одного сейсмического метода, который основан на регистрации преломленных сейсмических волн. В большинстве случаев скорость звука в коре возрастает с глубиной. За счет этого сейсмическая волна, проникающая в кору без отражения, преломляется и в каждом слое все больше поворачивает в горизонтальном направлении, пока не начинает распространяться горизонтально вдоль границы слоя. В конце концов за счет преломления волна вновь выходит на поверхность, где может быть зарегистрирована. Чем глубже слой, в котором волна распространяется горизонтально, тем больше расстояние, на котором она обнаруживается на поверхности. Сейсмическая волна, входящая в магму (где скорость звука мала), не поворачивает в горизонтальном направлении. Вместо этого она уходит вниз и не попадает на детекторы. Поэтому на профиле, построенном по преломленным сигналам, магматическая камера проявляется как «теневая зона»: при расстоянии до детектора, соответствующем глубине камеры, мощность сигнала чрезвычайно низка.

Используя аппаратуру, размещенную на морском дне, и взрывы в качестве генератора акустических импульсов, Дж. Оркатт и его коллеги из Скриппсовского океанографического института обнаружили зону тени под Восточно-Тихоокеанским поднятием, одним из самых высокоскоростных спрединговых центров. Позднее группа ученых из обсерватории Ламонт-Доэрти под руководством Т. Херрона обнаружила отчетливую отражающую границу на многоканальном профиле наиболее высокой части хребта вблизи того места, где проводил эксперимент Оркатт. Глубина этой отражающей поверхности почти точно соответствует верхней границе теневой зоны, обнаруженной Оркаттом. Взятые в совокупности эти два результата составляют убедительное доказательство существования магматической камеры определенного вида.

Следует отметить, что размеры этой магматической камеры далеко не такие значительные, какие можно ожидать от высокоскоростного центра спрединга. Прошлым летом Дж. Оркатт, Р. Детрик из Род-Айлендского университета, Т. Брочер из Вудсхолского океанографического института, П. Бул и я получили несколько разрезов поперек хребта, выполнив на двух судах измерения отраженных



таться своей магматической камерой, расположенной посредине сегмента. В направлении зоны разломов размеры камеры уменьшаются, и поэтому кора здесь тоньше (горизонт R и расслоенные габбро пропадают).





**ПНЕВМОПУШКИ**, буксируемые исследовательским судном «Роберт Д. Конрад» (Геологическая обсерватория Ламонт-Доэрти), производят выстрелы примерно через каждые 20 с. Акустические сигналы, отраженные от дна и от нижележащих слоев коры, регистрируются 2,4-километровой сейсмоприемной косой, сматываемой с барабана лебедки и буксируемой в притопленном положении.

и преломленных сигналов с высоким разрешением. Предварительный анализ данных измерений указал на существование теневой зоны, но лишь непосредственно под гребнем хребта. Из этого следует, что магматическая камера под этим сегментом Восточно-Тихоокеанского поднятия имеет в ширину не более нескольких километров. Такой вывод противоречит результатам изучения офиолитов и георетическим предсказаниям Слипа, которые показывают, что камера должна иметь в диаметре около 20 км. Пока не ясно, как можно устранить противоречие между выводами геологов и сейсмическими наблюдениями. По мнению Слипа, морская вода, циркулирующая через кору, может охлаждать магматическую камеру, что должно приводить к сжатию камеры.

### *Древняя океаническая кора*

Попытки построить подробные изображения коры под срединно-океаническими хребтами наталкиваются на одну трудность: дно в этих местах очень неровное. Если через ровную поверхность звуковые волны прони-

кают свободно, то на неровной поверхности они рассеиваются в разных направлениях. Один из способов обойти эту трудность, не уходя в то же время от основного вопроса: как образуется океаническая кора, состоит в том, чтобы исследовать кору вдали от хребтов, там, где она покрыта ровным слоем осадков. В структуре коры «записана» информация о процессах, происходивших на хребтах, правда, лишь тех, которые господствовали много миллионов лет назад. Используя метод широкой базы, мы с коллегами получили многоканальные профили МОВ на всем протяжении разреза от Флориды до Срединно-Атлантического хребта, т. е. от наиболее древней до наиболее молодой коры Атлантического океана. Эти профили косвенно свидетельствуют о существовании под Срединно-Атлантическим хребтом магматической камеры.

На нижних профилях поверхность Мохоровичича прослеживается непрерывно на огромных расстояниях и примерно на постоянной глубине — 12—15 км ниже уровня моря. Ее отражающие свойства также практически однородны. Какие бы процессы ни формировали нижние слои коры в Северной Атлантике, ясно, что на про-

тяжении последних 100 млн. лет они оставались неизменными. Этот вывод свидетельствует в пользу гипотезы, согласно которой срединный центр питается постоянно действующей магматической камерой: если бы кора образовывалась за счет эпизодических инъекций магмы из мантии, как предполагают некоторые, поверхность Мохоровичича не была бы, вероятно, столь однородной и непрерывной.

В пользу существования магматической камеры говорит и другая особенность профилей. Примерно тремя километрами выше поверхности Мохоровичича лежит внутренняя отражающая поверхность, которую я называю горизонтом R. В отличие от поверхности Мохоровичича она не является ни ровной, ни непрерывной, указывая на то, что граница раздела физических свойств, которую она представляет, не постоянна по глубине и не однородна в латеральном направлении. Я считаю, что горизонт R может отвечать границе внутри магматической камеры, а именно поверхности раздела между расслоенными габбро, которые образуются при кристаллизации минералов из магмы и осаждении их на дно камеры, и более гетерогенными габбро, которые образуются при кристаллизации на боковых и верхней стенках камеры. Различие физических свойств этих пород невелико, но может быть достаточным для того, чтобы граница раздела проявилась как отражающая поверхность на сейсмических изображениях.

### *Зоны разломов*

Строение глубоких слоев коры, как показывают горизонт R и поверхность Мохоровичича, резко меняется вблизи океанических зон разломов, вдоль которых происходит смещение сегментов срединно-океанических хребтов. Смещение представляет собой трансформный разлом, по которому две раздвигающиеся плиты скользят относительно друг друга. С каждой стороны хребта, однако, особенности коры, характерные для трансформного разлома, прослеживаются на расстоянии тысяч километров вдоль линии смещения. Серия наших профилей в Северной Атлантике пересекает несколько зон разломов на разных расстояниях от хребта (см. рисунок на с. 34 и 35).

Мы обнаружили, что при приближении к зоне разломов кора становится тоньше. Похоже, что она утончается «снизу»: вместе с подъемом поверхности Мохоровичича выклинивается слой, залегающий между ней и



горизонтом R. Непосредственно в зоне разломов горизонт R пропадает. Так, например, под зоной разломов «Шпора Блейк» поверхность Мохоровичича резко поднимается до глубин выше среднего залегания горизонта R, при этом мощность магматической части коры уменьшается на 2—3 км, т. е. наполовину своей нормальной толщины. Наиболее мощная кора обнаруживается между зонами разломов.

Эти особенности находят простое объяснение в рамках гипотезы, выдвинутой первоначально Г. Шутеном из Вудсхолского океанографического института. Каждый сегмент хребта питается своей магматической камерой, расположенной примерно посередине между зонами разломов. В направлении зон разломов размеры магматической камеры уменьшаются. В маленьком объеме не хватает места для того, чтобы из магмы выделялось большое количество расщепленных габбро, которые и образуют слой, заключенный между горизонтом R и поверхностью Мохоровичича. Под трансформными разломами магматические камеры, возможно, вообще отсутствуют и нормальный процесс роста коры прекращен. Эта гипотеза подтверждается геохимическими данными: породы, вышедшие на поверхность на различных сегментах хребта, различаются по своему химическому составу. Тем не менее указанная гипотеза должна быть подвергнута дальнейшей проверке.

Внутреннее строение зон разломов и срединно-океанических хребтов известно пока довольно плохо — просто потому, что имеется очень мало сейсмических изображений глубоких слоев в этих районах. То же справедливо, хотя и в меньшей степени, в отношении зон субдукции — третьего типа границ литосферных плит. То, о чем я рассказал здесь, — всего лишь некоторые предварительные результаты многоканального профилирования методом отраженных волн. Если говорить об использовании новой методики для решения проблем, поставленных геологами, то она еще находится в младенческом возрасте. Разумеется, качество изображений будет со временем улучшаться, поскольку исследователи будут увеличивать количество пневмопушек и детекторов и применять более совершенные методы обработки сигналов. Но, для того чтобы разобраться в крупномасштабных процессах эволюции Земли, не менее важно увеличивать число изображений. Перед небольшой группой ученых, занятых сейсмическим профилированием океанической коры, стоит еще много проблем.

## Издательство МИР предлагает:

### Я. Перина КВАНТОВАЯ СТАТИСТИКА ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Перевод с английского

Книга охватывает широкий круг вопросов, связанных с квантовой теорией излучения, статистикой фотонов и фотоотсчетов в измерениях различного типа, в том числе в лазерных измерениях. Научная новизна монографии заключается в том, что в ней с единых позиций метода когерентных состояний исследованы статистические свойства квантовых оптических полей и уделено особое внимание рассмотрению нелинейных оптических явлений. Всего в книге 10 глав. Первая глава является введением. Главы 2—4 (они базируются на материале книги Я. Перины «Когерентность света»: Мир, 1974) знакомят с аппаратом вторичного квантования и содержат информацию, необходимую для квантостатистического толкования корреляционной теории излучения. В главе 5 общий метод когерентных состояний применяется к практически важным для оптической связи частным случаям поля, таким как гауссовы поля, лазерные поля и их суперпозиции. Остальные главы посвящены нелинейным явлениям, обзор которых с точки зрения традиционного описания содержится в главе 6.

В седьмой главе рассматриваются приближение Гейзенберга — Ланжевена и приближение обобщенного уравнения Фоккера — Планка применительно к статистическим свойствам излучения. Глава 8 содержит развитие квантовой динамической теории статистических свойств излучения в сплошных средах, включая рассмотрение собственного поля излучения среды. В главе 9 с единых позиций обобщенного уравнения Фоккера — Планка и уравнений Гейзенберга — Ланжевена исследованы наиболее важные нелинейные оптические явления. Особое внимание уделено антикорреляционным и расходящимся эффектам, а также субпуассоновскому поведению оптических полей, не имеющему классических аналогий. В заключительной, десятой главе автор формулирует проблемы, требующие решения в рамках теории квантостатистических свойств нелинейных оптических явлений.

Для специалистов в области квантовой оптики и электроники, оптической локации и связи и смежных с ними областями современной физики, а также для студентов и аспирантов.

1987, 21 л. Цена 3 р. 10 к.

Предварительные заказы на книги выпуска 1987 г. принимаются магазинами — опорными пунктами издательства «Мир» с января — февраля, а остальными магазинами научно-технической литературы — с апреля — мая 1986 г.

Издательство заказов не принимает





# Сердце как эндокринная железа

*Сердце — это не просто насос.*

*Недавно было обнаружено, что в предсердиях вырабатывается гормон — предсердный натрийуретический фактор.*

*Это вещество, взаимодействуя с другими гормонами, обеспечивает тонкую регуляцию давления и объема крови*

МАРК КАНТЕН, ЖАК ЖЕНЕ

**В**СЕ мы прекрасно знаем, что сердце служит насосом кровеносной системы. Ритмично сокращаясь, этот мышечный орган выбрасывает кровь в сосуды легких и в большой круг кровообращения. В легких кровь насыщается кислородом, а протекая по сосудам большого круга, снабжает кислородом и питательными веществами все клетки организма. Это известно с 1628 г., когда Уильям Гарвей опубликовал свою работу «Анатомическое исследование о движении сердца и крови у животных».

В последние годы было обнаружено, что сердце — это не только насос. Оказалось, что оно является также эндокринной железой. В сердце вырабатывается очень активный гормон пептидной природы — предсердный натрийуретический фактор (ПНФ). Этот гормон играет важную роль в регуляции давления и объема крови, а также в выведении из организма воды, натрия и калия. Спектр влияния ПНФ весьма широк: он действует на кровеносные сосуды, на почки и надпочечники, на многие регуляторные образования головного мозга.

Открытие ПНФ послужило ключом к решению загадки, с давних пор волновавшей умы ученых. Еще в 1935 г. ныне покойный исследователь из Медицинской школы Йельского университета Джон Петерс предположил, что в сердце или в близлежащих магистральных сосудах должен действовать механизм, «воспринимающий величину кровотока» и обеспечивающий тонкую регуляцию объема крови. В 50 — 60-х годах многие исследователи тщетно пытались обнаружить гипотетический «натрийуретический гормон». Присутствием такого гормона можно было бы объяснить явления натрийуреза (усиленное выведение натрия) и сопутствующего ему диуреза (выведение воды), возникающие в определенных ситуациях без участия каких-либо извест-

ных регуляторных факторов. Натрийурез и диурез наблюдаются при растяжении верхних отделов сердца — предсердий. Эти отделы заполняются кровью из легочных и полых вен и перекачивают кровь в желудочки. Гипотетический натрийуретический гормон называли также «третьим фактором», так как предполагалось, что он дополняет влияние двух известных факторов, регулирующих давление и объем крови: гормона надпочечников альдостерона и удаления жидкости почками.

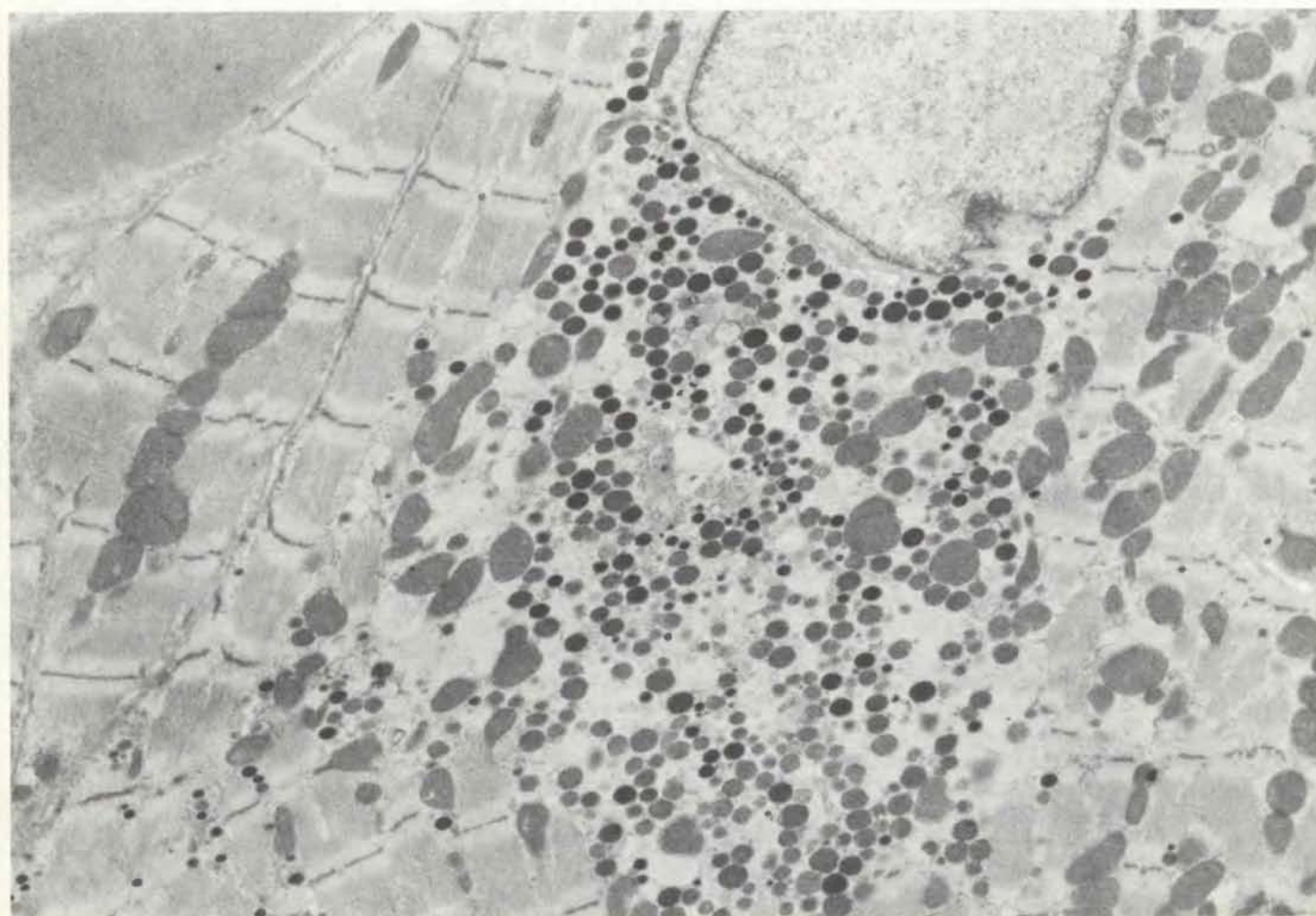
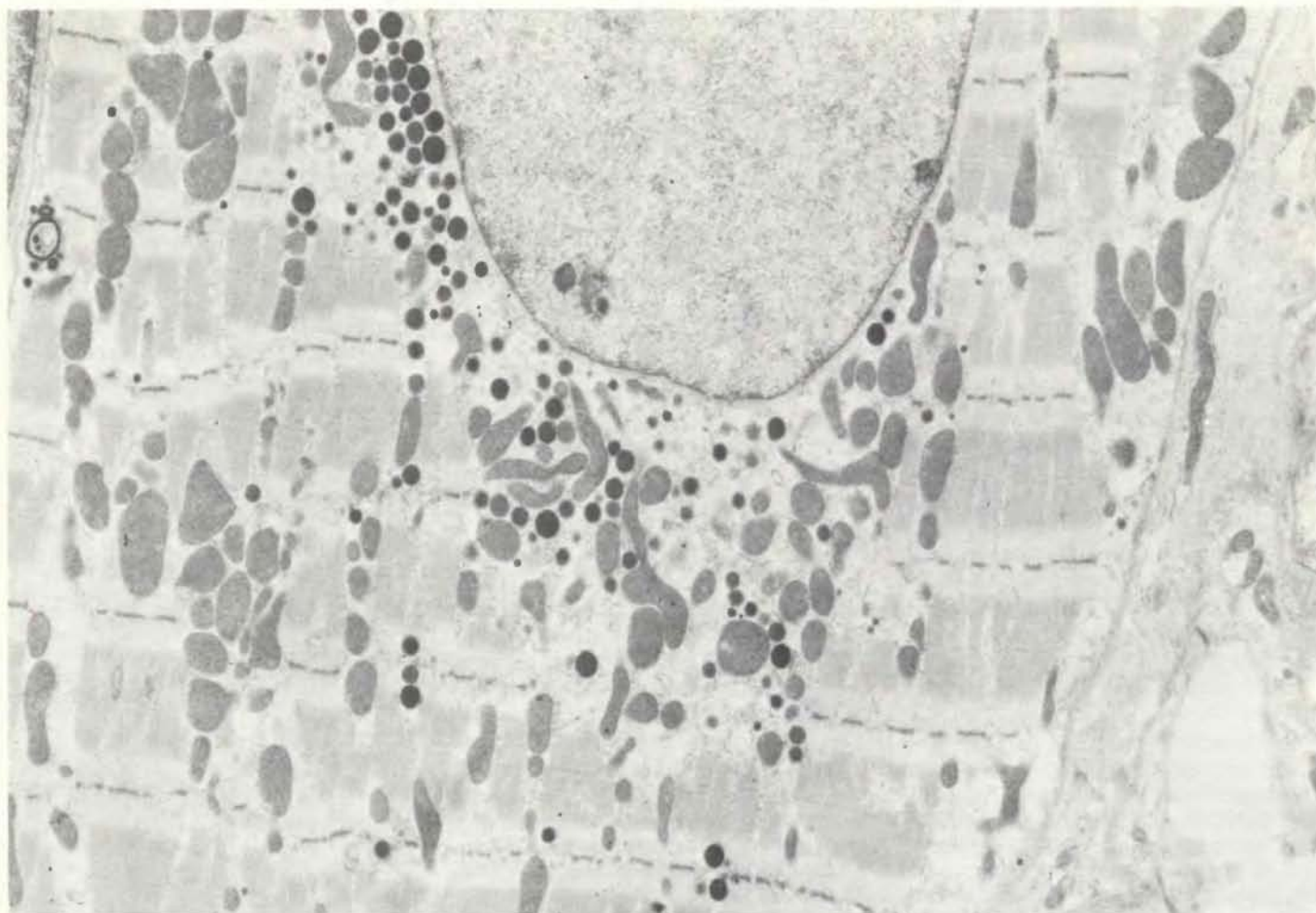
Первый шаг на пути к открытию «третьего фактора» был сделан Б. Кишем из Американского кардиологического колледжа. Этот исследователь обнаружил в кардиомиоцитах (мышечных клетках сердца) предсердий морской свинки особые образования, которые он назвал плотными тельцами. В 1964 г. Дж. Джемисон и Дж. Паладе (Медицинская школа Йельского университета) опубликовали сообщение о том, что плотные тельца, по-видимому, содержатся в предсердиях у всех изученных ими млекопитающих, в том числе у человека; функция этих телец, однако, оставалась невыясненной. В 1974 г. сотрудники нашей группы из Монреальского университета подметили, что плотные тельца весьма сходны с гранулами, в которых хранятся гормоны в клетках эндокринных желез, например поджелудочной железы или передней доли гипофиза. Было показано также, что после введения животным аминокислот, меченных радиоактивными атомами, метка быстро появлялась в плотных тельцах предсердных клеток, причем в составе заново синтезированных полипептидов. То же самое наблюдается и в гранулах эндокринных желез.

**В** 1976 г. П.-И. Атт и его сотрудники из Парижского университета сопоставили данные о плотных

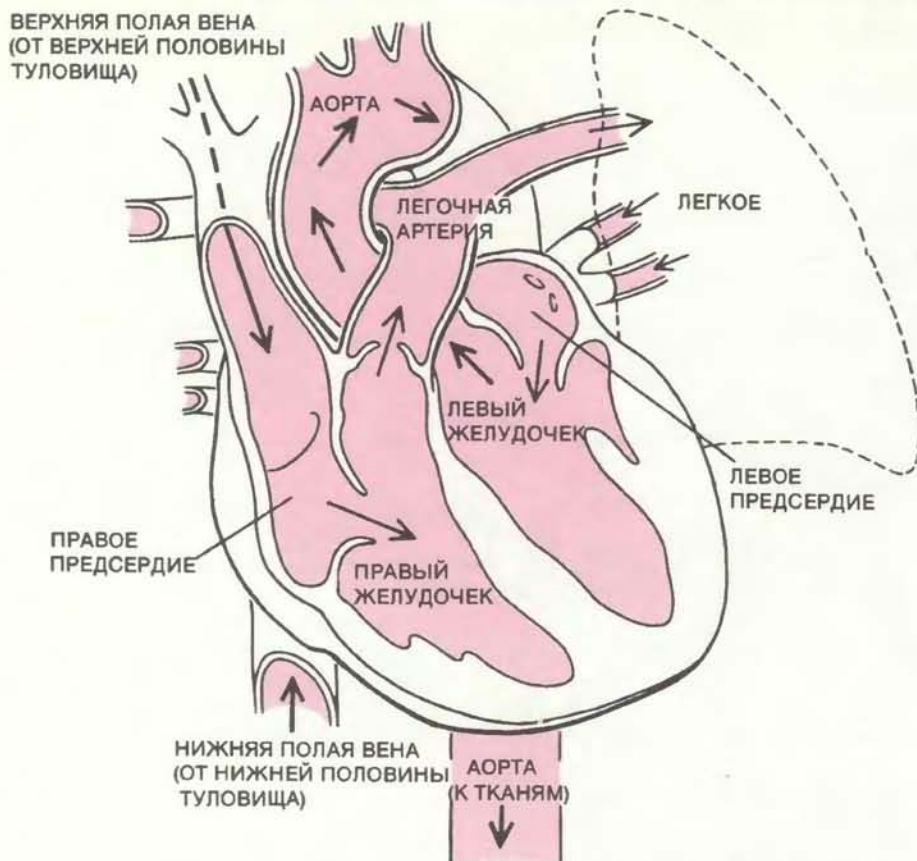


ГРАНУЛЫ, СОДЕРЖАЩИЕ ГОРМОН, в кардиомиоцитах (клетках сердечной мышцы) крысы. Электронные микрофотографии получены в лаборатории авторов; увеличение — около 12 000. Предположение о том, что сердце выполняет функцию эндокринного органа, впервые возникло, когда были обнаружены подобные гранулы. Растяжение сократительного аппарата (на снимках видны миофиламенты и Z-полоски) кардиомиоцитов стимулирует секрецию особого гормона — предсердного натрийуретического фактора (ПНФ). В норме (вверху) гранулы с ПНФ располагаются в клетке в основном вокруг ядра; у крысы же, в течение 30 суток получавшей пищу с низким содержанием натрия, гранул гораздо больше (внизу). Возможно, это обусловлено тем, что при таком питании уменьшается объем циркулирующей жидкости, а это сопровождается падением уровня ПНФ в крови. В результате в кардиомиоцитах накапливаются гранулы гормона.









ПНФ СИНТЕЗИРУЕТСЯ И СЕКРЕТИРУЕТСЯ у млекопитающих кардиомиоцитами правого и левого предсердий. Бедная кислородом кровь, оттекающая от тканей, по крупным венам поступает в правое предсердие. Правое предсердие перекачивает кровь в правый желудочек, а оттуда она выбрасывается в легочную артерию и течет к легким. Насытившись в них кислородом, кровь возвращается в левое предсердие, а затем изгоняется левым желудочком в аорту и направляется к тканям. У некоторых немлекопитающих животных диуретический и натрийуретический эффект оказывают не только экстракты предсердий, но и экстракты желудочков; значит, у этих животных клетки желудочков также могут вырабатывать ПНФ.

тельцах предсердных клеток с результатами более ранних работ, касавшихся регуляции концентрации натрия и количества воды в организме. Оказалось, что число гранул в предсердных кардиомиоцитах увеличивается при снижении содержания натрия в пище животных. Значит, в плотных тельцах должно содержаться какое-то вещество, участвующее в регуляции обмена натрия. Решающий шаг на пути к открытию «третьего фактора» был сделан в 1981 г. учеными из Королевского университета в Кингстоне (пров. Онтарио, Канада) А. де Болдом, Х. Зонненбергом и их сотрудниками. Они обнаружили, что введение крысам гомогенатов предсердий других крыс быстро приводит к значительному кратковременному увеличению диуреза и натрийуреза. Исследователи сделали вывод, что наблюдавшиеся эффекты обусловлены неким агентом, содержащимся в предсердиях, и назвали этот агент предсердным натрийуретическим фактором.

В течение следующих трех лет были получены первые прямые данные о локализации и строении ПНФ. Оказалось, что у крыс в правом предсердии количество гранул в 2 — 2,5 раза больше, чем в левом. Особенно высоко содержание гранул у поверхности сердца и в наружных участках предсердий. А в желудочках у крыс и других млекопитающих гранулы не были обнаружены. Это хорошо согласуется с тем фактом, что введение экстрактов, полученных из ткани желудочков млекопитающих, не влияет на тонус кровеносных сосудов, диурез и натрийурез. У животных других классов, в отличие от млекопитающих, гранулы содержатся не только в предсердиях, но и в желудочках, и введение экстрактов ткани из них сопровождается диуретическим и натрийуретическим эффектами. Это наблюдение выглядит вполне естественным в свете того, что у высших видов животных клетки сердца вообще более специализированы.

После того как были обнаружены

структуры, в которых вырабатывается ПНФ, стало реальным его изучение. В июне 1983 г. нашей группе удалось выделить и очистить это вещество, а через два месяца ПНФ был синтезирован Р. Натт и ее сотрудниками из научно-исследовательских лабораторий фирмы Merck Sharp & Dohme. Оказалось, что ПНФ — это активный фрагмент более крупного полипептида-предшественника. В нескольких лабораториях, занимавшихся определением аминокислотной последовательности ПНФ, были получены одинаковые данные о его строении. В ПНФ непременно имеется неизменная центральная часть, состоящая из 21 аминокислоты. У крысы активный циркулирующий в крови ПНФ включает 28 аминокислот, молекулярная масса его равна 3060. В предшественнике активный гормон соединен с неактивным пептидом из 100 аминокислот и сигнальным пептидом из 24 аминокислот; последний отщепляется после завершения синтеза всей длинной молекулы. У человека структура активного ПНФ, содержащегося в крови, еще не расшифрована, но есть веские основания полагать, что он тоже состоит из 28 аминокислот.

Совсем недавно удалось клонировать ген ПНФ человека и установить его нуклеотидную последовательность. Благодаря этому стало возможным синтезировать ПНФ химически и получать с помощью технологии рекомбинантной ДНК, вводя его ген в дрожжевые или бактериальные клетки. И тот и другой способ позволяют производить ПНФ в количествах, достаточных для всестороннего изучения его физиологических эффектов. Кроме того, получены антитела к ПНФ, и теперь мы можем проследить процесс образования этого гормона и обнаружить точки его приложения с помощью чувствительных иммунологических методов.

У крыс, подвергнутых иммобилизационному стрессу, уровень ПНФ в крови увеличивается в 5—20 раз. Выделение ПНФ из сердца изучалось также у людей, страдающих пороками сердечных клапанов, сопровождающимися увеличением объема крови. Таким больным делают катетеризацию сердца, что дает возможность брать кровь для анализа из артерий и различных сердечных камер. Содержание ПНФ в плазме крови из венечного синуса (в этот сосуд оттекает венозная кровь от предсердий) у них в 2 — 8 раз выше, чем в плазме крови из артерий или периферических вен. Таким образом, подтверждается точка зрения, согласно которой ПНФ выделяется главным образом (если не ис-







ниями поглощения кислорода или распада глюкозы, т.е. изменением уровня энергозатрат, тогда как известные нам механизмы реабсорбции требуют энергии.

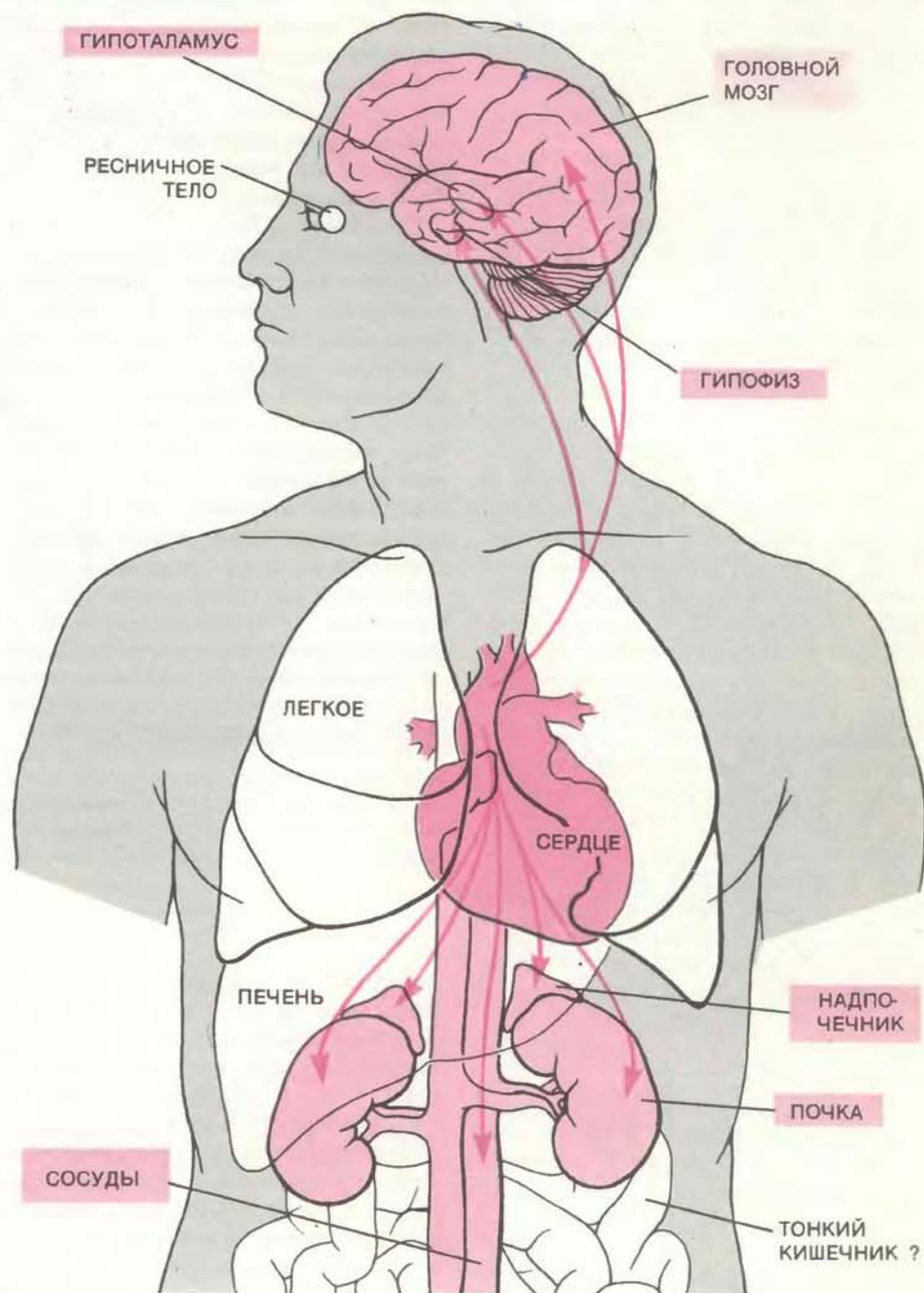
Сосудорасширяющий эффект ПНФ не менее важен, чем его влияние на клубочки и каналцы почек. Введение ПНФ вызывает расслабление гладких мышц крупных артерий (позвоночных, бедренных, общих сонных и венечных) и расширение этих сосудов; однако в наибольшей степени сосудорасширяющий эффект ПНФ выражен в мелких артериях почек. Если в ванночку с полосками почечных артерий крысы или кролика добавляли синтетический ПНФ, то сосудосуживающее действие ангиотензина II и норадреналина сильно подавлялось на 30 — 80 мин. Когда ПНФ вводили в сосуды изолированной почки крысы, наблюдалось быстрое снижение перфузионного давления на 18 мин. Из этих данных можно было сделать вывод, что мишенью ПНФ являются либо гладкомышечные клетки кровеносных сосудов, либо клетки эндотелия, выстилающие сосуды. Но после удаления эндотелия сосудорасширяющий эффект ПНФ сохранялся, поэтому следует считать, что гормон действует на мышечный слой стенки сосудов.

Конкретный механизм воздействия ПНФ на гладкомышечные клетки неизвестен. Мы предполагаем, что этот пептид влияет на вход в них кальция или же на его перераспределение внутри клеток. В настоящее время мы пытаемся экспериментально проверить свое предположение. Возможно, ПНФ действует на процессы переноса кальция не непосредственно, а при участии циклического гуанозинмонофосфата (сGMP). Циклические нуклеотиды сGMP и сAMP (циклический аденозинмонофосфат) играют в клетке роль посредников, называемых часто «вторичными мессенджерами»: они передают внутриклеточным системам информацию о взаимодействии гормона, поступившего к клетке извне, с рецептором, находящимся на клеточной мембране. О связи между ПНФ и сGMP свидетельствует тот факт, что у крыс после введения ПНФ значительно повышается уровень сGMP в плазме и моче. Возможно, ПНФ активирует фермент гуанилатциклазу. Этот фермент, связанный с клеточной мембраной, участвует в синтезе сGMP. Кроме того, ПНФ препятствует активации фермента аденилатциклазы (аденилатциклаза катализирует образование сAMP).

В экспериментах с крысами и морскими свинками с помощью синтетического ПНФ, меченного радиоактив-

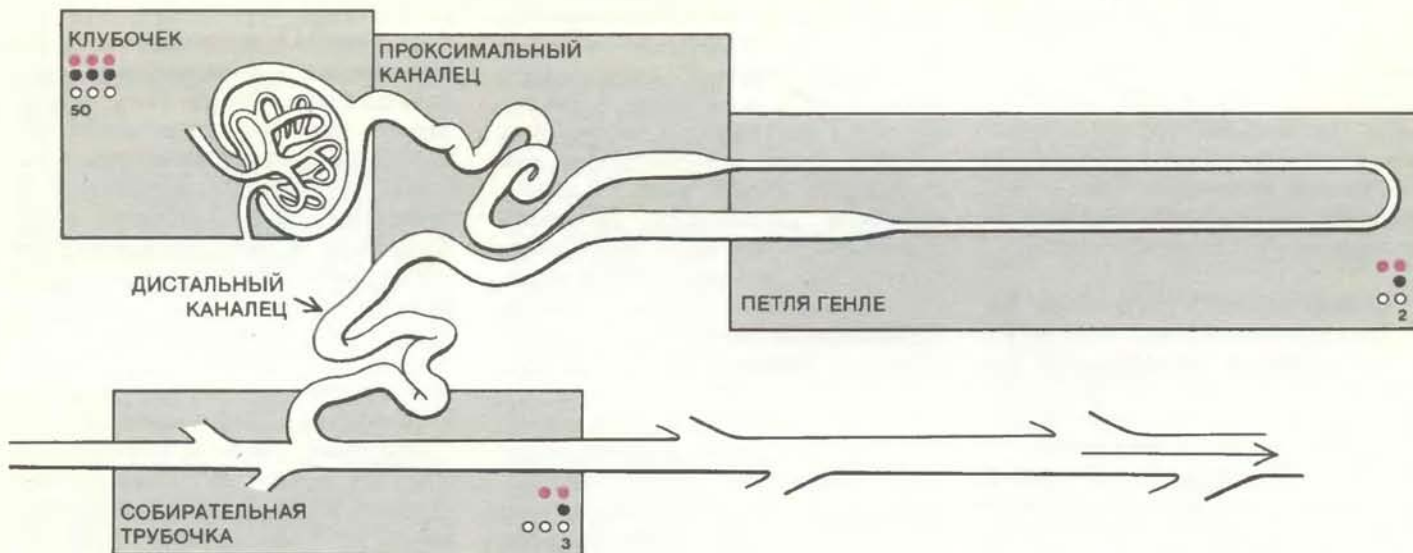
ным изотопом, было показано, что в головном мозгу имеется множество мишеней для этого пептида. Он связывался в структурах, отвечающих за регуляцию кровяного давления, содержания натрия и калия и количества

воды в организме. Кроме того, ПНФ, как выяснилось, тормозит выработку вазопрессина. Вазопрессин образуется в гипоталамусе, а затем переносится в заднюю долю гипофиза, где запасается. Оттуда он выделяется в



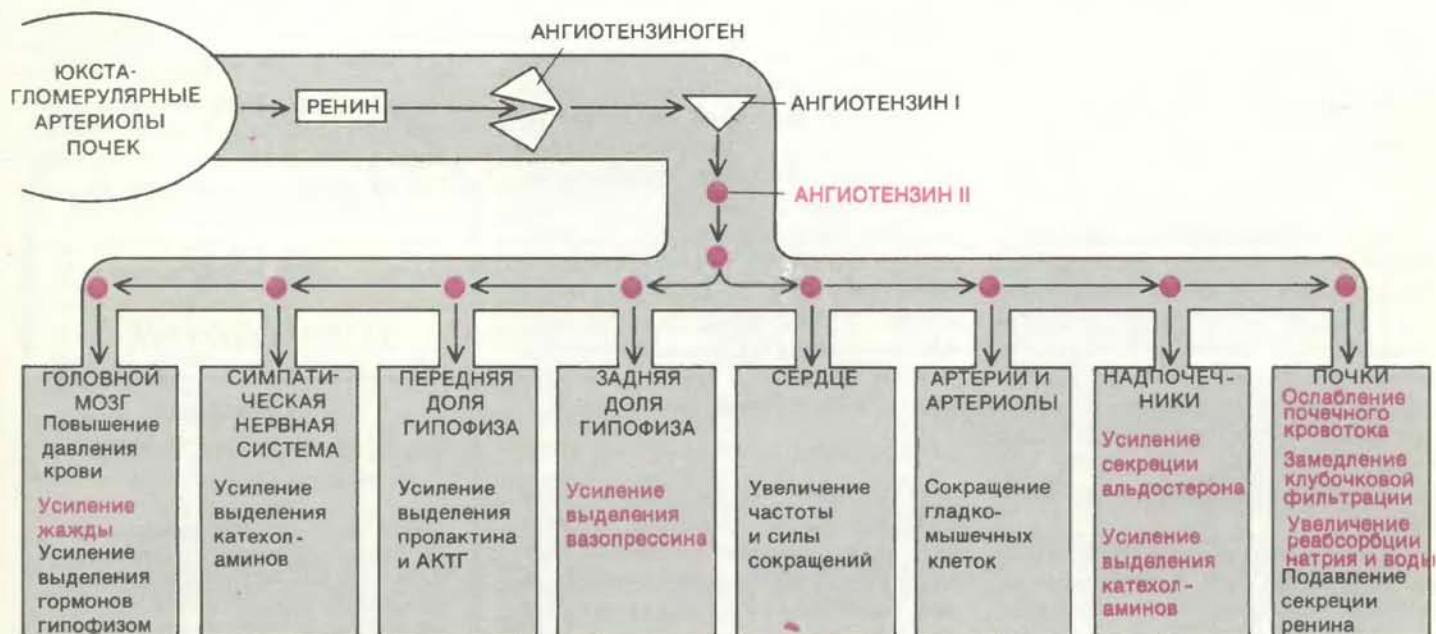
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПНФ разнообразны. Известно, что этот гормон влияет на различные структуры головного мозга (в том числе на гипоталамус), заднюю долю гипофиза, надпочечники, почки и сосуды. Кроме того, ПНФ связывается и в других органах-мишенях: в легких, печени, ресничном теле (это образование вырабатывает лимфоподобную жидкость передней камеры глаза) и, возможно, в тонком кишечнике; однако действие ПНФ на эти органы пока не ясно. Участки связывания ПНФ в головном мозгу находятся в структурах, участвующих в регуляции кровяного давления и содержания натрия и воды. ПНФ подавляет секрецию вазопрессина гипоталамусом. Вазопрессин, хранящийся в задней доле гипофиза, имеет антидиуретический эффект и вызывает сужение артериол и капилляров. Под действием ПНФ расслабляются гладкомышечные клетки кровеносных сосудов, тормозятся синтез и секреция альдостерона надпочечниками (альдостерон несколько повышает артериальное давление) и усиливается фильтрация натрия и воды в клубочках почек. По-видимому, ПНФ влияет также на дистальные каналцы и собирательные трубочки почек: в этих отделах он противодействует реабсорбции воды и натрия в кровь.





ДЕЙСТВИЕ ПНФ НА ПОЧКИ осуществляется, по-видимому, в основном в клубочках. На другие структурно-функциональные элементы почек ПНФ влияет меньше. Механизм действия ПНФ заключается в том, что, связываясь с поверхностью клетки-мишени, он вызывает активацию расположенного на клеточной мембране фермента, называемого гуанилатциклазой. Этот фермент катализирует образование особого нуклеотида — циклического гуанозинмонофосфата (сGMP), который играет роль посредника («вторичного мессенджера»), передающего внутриклеточным системам сигнал о поступлении к клетке гормона. Кроме того, ПНФ подавляет активацию другого фермента — аденилатциклазы, который участвует в образовании иного посредника, а именно циклического аденозинмонофос-

фата. В опытах с ПНФ, меченным радиоактивным изотопом, было показано, что плотность участков связывания этого гормона в клубочках крысы очень высока (красные кружки; количество мест связывания оценивалось по трехбалльной системе). Кроме того, измерялись активация гуанилатциклазы (черные кружки) и подавление активности аденилатциклазы (белые кружки; результаты также оценивались по трехбалльной системе). В клубочках оба этих эффекта ярко выражены. Так, содержание сGMP (цифры под кружками) повышалось под действием ПНФ более чем в 50 раз. Обнаружено, что ПНФ оказывает некоторое влияние на собирательные трубочки и толстые сегменты петель Генле, но не на проксимальные каналцы.



ПНФ ПОДАВЛЯЕТ некоторые эффекты ангиотензина II. Ангиотензин II представляет собой гормон пептидной природы, под действием которого, в частности, увеличиваются артериальное давление и объем крови. При снижении кровяного давления в почечных сосудах из них в кровь выделяется ренин. Ренин расщепляет полипептид-предшественник, называемый ангиотензиногеном, и образуется ангиотензин I. Ангиотензин I превращается в ангиотензин II, который и разносится кровотоком ко всем указанным на рисунке органам. Ангиотензин II вызывает повышение ар-

териального давления. Это связано как с прямым сосудосуживающим действием гормона, так и с тем, что он усиливает синтез и секрецию других сосудосуживающих веществ (например, вазпрессина, а также адреналина и других катехоламинов) и увеличивает выброс из надпочечников альдостерона. Под действием альдостерона происходит задержка натрия и воды в почках. Кроме того, ангиотензин II обеспечивает отрицательную обратную связь: он подавляет выделение ренина из почек. Эффекты ангиотензина II, которые подавляются ПНФ, выделены цветом.



кровь, что вызывает сужение кровеносных сосудов, повышение артериального давления и усиление реабсорбции воды в канальцах почек. Наконец, установлено, что ПНФ связывается с различными структурными элементами ресничного тела глаза; возможно, он принимает участие в регуляции внутриглазного давления.

**О**ДНОВРЕМЕННО с изучением физиологической роли ПНФ ведутся исследования возможности его применения для лечения артериальной гипертензии и застойной сердечной недостаточности. Мы обнаружили, что, если крысам с гипертензией (стойко повышенным артериальным давлением) один раз ввести 1 мкг синтетического ПНФ, давление у них на короткое время (не более 1 ч) существенно снижается. Оказалось, что в наибольшей степени давление крови уменьшается у тех животных, у которых гипертензия связана с высокой активностью ренина. Если в течение 7 дней животным вводили ПНФ в дозе 1 мкг в час, то артериальное давление сильно падало, причем нормализовалось оно уже через два дня после начала инъекций. При таком же режиме введения препарата, но в течение 12 дней и меньшими дозами артериальное давление падало на протяжении последних 10 дней; при этом снижался уровень альдостерона в плазме крови и моче.

В дальнейших исследованиях мы измеряли содержание ПНФ у крыс с наследственным предрасположением к повышенному артериальному давлению. Оказалось, что уровень ПНФ в крови у этих животных повышен, а в левом предсердии (но не в правом) понижен по сравнению с нормальным. По-видимому, высокое содержание ПНФ в крови — отражение действия механизмов, с помощью которых организм стремится снизить артериальное давление, а уменьшение содержания ПНФ в левом предсердии свидетельствует о том, что запасы этого гормона при гипертензии истощаются.

Можно полагать, что ПНФ играет также важную роль в патогенезе застойной сердечной недостаточности, при которой сердце плохо перекачивает кровь, и в результате возникает одышка и выраженный отек ног. В чем заключается участие ПНФ в развитии этого состояния, пока еще не установлено, однако мы обнаружили, что в линии хомяков, подверженных спонтанной застойной сердечной недостаточности, по мере прогрессирования заболевания содержание ПНФ закономерно изменяется. У таких животных артериальное давление всегда

понижено, а венозное, напротив, тем выше, чем дальше зашло заболевание. На всех стадиях болезни содержание ПНФ в предсердиях у них ниже, чем у контрольных нормальных хомяков. Самое знаменательное, что содержание ПНФ в крови у больных животных существенно увеличено, причем это увеличение наступало сразу после того, как повышалось давление в правых отделах сердца. Уровень ПНФ в плазме крови достигал максимума в средней фазе заболевания и падал на конечных его стадиях. При вскрытии умерших животных в предсердиях наблюдалась картина, которую мы называем гиперплазией с истощением: в клетках необычайно развит шероховатый эндоплазматический ретикулум (в этой структуре синтезируются белки), увеличен в размерах аппарат Гольджи (в нем происходят различные посттрансляционные модификации полипептидных цепей, т. е. «созревание» белков и пептидов) и очень мало секреторных гранул, а содержание ПНФ в гранулах гораздо меньше обычного.

Эти данные свидетельствуют о том, что даже небольшое повышение внутрипредсердного давления приводит к усилению образования ПНФ. Снижение же содержания ПНФ в предсердиях — признак истощения. Мы полагаем, что усиленная выработка и секреция больших количеств ПНФ вплоть до поздних стадий заболевания противодействуют развитию двух существенных процессов, характерных для застойной сердечной недостаточности — задержки натрия в организме и активации ренин-ангиотензин-альдостероновой системы. Однако со временем они все же проявляются, вероятно, в результате десенситизации: из-за повышенного содержания ПНФ становится мало участков связывания этого гормона на клеточных мембранах органов-мишеней и клетки хуже реагируют на ПНФ.

**В**ОЗМОЖНО, дальнейшие исследования ПНФ позволят разработать новые методы лечения артериальной гипертензии и других заболеваний, связанных с нарушениями кровяного давления, объема крови, а также выделения солей и воды почками. Мы сумели значительно продвинуться в изучении болезней, в развитии которых играет роль ПНФ. Тем не менее предстоит еще большая работа, прежде чем можно будет использовать синтетические производные ПНФ в лечебных целях. Необходимо выяснить механизмы воздействия ПНФ на канальцы почек, а также связь между сосудорасширяющим эффектом это-

го гормона, переносом кальция в гладкомышечных клетках сосудов и активностью аденилатциклазы и гуанилатциклазы. Кроме того, следует изучить факторы, вызывающие выброс ПНФ из кардиомиоцитов, и подробно исследовать влияние ПНФ на различные отделы головного мозга. К счастью, недавно при клинических испытаниях было показано, что все те физиологические эффекты ПНФ, которые обнаружены в опытах на животных, наблюдаются и у человека. Это значительно облегчает разработку применения ПНФ в медицине.

Внедрение ПНФ в медицинскую практику зависит не только от тщательного изучения его физиологической активности. Нужны методы, позволяющие получать такие аналоги ПНФ, которые способны избирательно связываться с теми или иными структурами. Эти препараты можно будет использовать для специфического, «прицельного» лечения различных заболеваний. Кроме того, следует подумать о внутреннем (пероральном) применении ПНФ, а значит, надо разработать такие его препараты, которые, легко всасываясь, не будут разрушаться ферментами и кислотой желудочного сока. Безусловно, методы биотехнологии и химического синтеза могут решить все эти задачи, но пройдет, вероятно, еще несколько лет, прежде чем появятся первые препараты ПНФ, пригодные для строгих клинических испытаний.

Издательство  
**МИР**  
предлагает:

И. Стюарт  
**ТАЙНА КАТАСТРОФЫ**

Перевод с французского

Имя автора хорошо известно советскому читателю по монографии «Теория катастроф», написанной им совместно с Т. Постоном (М.: Мир, 1980). Данная книга посвящена изложению основных положений и практических применений теории катастроф в занимательной форме при помощи многочисленных забавных иллюстраций.

1986, 11 л. Цена 80 к.





# Наука и общество

## Восстановленные нервы

**НЕДАВНО** в Неврологическом обществе был сделан доклад о возможности восстановления нервов периферической нервной системы, разорванных в результате травмы или иного повреждения. Если концы перерезанного нерва поместить в силиконовую трубку, заполненную полимером, наблюдается регенерация нервных волокон. При этом зарастают разрывы вплоть до 15 мм шириной, что для повреждений нервной системы представляет большое расстояние. Такие эксперименты были осуществлены двумя группами исследователей. Одна из них, возглавляемая Й. Яннасом из Массачусетского технологического института, использовала силиконовые трубки, заполненные коллагеном и полисахаридами; молекулы этих веществ были соединены поперечными шшивками, так что образовалась пористая сетевидная структура. Другая группа, работавшая под руководством Р. Сидмэна из Медицинской школы Гарвардского университета, для наполнения трубок применяла коллаген или же гель, содержащий гликопротеин, называемый ламинином.

В настоящее время поврежденный периферический нерв, важный для функционирования организма, восстанавливают хирургически: пересаживают кусочек нерва из другого места тела. Однако этот метод имеет серьезные недостатки. Во-первых, та область, из которой берется нерв, теряет чувствительность. Во-вторых, количество нервной ткани, которое можно изъять для такой пересадки, ограничено.

Почему эффективен метод трубок? «Без полимеров, — говорит исследователь из группы Яннаса Дж. Силвер (Медицинская школа Университета Кейс-Вестерн-Резерв), — либо роста нервов нет вообще, либо происходит рост только соединительной ткани». А в присутствии полимера восстанавливаются кровеносные сосуды и нерв быстро растет. С помощью электронного микроскопа можно видеть, что в разрыве появляется много шванновских клеток — нейронных элементов нервной ткани, обеспечивающих структурную опору и изоляцию нервных окончаний. «По-видимому, — замечает Силвер, — в трубке, заполненной полимером, шванновские клетки получают возможность продвигаться от одного конца перерезанного нерва к другому дальше, чем спо-

собны в пустой трубке. Мы предполагаем, что поверхность полимера способствует перемещению клеток». Следующий шаг исследований состоит в том, чтобы попытаться увеличить эффективность полимера; Силвер считает, что этого можно достичь, если перед имплантацией трубок «посадить» на полимер шванновские клетки.

Яннас и Сидмэн с коллегами экспериментировали с тканью периферической нервной системы, к которой относятся нервы вне спинного и головного мозга. А. Эгьюэйо из Университета Мак-Гилла и его сотрудники обнаружили, что и аксоны центральной нервной системы (т. е. головного и спинного мозга) способны к значительной регенерации в присутствии пересаженного кусочка нервной ткани из периферической нервной системы.

## Оптические электроны

**МОГУТ ЛИ** электроны проходить меж атомами тонкого слоя полупроводникового материала так же беспрепятственно, как в вакууме, не испытывая рассеяния? Некоторые теоретики считают, что могут, и в настоящее время получено первое экспериментальное доказательство такого «оптического» переноса электронов в полупроводнике. Этот факт представляет значительный интерес, поскольку такой механизм переноса может быть использован при конструировании транзисторов для компьютеров, способных переключаться в несколько раз быстрее существующих сейчас.

Доказательство существования оптического переноса было получено с помощью экспериментального полупроводникового устройства, названного усилителем с использованием туннельного переноса горячих электронов (tunneling-hot-electron-transfer amplifier, ТНЭТА). Оно было создано группой исследователей в составе М. Хейблума, М. Натана, Д. Томаса и К. Недлера из научно-исследовательского центра компании IBM им. Т. Уотсона.

В статье, опубликованной журналом «Physical Review Letters», исследователи описывают конструкцию своего устройства. Оно состоит из трех слоев арсенида галлия: эмитте-

ра, базы и коллектора. Эмиттер инжектирует «горячие» электроны (т. е. электроны, которые не находятся в состоянии теплового равновесия с остальным веществом) в базу, толщина которой меньше толщины двух других слоев, что облегчает пролет инжектированных электронов без столкновений. Электроны пересекают базу и попадают в коллектор, где их энергия может быть измерена.

Между эмиттером и базой помещен очень тонкий слой арсенида галлия-алюминия, который служит потенциальным барьером: электроны данной энергии могут проникнуть в базу только путем туннелирования сквозь барьер. (Туннелирование представляет собой квантовомеханический эффект: субатомная частица, проявляя свои волновые свойства, может «просачиваться» сквозь энергетический барьер, который в классической физике рассматривается как непроницаемый.) Другой такой же слой разделяет базу и коллектор. Этот барьер сделан достаточно широким, с тем чтобы закрыть доступ в коллектор всем электронам, находящимся в состоянии теплового равновесия, т. е. электронам с низкими энергиями; энергию, достаточную для преодоления энергетического барьера, имеют только горячие электроны. Эффективную «высоту» барьера можно регулировать, изменяя напряжение смещения, приложенное к коллектору; таким путем можно задерживать все горячие электроны с энергиями меньше некоторой заданной. Следовательно, это устройство может функционировать как спектрометр для изучения энергетического спектра электронов. Число электронов, проходящих через устройство, может быть представлено как функция их энергии, или как функция напряжения смещения на коллекторе.

При инжекции в устройство горячих электронов в их распределении по энергиям на выходе наблюдался резкий пик, положение которого точно совпадало с первоначальной энергией инжектируемых электронов. Это означает, что большое число этих электронов преодолевает потенциальные барьеры в устройстве ТНЭТА без столкновений; в самом деле, расчеты показывают, что примерно половина горячих электронов не теряет энергию при столкновениях. В то же время большая часть обычных электронов теряет значительную часть своей энергии в базе. Однако тот факт, что каждый второй горячий электрон в устройстве теряет практически всю свою энергию, поставил исследователей в тупик.



# Воссоздание филогенеза птиц по результатам сопоставления ДНК

*Различия между ДНК*

*отражают дивергенцию видов в ходе эволюции.*

*Это позволяет воссоздать картину ветвления линий эволюционного развития, оценить время их расхождения и создает основу для классификации птиц, существующих в настоящее время*

ЧАРЛЗ ДЖ. СИБЛИ, ДЖОН Э. ОЛКВИСТ

**В**СЕ СУЩЕСТВУЮЩИЕ ныне организмы — это потомки некогда существовавших предковых видов, продукт эволюции. Так как все растения и животные, видимо, произошли от одного корня, эволюционная история (филогенез) у них общая. Воссоздание путей филогенеза является основной задачей эволюционной биологии. Современные виды — это самые верхние побеги на огромном филогенетическом древе, крупные ветви которого и ствол мы непосредственно наблюдать не можем. Для воссоздания древа жизни надо знать, когда и как, в каком порядке формировались его ветви.

В последние десять лет мы разрабатывали подход, с помощью которого удается понять закономерности филогенеза, исходя из строения «вещества наследственности» — ДНК. Применение метода гибридизации ДНК позволило нам воссоздать последовательность ветвления основных линий эволюционного развития птиц. Приблизительно 9000 видов живущих сегодня птиц — это потомки форм, дивергенция которых началась приблизительно 150 млн. лет назад, в конце юрского — начале мелового периода, когда птицы отделились от рептилий, являющихся их предками. По оценке П. Бродкорба (Флоридский университет), всего существовало около 150 тыс. видов птиц. Из их числа нынеживущие виды составляют всего 6%, а остальные вымерли.

Суть использованного нами подхода заключается в определении различий между ДНК видов, представляющих основные группы современных птиц. Эти результаты мы использо-

вали для реконструкции порядка ветвления филогенетического древа птиц. Реконструированная картина филогенеза дает основу для классификации птиц: современные виды распределяют по таксономическим категориям, руководствуясь их генеалогическими отношениями. В некоторых случаях мы получили результаты, указывающие на необходимость изменений в общепринятой классификации птиц.

Картина филогенеза составляется на основании данных и умозаключений о ветвлении линий эволюционного развития и датировки каждого такого события. Разветвление происходит, если какой-либо барьер, обычно географический по природе, разделяет единый вид на две популяции, которые затем дивергируют генетически и становятся основателями двух новых линий развития. Каждая из этих линий в свою очередь тоже может разветвиться, и так происходит многократно, что приводит к появлению множества морфологически и экологически различных видов.

До недавнего времени результаты сравнительного изучения анатомических признаков современных видов были единственной основой для представлений о картине ветвления филогенетического древа. Путем таких сопоставлений удалось найти ответы на многие вопросы и выявить главные закономерности истории жизни. Отметим, однако, что анатомические признаки формируются под влиянием функциональных потребностей, и поэтому изучение особенностей структуры может дать нам неверные ключи к пониманию филогенеза. Дело в том, что сходные признаки могут воз-

никать у неродственных организмов в результате конвергентной эволюции. Так, стрижи и ласточки внешне очень похожи, но лишь по той причине, что и те и другие приспособились питаться летающими насекомыми. В первых классификациях птиц они располагались рядом. Впоследствии были обнаружены серьезные различия в анатомии и стало понятно, что эти две группы нельзя считать близкими. Стрижи — дальние родственники колибри, а ласточки состоят в родстве с другими певчими птицами. Во многих случаях конвергентная природа сходства настолько замаскирована, что путем сравнительно-анатомического анализа выявить ее невозможно.

Для датировки разветвлений филогенетического древа, которые можно предполагать на основании анатомических исследований, необходимо опираться на палеонтологическую летопись. Анализ ископаемых форм позволил провести частичную реконструкцию филогенеза некоторых групп организмов, но в других случаях, включая птиц, его было явно недостаточно. Кроме того, хотя датированный палеонтологический материал и свидетельствует о времени гибели конкретного организма, он обычно не дает возможности установить, когда разделились линии эволюционного развития, ведущие к этому организму и родственным ему формам.

Очевидно, что использование прямого метода определения генеалогических расстояний между представителями ныне существующих линий развития и датировки времени дивергенции этих линий позволило бы с большей достоверностью реконстру-



ТУКАНОВИДНАЯ  
БОРОДАТКА (НОВЫЙ СВЕТ)



ЧЕРНОШЕЯЯ БОРОДАТКА  
(СТАРЫЙ СВЕТ)

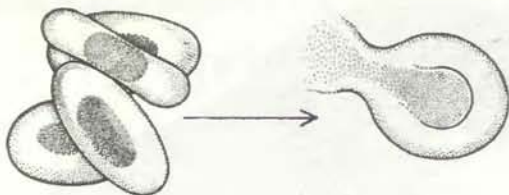


БОРОДАТКИ И ТУКАН изображены на ветвях дерева, символизирующего генеалогические связи между группами, к которым они принадлежат. Бородаток Нового Света, Африки и Азии обычно относят к одному семейству, а туканов — к другому. Путем сопоставления ДНК мы выяснили,

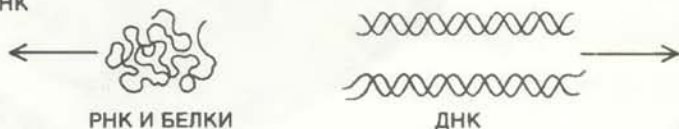
что, вопреки внешнему сходству, бородатки Нового Света ближе к туканам, чем к бородаткам Старого Света. Судя по различиям в ДНК, общий предок бородаток Африки, бородаток Нового Света и туканов жил примерно 55 млн. лет назад, а дивергенция последних произошла 30 млн. лет назад.



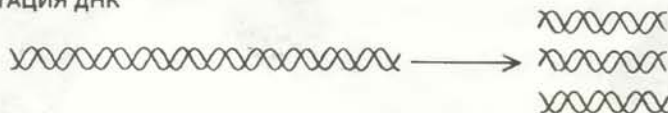
**a** ВЫДЕЛЕНИЕ  
ДНК ИЗ  
ЭРИТРОЦИТОВ



**b** ОЧИСТКА ДНК



**c** ФРАГМЕНТАЦИЯ ДНК



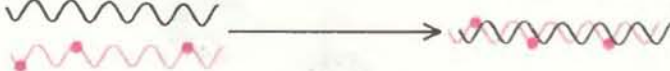
**d** ВЫДЕЛЕНИЕ УНИКАЛЬНЫХ  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДНК



**e** МЕЧЕНИЕ ДНК  
РАДИОАКТИВНЫМ ИОДОМ



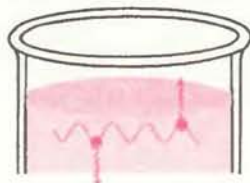
**f** ОБРАЗОВАНИЕ  
ГИБРИДНОЙ ДНК



**g** ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ ГИБРИДНОЙ ДНК



**h** ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
РАДИОАКТИВНОСТИ



ировать филогенез. Генетические связи между современными видами отражают их эволюционную историю. Поскольку генетические изменения по природе своей в основном дивергентные, генетические различия между любыми двумя линиями развития связаны с продолжительностью времени, прошедшего с того момента, когда существовал их общий предок. Исходя из этого, для воссоздания филогенеза птиц мы занялись изучением вещества наследственности.

**У** ВСЕХ организмов, за исключением некоторых вирусов, веществом наследственности является ДНК. Это полимерные двухнитевые молекулы, в которых каждая нить представляет собой цепь из последовательно соединенных мономеров, называемых нуклеотидами. Нуклеотиды бывают четырех типов. В со-

ГИБРИДИЗАЦИЯ ДНК. Прежде всего ДНК выделяют из клеток. Для опытов с ДНК птиц обычно берут эритроциты (у птиц в них есть ядра). Клетки разрушают (а) и ДНК отделяют от РНК и белков (b). Длинные молекулы ДНК расщепляют на фрагменты (c). Затем раствор ДНК быстро нагревают до кипения, в результате чего двухнитевые молекулы ДНК разъединяются на отдельные нити. При охлаждении раствора последовательности нуклеотидов, присутствующие в нем во многих копиях, реассоциируют быстрее, чем уникальные последовательности. Раствор реассоциировавшей ДНК пропускают сквозь колонку с гидроксиапатитом, который связывает двухнитевую и не связывает однонитевую ДНК (d). Большая часть повторяющихся последовательностей, образовавших двухнитевые молекулы, связывается с гидроксиапатитом, а фрагменты ДНК, содержащие уникальные последовательности, проходят свободно. Фракцию уникальных последовательностей ДНК метят радиоактивным изотопом иода (e) и смешивают с немеченой ДНК либо того же самого, либо какого-то другого вида. Смесь двух ДНК инкубируют 120 ч при 60 °С. При этом образуются гибридные молекулы ДНК, в которых одна нить мечена, а другая нет (f). Каждую такую гибридную ДНК помещают в колонку с гидроксиапатитом, которую затем нагревают в водяной бане с 55 до 95 °С. Температуру повышают постепенно «ступеньками» по 2,5°, и после каждого повышения однонитевые молекулы, образующиеся в результате частичного плавления гибридных молекул, смывают с колонки в отдельную пробирку (g). Определяют радиоактивность содержимого пробирок и по этим данным рассчитывают, какая часть гибридной ДНК плавится при данной температуре (h).



став каждого нуклеотида входит пятиуглеродный сахар, фосфатная группа и азотистое основание. Между собой нуклеотиды различаются только по азотистым основаниям, которых четыре: аденин (А), гуанин (Г), цитозин (С) и тимин (Т). По всей длине молекулы ДНК противоположащие основания двух нитей соединены водородными связями; причем связываются только комплементарные друг другу основания: А — с Т, а С — с Г. Генетическая информация закодирована в последовательности нуклеотидов. Специфические последовательности нуклеотидов составляют гены, которые ответственны за образование различных белков, формирующих большинство структур растительного или животного организма и обеспечивающих осуществление всех их функций.

В геноме (полном наборе генов) клетки большинство генов представлены одной последовательностью нуклеотидов. От 3 до 5% различных последовательностей в геномах высших организмов присутствуют в нескольких копиях. Такие повторяющиеся последовательности в целом могут составлять до 40% всей ДНК клетки.

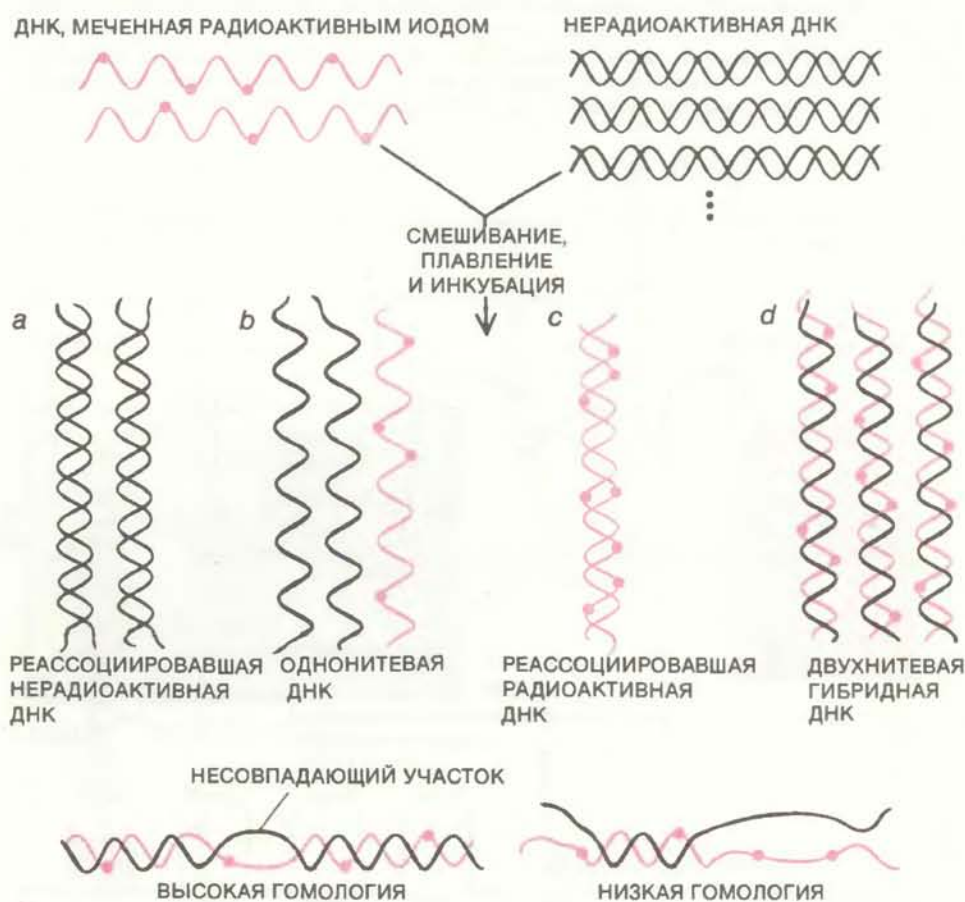
У птиц в геноме приблизительно 2 млрд. нуклеотидов. Метод гибридизации ДНК позволяет сопоставить эти гигантские наборы генов и количественно оценить генетические различия между современными видами. По таким оценкам воссоздается последовательность разветвлений филогенетического древа и путем соотношения выявленных генетических различий и шкалы времени вычисляется приблизительное время дивергенции дошедших до наших дней линий эволюционного развития.

В основе метода гибридизации лежат некоторые свойства молекул ДНК. Если раствор, содержащий двухнитевую ДНК, нагреть до кипения, то водородные связи между комплементарными основаниями «расплавятся», разорвутся, и молекулы ДНК разъединятся на отдельные нити. Водородные связи — это самые слабые связи в ДНК, и других изменений с ней при нагревании не происходит. При охлаждении раствора одиночные цепи начинают взаимодействовать случайным образом. Если во взаимодействующих цепях есть комплементарные последовательности нуклеотидов, то они соединяются с образованием двухнитевой молекулы по мере того как комплементарные нуклеотиды «узнают» друг друга и между ними возникают водородные связи. Когда воссоединение проходит при низкой температуре, то образуется двухнитевая ДНК (дуплекс), имею-

щая множество дефектов структуры из-за некомплементарности противоположащих нуклеотидов. Если же процесс идет при 60°C, то для стабильности дуплекса необходимо, чтобы более 80% нуклеотидов образовали правильные пары. При таких условиях одиночные нити ДНК будут связываться только с комплементарными партнерами, и в результате восстановится исходная структура ДНК.

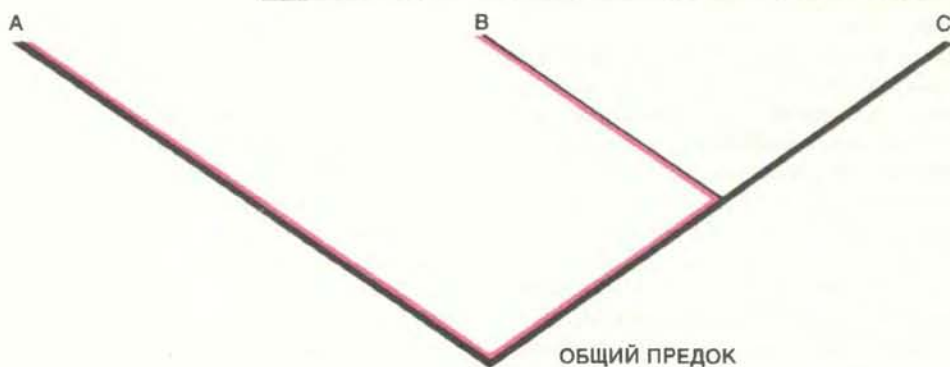
Если в одном растворе смешать одонитевые ДНК двух разных организмов и инкубировать их при 60°C, то гибридные дуплексы будут образовываться только из тех последовательностей нуклеотидов, между которыми имеется гомология, т. е. из участков ДНК, унаследованных от общего предка этих двух видов. Толь-

ко такие последовательности содержат достаточно комплементарных нуклеотидов, чтобы сформировались дуплексы, стабильные при 60 °С. В гибридных дуплексах будет некоторое количество неспаренных нуклеотидов, поскольку в ходе эволюции в двух линиях развития, после того как они произошли от общего предка, накапливались разного рода мутации. Так, А может оказаться напротив С, а Г — напротив Т, а между этими нуклеотидами никакие связи не образуются. Поскольку температура плавления дуплекса пропорциональна числу водородных связей между двумя половинами (нитями) молекулы, такие несовпадения приведут к тому, что гибридная ДНК будет плавиться при более низкой температуре, чем

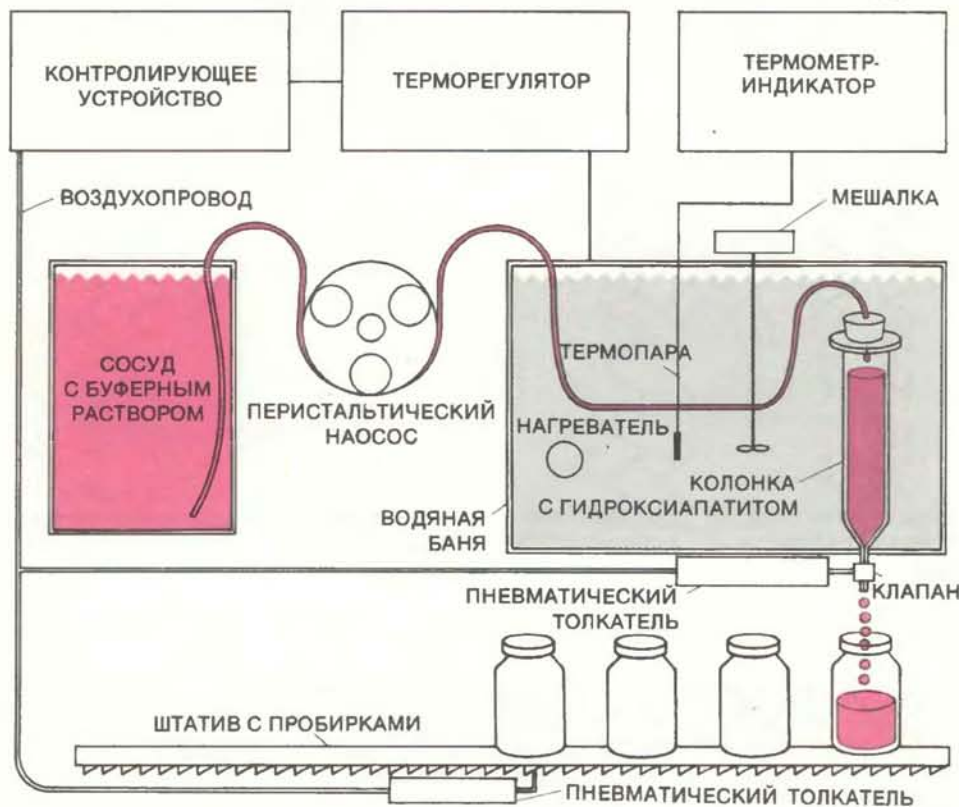


ГИБРИДНЫЕ МОЛЕКУЛЫ получают из небольшого числа меченных радиоактивным изотопом молекул ДНК и из взятых в тысячекратном избытке немеченных молекул ДНК того же либо какого-то иного вида (вверху). ДНК плавят, чтобы разъединить двухнитевые молекулы на отдельные нити и затем инкубируют в условиях, при которых одонитевые молекулы реассоциируют. Большая часть немеченой ДНК реассоциирует с немечеными комплементарными последовательностями (а). Поскольку образующиеся при этом молекулы нерадиоактивны, они не дают вклад в результаты последующего определения радиоактивности. Некоторые из одонитевых молекул вообще не реассоциируют (b), а приблизительно 1% меченных молекул реагирует с такими же мечеными молекулами (с). Из части ДНК получают гибридные двухнитевые молекулы, состоящие из одной меченой и одной немеченой нити (d). В гибридах из ДНК двух разных видов доля нуклеотидов, комплементарных противоположащим нуклеотидам другой нити, зависит от степени родства этих видов. Чем ближе родство между видами, тем выше степень гомологии их ДНК (т. е. тем более сходны нуклеотидные последовательности), тем более комплементарны друг другу нити в гибридной молекуле ДНК. А значит, тем большим числом связей они соединены и тем выше температура плавления.





**ТЕСТ НА ОТНОСИТЕЛЬНУЮ СКОРОСТЬ** подтверждает, что у разных видов ДНК изменялась в ходе эволюции с одинаковой средней скоростью. Тест пригоден для тех случаев, когда о трех сопоставляемых видах известно, что два гораздо ближе друг к другу (B, C), чем каждый из них — к третьему (A). Если провести гибридизацию ДНК из двух родственных видов порознь с ДНК третьего вида, то температура плавления полученных гибридных молекул будет одинаковой (в пределах ошибки опыта). Это говорит о том, что число неспаренных нуклеотидов в гибридных ДНК одинаково. Иными словами, генетическое расстояние между видами A и B (цветное) равно генетическому расстоянию между видами A и C (серое). Поскольку время, прошедшее с момента существования общего с видом A предка, для видов B и C одно и то же, можно сделать вывод, что средняя скорость накопления изменений в ДНК у видов B и C была равной.



**ПРИБОР ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИБРИДИЗАЦИИ ДНК** позволяет анализировать 25 гибридов одновременно. Синхронность работы отдельных узлов прибора контролируется специальным устройством. Терморегулятор следит за температурой в водяной бане, в которой находится 25 колонок с гидроксипатитом. В них вводят образцы гибридных ДНК. Порция сжатого воздуха, подаваемая по команде контролирующего устройства, передвигает штатив с пробирками под колонки. Клапаны в нижней части колонок открываются, и буферный раствор, закачиваемый в колонки перистальтическим насосом, смывает в пробирки однонитевые молекулы ДНК, образовавшиеся при плавлении гибридных двухнитевых ДНК. Затем клапаны закрываются, и нагреватель повышает температуру водяной бани на 2,5°, после чего контролирующее устройство дает новый сигнал, и весь цикл повторяется. Когда завершится последний цикл, определяют количество радиоактивной ДНК в каждой пробирке и по этим данным рассчитывают, какая часть каждого из изучаемых гибридов плавится при устанавливавшихся значениях температуры.

двухнитевая ДНК, в которой спарены все нуклеотиды.

**Д**ЛЯ гибридизации ДНК выделяют из ядер клеток и очищают от примесей белков и других содержащихся в клетках веществ. Длинные молекулы дробят на фрагменты длиной приблизительно 500 нуклеотидов. Большую часть повторяющихся последовательностей из препаратов ДНК видов, которые предполагается сопоставить, удаляют, а остающиеся уникальные последовательности метят радиоактивным изотопом иода. Небольшое количество радиоактивной ДНК (называемой трейсером, или метчиком) смешивают с гораздо большим количеством немеченой ДНК (называемой драйвером, или носителем) этого же вида. Тот же метчик добавляют и к ДНК-носителям других видов. В каждой смеси образуются дуплексы своего типа: либо гомодуплексы, если метчик и носитель — это ДНК одного вида, либо гетеродуплексы, в которых две нити ДНК принадлежат разным видам. Гомодуплексы используют в качестве стандарта, с которым затем, при определении температуры плавления сопоставляют различные гетеродуплексы.

На следующем этапе растворы, содержащие смеси метчика и носителей, нагревают в кипящей водяной бане 5 мин, чтобы двухнитевые молекулы распались на отдельные нити. Затем создают условия для воссоединения одиночных нитей в дуплексы: смесь инкубируют 120 ч при 60 °С в натрий-фосфатном буферном растворе. Каждый из полученных гибридов наносят на отдельную колонку с гидроксипатитом (это одна из форм фосфата кальция, которая способна связывать двухнитевую ДНК, но не связывает однонитевую). Колонки помещают в водяную баню при 55 °С, а затем температуру повышают ступенчато (по 2,5°) до 95 °С. На каждой из 17 «ступенек» этого процесса однонитевую ДНК, появляющуюся в результате плавления дуплексов, смывают с каждой колонки в отдельную пробирку. Определяют радиоактивность содержимого каждой пробирки, и по этим данным — долю расплавившегося гибрида. Результаты выражают графически, строя кривую плавления ДНК: зависимость количества расплавившегося гибрида от температуры. Средняя разница между кривой для гомодуплексов и каждой кривой для гетеродуплексов (в градусах) есть мера усредненных генетических различий между видом, от которого взят метчик, и видами, с носителями от которых этот метчик гибридизовали.

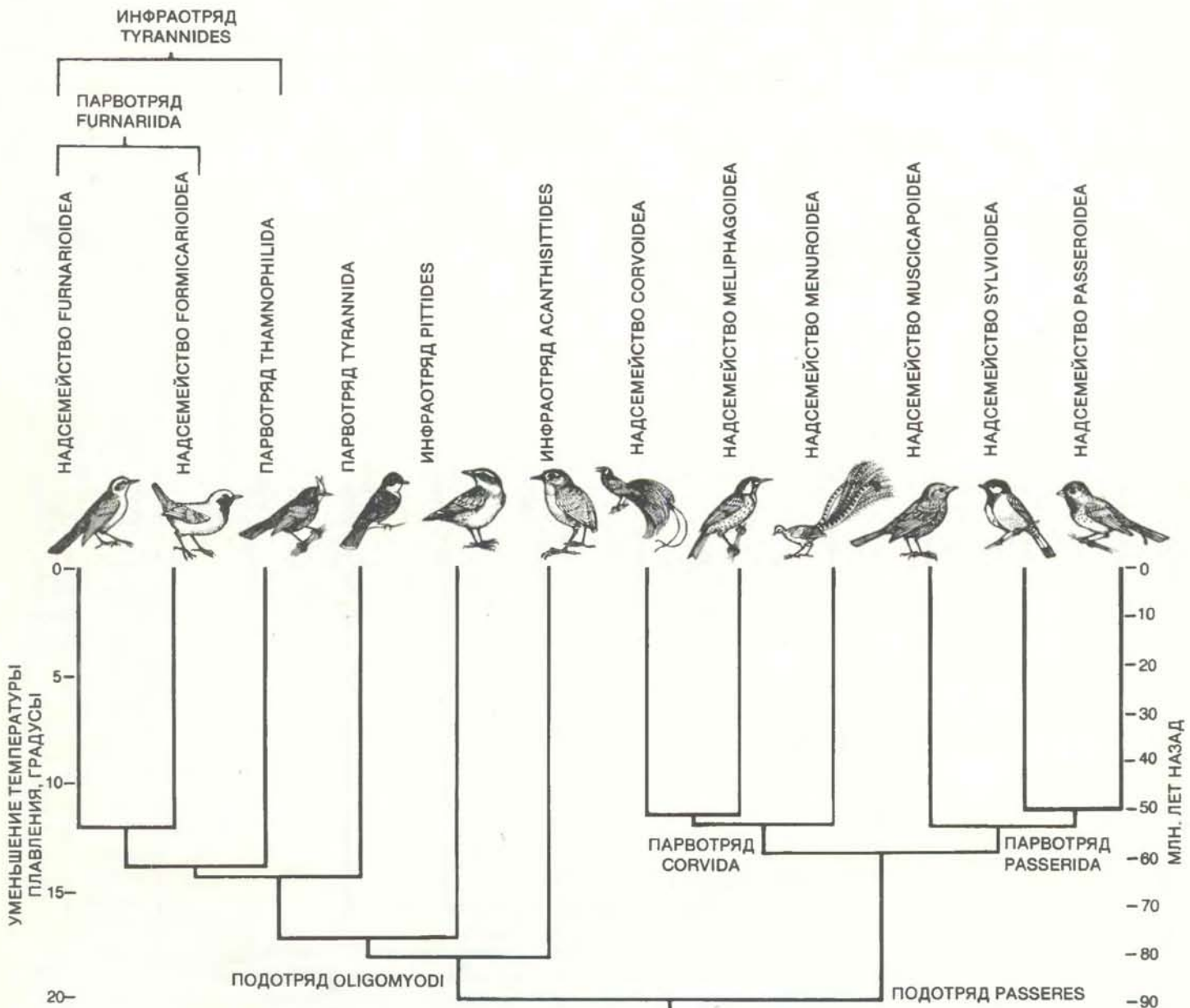


Различия между ДНК двух видов могут служить мерилем генеалогического расстояния между ними только в том случае, если предположить, что средняя скорость изменения ДНК во всех линиях эволюционного развития была одинаковой. В 1962 г. Э. Цукеркандль и Л. Полинг, работавшие в то время в Калифорнийском технологическом институте, выдвинули гипотезу, согласно которой белки эволюционируют с постоянной скоростью. Их гипотеза «молекулярных часов» до сих пор является предметом дискуссий.

Мы установили, что во всех линиях развития птиц «часы» ДНК идут с одной и той же средней скоростью. К

такому выводу мы пришли, применив метод, известный под названием «тест на относительную скорость», предложенный в 1967 г. В. Саричем и А. Вилсоном (Калифорнийский университет в Беркли). Этот метод позволяет сравнить между собой любые три вида, относительно двух из которых известно, что они ближе друг к другу, чем каждый из них к третьему виду. ДНК третьего вида, наиболее отдаленного, берется в качестве метчика, а двух первых — в качестве носителей и определяются генетические расстояния между видами по температуре плавления гибридных ДНК. Оказывается, что у птиц генетические

расстояния между третьим, наиболее отдаленным видом и каждым из двух других всегда равны в пределах точности метода. Поскольку оба вида, от которых брали ДНК-носитель, отстоят от общего предка на один и тот же промежуток времени, что и вид, от которого брали ДНК-метчик, то это значит, что ДНК-носители обоих видов изменялись с одной и той же средней скоростью. Воссозданная нами картина филогенеза современных птиц построена на результатах изучения нескольких тысяч таких троек видов — все они однозначно говорили о том, что у птиц средняя скорость хода «часов» ДНК была постоянной.



ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ДРЕВО воробьиных, к числу которых относится 5300 из 9000 видов современных птиц. Оно построено на основании результатов сопоставления ДНК. Для каждого разветвления древа величины по левой оси ординат показывают, на сколько средняя температура плавления гибридных молекул, образованных из ДНК видов, принадлежащих к данным двум линиям развития, меньше температуры плавления гибридных молекул, в ко-

торых нити полностью комплементарны. На правой вертикальной оси — шкала времени. На этой схеме не все соответствует общепринятой классификации современных птиц. Так, в подотряде Oligomyodi, к которому принадлежит большинство воробьиных Южной Америки, наземные виды муравьеловок попадают в совсем иную группу, чем типичные муравьеловки. В подотряде Passeres выделены две различные группы — парвотряды Corvida и Passerida.



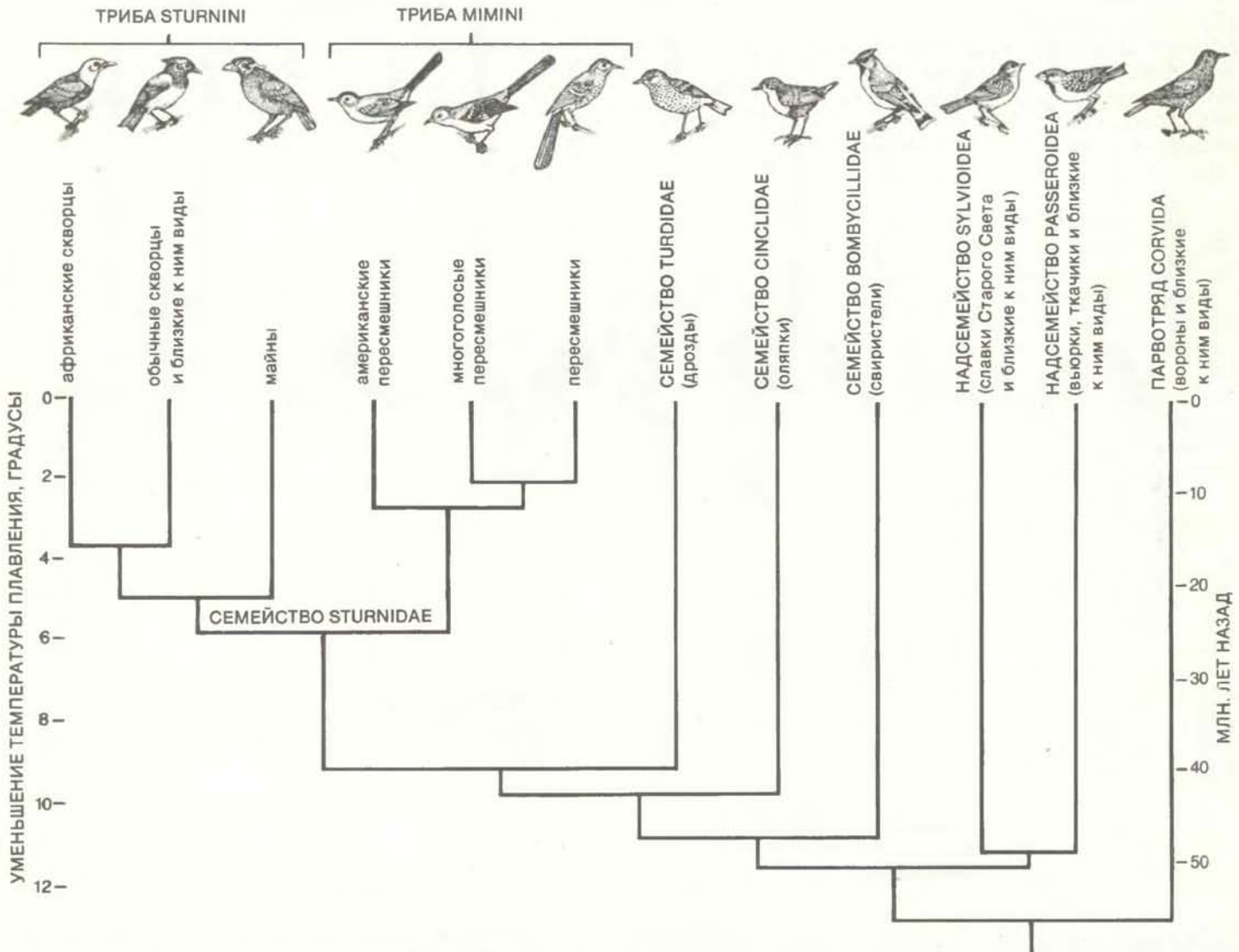
На первый взгляд такое очевидное постоянство кажется чудом (или нелепостью), но на самом деле оно может быть естественным следствием накопления различий в последовательностях из миллиардов нуклеотидов за миллионы лет эволюции. Под действием естественного отбора разные гены изменяются с неодинаковой скоростью. Кроме того, скорость эволюции данного гена с течением времени может меняться, но границы этой изменчивости для всех генов вместе довольно узкие, а число генов в геноме у птиц огромно. Когда эволюция одного гена ускоряется, то по законам статистики эволюция другого, вероятнее всего, в той же мере замедлится. Такое противонаправленное изменение скоростей эволюции разных генов не обязательно должно быть одновременным: видимое постоянство скорости есть результат усреднения за

миллионы лет. Вне зависимости от того, каково правильное объяснение этого явления, можно считать установленным, что у птиц ДНК эволюционировала с одинаковой средней скоростью.

Поскольку неспаренные нуклеотиды в гибридных ДНК — это следствие генетических изменений, которые зафиксировались в двух линиях развития после разветвления их общего ствола, число таких несовпадений пропорционально времени дивергенции линий. Поэтому средняя температура плавления гибридной молекулы ДНК косвенно отражает продолжительность времени, прошедшего с момента разделения линий. Сопоставляя средние температуры плавления гибридных ДНК с датированным геологическим событием, которое вызвало разделение предкового вида и появление независимых линий разви-

тия, можно откалибровать «часы» ДНК по шкале абсолютного времени.

Так, мы предположили, что общий предок настоящих страусов Африки и страусов-нанду Южной Америки был распространен по всему протоконтиненту Гондване еще до того, как механизмы дрейфа разорвали его, и в меловой период образовались нынешние южные континенты, а также современный Атлантический океан. Геологические данные свидетельствуют, что Атлантика стала непреодолимым барьером для нелетающих животных около 80 млн. лет назад. Значит, линия настоящих страусов и линия нанду должны были разойтись примерно в это время. Если разделить 80 млн. лет на разницу между средними температурами плавления гетеродуплексов ДНК страус-нанду и гомодуплексов страус-страус или



СКВОРЦЫ И ПЕРЕСМЕШНИКИ занимают, по-видимому, близкие ветви филогенетического дерева. Скворцов (триба Sturnini) раньше считали родственниками ворон, а пересмешников (триба Mimini) — родственниками дроздов. Если бы такая классификация была верной, то предковый

вид, давший начало и тем и другим птицам, должен был существовать 60 млн. лет назад. Анализ ДНК свидетельствует о том, что скворцы и пересмешники находятся в тесном родстве и дивергировали около 25 млн. лет назад. Обе группы птиц семейства Sturnidae родственны дроздам.

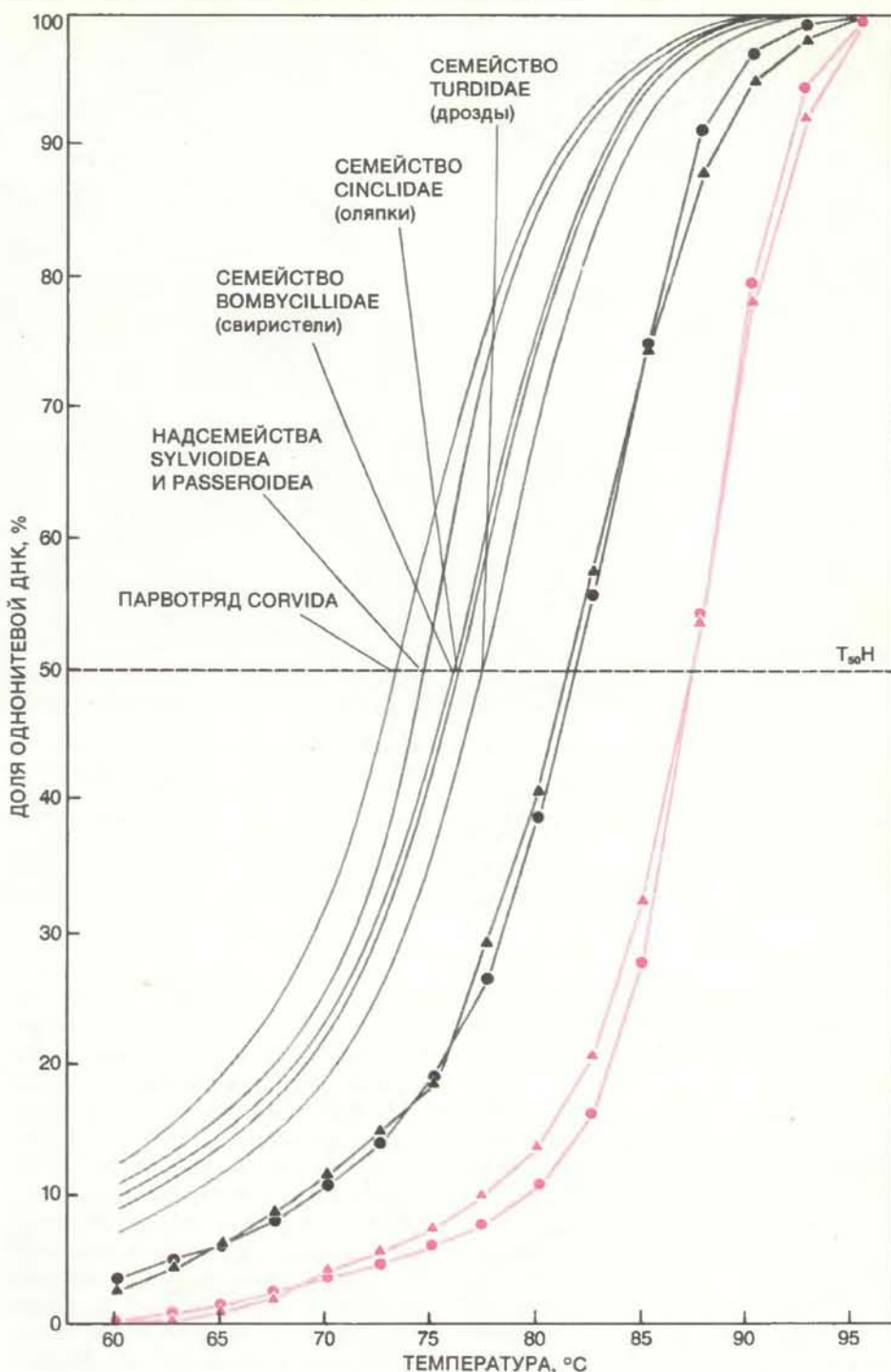


нанду-нанду, то получится калибровочный коэффициент, имеющий размерность «миллионы лет дивергенции на 1° уменьшения средней температуры плавления ДНК».

Руководствуясь палеонтологической летописью, мы датировали семь разветвлений филогенетического древа птиц, вызванных тремя геологическими событиями, из которых два произошли около 80 млн. лет назад, а третье — около 40 млн. лет назад. Для каждого из семи случаев мы получили значения калибровочного коэффициента от 4,3 до 4,7 (в среднем 4,5). Таким образом, уменьшение средней температуры плавления на 1° эквивалентно промежутку времени 4,5 млн. лет с момента, когда существовал самый последний, т. е. наиболее близкий к нашему времени, общий предок двух видов. Конечно, величина этого коэффициента, вычисленная по результатам наших опытов, может быть впоследствии уточнена, но мы пользуемся ею для приблизительной оценки времени дивергенции.

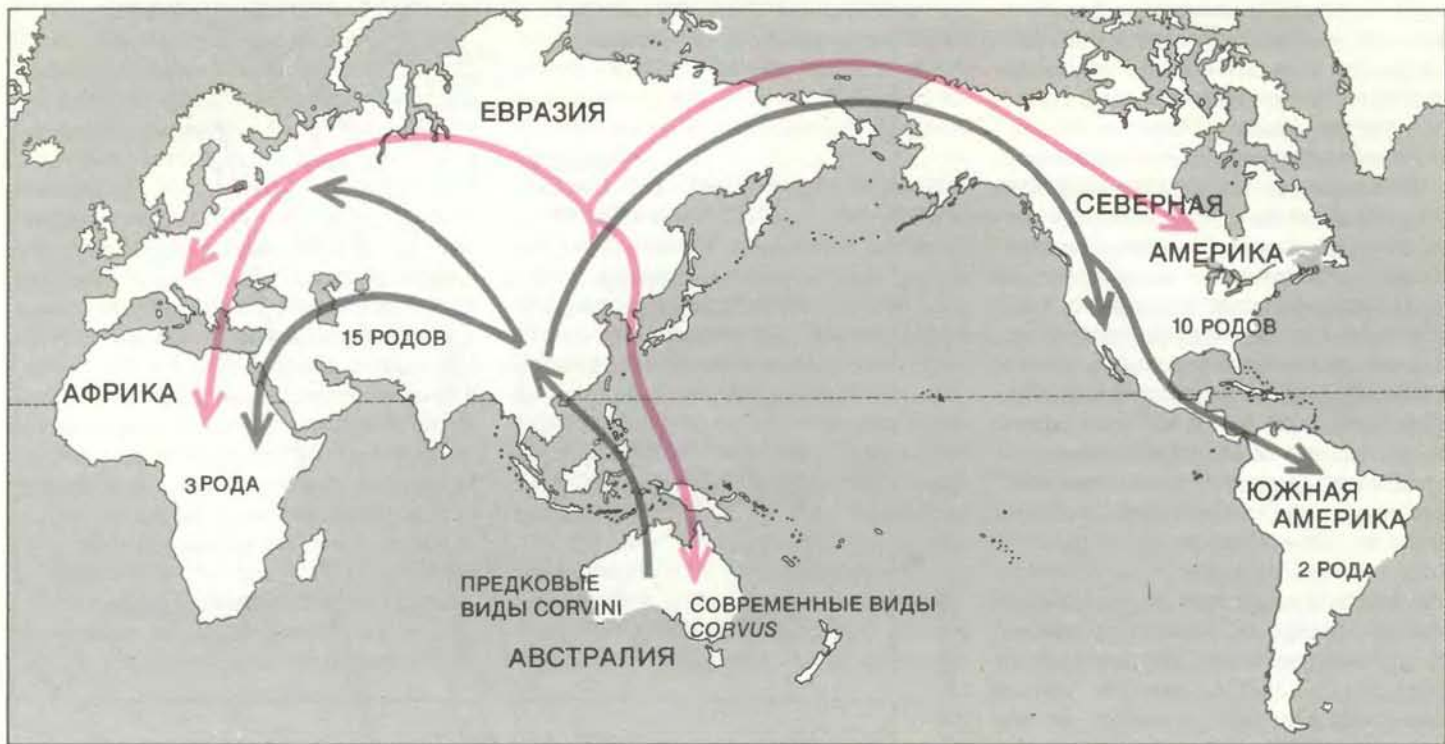
За последние десять лет мы провели более 25 тыс. опытов по сопоставлению ДНК методом гибридизации. Были проанализированы ДНК около 1600 видов птиц, которые являются представителями 168 из 171 общепринятых современных их семейств. По результатам этой работы мы воссоздали картину филогенеза большинства групп птиц. Примеры, которые я приведу далее, покажут, какие проблемы мы решали и к каким пришли выводам на основании данных гибридизации ДНК.

**БОРОДАТКИ** — это мелкие, как правило, яркоокрашенные птицы; у основания относительно большого клюва у них располагается пучок нитевидных перьев. Бородатки Старого Света живут в Африке и Южной Азии, а виды Нового Света — в тропиках Центральной и Южной Америки. По традиции бородаток относили к семейству Capitonidae. Считалось, что они состоят в родстве с дятлами (Picidae) и большеклювыми, питающимися фруктами туканами (Ramphastidae) тропиков Нового Света. Многие систематики отмечали, что некрупные туканы и крупные бородатки Нового Света морфологически сходны, а результаты двух недавно выполненных исследований отчетливо выявили тесное родство между бородатками и туканами. В 1984 г. Ф. Бёртон (Британский музей естественной истории), изучая головы птиц, сделал вывод, что «имеются все основания считать туканов специализированной группой бородаток, которая возникла и широко распространилась



КРИВЫЕ ПЛАВЛЕНИЯ ГИБРИДНЫХ МОЛЕКУЛ ДНК иллюстрируют различия между ДНК скворцов и пересмешников, а также между ДНК этих и ряда других птиц. По оси абсцисс отложена температура, до которой нагревали раствор с гибридными молекулами. По оси ординат — относительное количество ДНК, расплавившейся при данном значении температуры с образованием односторонних молекул. Цветом выделены кривые плавления гибридных молекул ДНК, в которых обе нити были одного вида: длинноклювого пересмешника, близкого родича многоголосого пересмешника (кружки), либо блестящего скворца (треугольники). Черные кривые соответствуют гибридным ДНК: длинноклювого пересмешника и различных скворцов (кружки), блестящего скворца и различных пересмешников (треугольники). Остальные графики — это усредненные кривые плавления гибридов, в которых одна из нитей представляет собой ДНК скворца или пересмешника, а другая — птицы из группы, указанной на рисунке. В качестве показателя для сравнения используется температура, при которой плавится половина гибридной ДНК (T<sub>50H</sub>). Чем ниже T<sub>50H</sub> рассматриваемого гибрида, тем менее комплементарны составляющие его нити ДНК и, следовательно, тем дальше друг от друга отстоят сравниваемые виды.





РАССЕЛЕНИЕ ПТИЦ трибы Corvini (в нее входят вóроны, ворóны, сойки, сороки и их родичи) показано на карте серыми стрелками. Методом гибридизации ДНК установлено, что Corvini является частью большой группы птиц, возникшей в Австралии. Число родов Corvini на каждом из континентов отражает порядок, в котором они были заселены этими птицами после того, как их предки переправились

из Австралии в Азию приблизительно 30 млн. лет назад. Наибольшее число родов найдено в Азии, а наименьшее — в Южной Америке, в которую Corvini попали всего 3—5 млн. лет назад. Род *Corvus* (вóроны, ворóны, грачи) сложился в Азии, расселился в Африку и Северную Америку (цветные стрелки) и лишь сравнительно недавно, в последние 100 тыс. лет распространился в Австралию.

в Южной Америке». К такому же заключению пришел в 1985 г. Л. Шорт (Американский музей естественной истории).

Результаты сопоставления ДНК согласуются со взглядами Бёртона и Шорта и позволяют нам дополнить их временной шкалой. Из опытов с ДНК следует, что расхождение ветвей, ведущих к бородачкам Старого и Нового Света, произошло приблизительно 55 млн. лет назад. Туканы отделились от бородачек Нового Света позднее, около 30 млн. лет назад. Таким образом, туканы ближе к бородачкам Нового Света, чем две группы бородачек друг к другу. Мы предложили новую схему классификации:

#### Отряд Piciformes

##### Парвотряд Picida

Семейство Picidae (дятлы)

Семейство Indicatoridae (медоуказчики)

##### Парвотряд Ramphastida

Надсемейство Megalaimoidea

Семейство Megalaimidae (бородачки Старого Света)

Надсемейство Ramphastoidea

Семейство Ramphastidae

Подсемейство Ramphastinae (туканы)

Подсемейство Capitoninae (бородачки Нового Света)

Наша классификация основана на картине ветвления филогенетического древа и датировке образования групп по результатам сопоставления ДНК. Мы разделили эволюционную шкалу времени на отрезки по 10 млн. лет и соотнесли каждый из отрезков с определенной таксономической категорией. Отряды по нашей шкале — это те линии развития, которые отделились от других линий 90—100 млн. лет назад, а подотряды — линии, обособившиеся 80—90 млн. лет назад. Инфраотряды возникли 70—80 млн. лет назад, парвотряды — от 60 до 70, надсемейства — от 50 до 60, семейства — от 40 до 50, подсемейства от 30 до 40 и трибы — от 20 до 30 млн. лет назад. При этом, в частности, получается, что в группах одного таксономического ранга степень дивергенции составляющих их видов примерно одинакова. Временные границы, которые мы предлагаем, не жесткие, они просто дают основу для создания систем классификации, в которых учтены особенности картины филогенеза, реконструированной по данным сопоставления ДНК, и в которых мы приближаемся к идеалу — выделяем эквивалентные категории.

Вопрос о том, как классифицировать организмы, не нашел еще окончательного ответа. Некоторые систе-

матики предпочитают судить о ранге таксона по результатам изучения степени морфологической специализации групп. Если исходить из этого, то две группы бородачек следует поместить в одно семейство, а туканов — в другое семейство или же надсемейство. В подобных системах упор делается на различия во внешнем облике птиц, но они не отражают в должной мере их филогенетические отношения. В одной из таких традиционных систем, широко сегодня используемой, бородачки и некоторые другие группы птиц классифицируются следующим образом:

#### Отряд Piciformes

##### Подотряд Galbulae

Надсемейство Galbuloidea

Семейство Galbulidae (бормотушки, якамары)

Семейство Bucconidae (ленивки)

Надсемейство Capitonoidea

Семейство Capitonidae (бородачки)

Семейство Indicatoridae (медоуказчики)

Надсемейство Ramphastoidea

Семейство Ramphastidae (туканы)

##### Подотряд Pici

Семейство Picidae (дятлы)

Такая классификация противоречит результатам изучения ДНК не только



туканов и бородач. Из анализа ДНК следует, что якамары и ленивки Нового Света должны быть отнесены к отдельному отряду — иному, чем *Piciformes*. Подобных поводов для спора немало, так что дискуссия о том, на каких основах классифицировать растения и животных, вряд ли скоро закончится.

Грифы Старого Света находятся в тесном родстве с соколами и орлами. Грифы Нового Света, включая кондоров, грифов-индеек и черных грифов, внешне очень похожи на грифов Старого Света. И те и другие являются птицами-падальщиками (трупоедами), и их обычно относят вместе к отряду *Falconiformes* — дневным хищным птицам. Однако грифы Нового Света по многим морфологическим признакам сходны с аистами, и некоторые систематики высказывали предположение, что грифы Нового Света и аисты принадлежат к одному отряду. Такую гипотезу в 1870 г. выдвинул А. Гаррод, а в 1967 г. ее поддержал Д. Лайгон, работавший тогда в Мичиганском университете. Однако в новейших системах сходство кондоров с аистами во внимание не принимается, и кондоров вместе с близкими им видами упорно относят к *Falconiformes*.

Результаты сопоставления ДНК согласуются с теми морфологическими наблюдениями, из которых следует, что из числа современных птиц грифы Нового Света являются наиболее близкими родственниками аистов. Эти данные свидетельствуют, что они дивергировали от общего предка 35—40 млн. лет назад. Внешнее сходство между грифами Старого и Нового Света возникло в результате конвергентной эволюции из-за сходства в характере питания (и те и другие едят падаль).

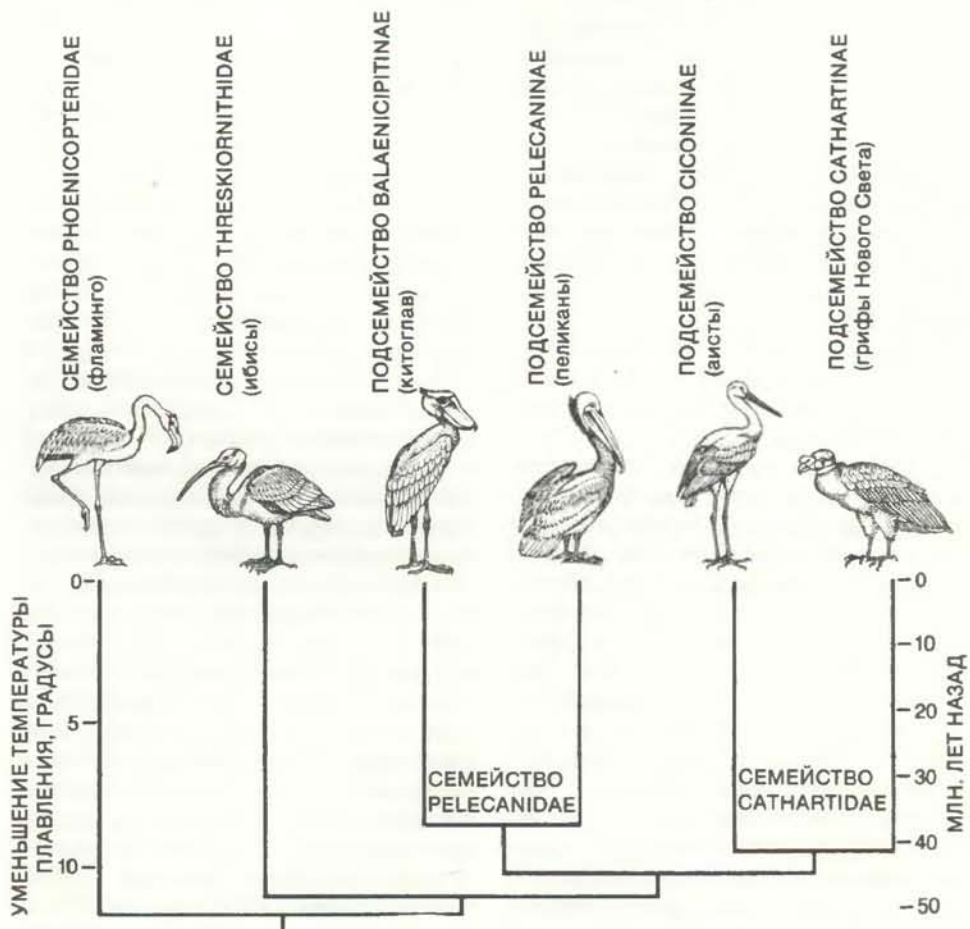
К веслоногим относят птиц с перепонками между всеми четырьмя пальцами ног: это пеликаны, бакланы, анхинги (змеешейки), олуши разных видов, фрегаты и фазтоны. У всех, за исключением фазтонов, есть хорошо выраженный мешок, или горловой «зоб», располагающийся между ветвями нижней челюсти. У фазтонов горловой «зоб» небольшой и менее заметный. Главным образом из-за наличия этих двух признаков всех веслоногих объединяли в одну группу — отряд *Pelecaniformes*, хотя неоднократно высказывалось мнение, что фазтоны и фрегаты ближе к совсем иной группе видов.

По-видимому, еще один вид, китоглав, является членом той же группы. Китоглав — крупная, похожая на аиста птица с большим клювом; живет она на болотах Восточной Африки и

питается двоякодышными рыбами и другими водными животными. Китоглава обычно рассматривали как родственника либо аистов либо цапель, но в 1957 г. П. Коттам, работавшая тогда в Британском музее, исследовала скелет китоглава и показала, что он ближе всего к пеликанам. Выводы Коттам не были приняты во внимание большинством систематиков: они сочли, что причина сходства заключается в конвергентной эволюции. Но наши результаты изучения ДНК говорят в пользу Коттам. Китоглав и пеликаны дивергировали 35—40 млн. лет назад. Ближайшая к пеликанам и китоглаву группа, как выяснилось, — аисты и грифы Нового Света. Эти две группы дивергировали 40—45 млн. лет назад.

Но сюрпризы не кончились. Опыты с ДНК показали, что общепринятый отряд *Pelecaniformes*, к которому относят веслоногих, — это полифилетическая группа видов. Его можно раз-

делить на ряд подгрупп, которые более родственны другим группам птиц, чем между собой. Пеликаны ближе всего к китоглаву, аистам и кондорам. Бакланы, змеешейки и олуши могут быть объединены вместе: они дальние родственники цапель. Фрегаты — родственники морских трубконосых птиц (альбатросов и буревестников), а фазтоны — представители совсем особой линии развития, близких родичей им среди нынешних птиц нет. Из всего этого следует, что лапы с перепонками и «зобы» в разных линиях развития либо возникли в результате конвергентной эволюции, либо были унаследованы от существовавшего когда-то давно общего предка нескольких групп птиц. У его потомков, не обладающих этими признаками, их генетическая основа, вероятно, находится в «молчащем» состоянии. Такие «молчащие» гены известны для ряда групп птиц и других животных.



АИСТЫ И ГРИФЫ Нового Света — ближайшие друг другу родственники. Это следует из результатов сопоставления их ДНК. Внешне грифы Нового Света (к которым относятся кондоры) напоминают грифов Старого Света. Однако это сходство, скорее всего, есть следствие конвергентной эволюции. На самом деле грифы Старого Света принадлежат к совсем иной группе птиц. Опыты с ДНК показали, что пеликаны и обитающий в Африке китоглав являются близкими родственниками аистов и кондоров; на филогенетическом древе соответствующие им ветви расположены рядом. Анализ ДНК подтвердил также тесное родство китоглава и пеликанов.



Полифилетические группы линий эволюционного развития птиц выявлялись и ранее. В некоторых из первых систем классификации всех птиц с перепонками между передними тремя пальцами лап группировали вместе. Со временем, однако, стало ясно, что не все такие птицы (к их числу принадлежат утки, альбатросы, пингвины, гагары, чайки и чистики) являются близкими родственниками, и их отнесли к нескольким разным группам. Что же касается веслоногих (и наличие «зоба» здесь служило дополнительным доказательством), то казалось крайне маловероятным, что они не принадлежат к одной монофилетической группе видов, т. е. к такой группе, все члены которой имеют одного и того же последнего общего предка.

Недавно Дж. Кракрафт (Медицинский центр Иллинойского университета, Чикаго) сопоставил 45 признаков скелета и 7 поведенческих признаков у веслоногих птиц, пингвинов, гагар, поганок, альбатросов, буревестников и китоглава. Он нашел, что результаты анализа 12 признаков подтверждают его гипотезу, согласно которой веслоногие являются монофилетической группой, а 6 признаков свидетельствуют, что альбатросы с буревестниками представляют собой отдельную группу, которая формировалась параллельно основной линии веслоногих, но близка к ней. Фазтоны возникли в итоге эволюции самостоятельной линии, отличной от прочих веслоногих, а фрегаты — это потомки древнейшей линии, от которой после них одна за другой ответвились линии развития, давшие пеликанов, олуш, змеешеек и бакланов.

Кракрафт решительно отверг гипотезу о родстве китоглава и веслоногих; сходство китоглава с пеликанами он считает конвергентным. Между выводами, сделанными Кракрафтом на основании изучения морфологии, и результатами сопоставления ДНК есть явное несогласие, главным образом в оценке степени родства пеликанов и китоглава и положения пеликанов относительно других групп веслоногих. Но многое совпадает: признается близость веслоногих (особенно фрегатов) к альбатросам и буревестникам, особое положение фазтонов и тесное родство олуш, змеешеек и бакланов.

Мало надежды, что основанные на результатах сопоставления ДНК доказательства полифилетической природы отряда Pelecaniformes будут в ближайшее время приняты большинством орнитологов. И все же мы думаем, что должным образом проведенные сравнительно-морфологи-

ческие исследования дадут результаты, подобные полученным Коттам в 1957 г. и согласующиеся с результатами изучения ДНК.

**Р**ЯБКИ живут в засушливых районах Африки, Азии и южной Европы. Эти птицы внешне похожи и на голубей, и на ржанок. Споры о степени их родства с другими группами птиц ведутся уже более ста лет: к кому же они на самом деле ближе — к голубям, ржанкам или куриным (к которым относятся куры, фазаны и родственные им виды)? Доводы приводились в пользу каждой из трех групп, но в последнее время все чаще говорили о родстве рябок с ржанками или же с голубями.

Опыты с ДНК дали однозначный ответ: рябки близкородственны большей части видов из отряда Charadriiformes, к числу которых принадлежат лопатоклювы, авдотки, ржанки, кулики-сороки, шилоклювки, ходулочники, чайки, чистики и бегунки. Рябки и группа перечисленных видов в свою очередь наиболее близки к мелким куликам-песочникам и сходным с ними птицами. Таким образом, рябки — это и не голуби, и не ржанки, но они ближе к последним, чем к первым. Сходство между рябками и голубями возникло, вероятно, в результате конвергентной эволюции.

Приблизительно 5300 из 9000 современных видов птиц принадлежит к отряду Passeriformes. В него входят мухоловки, славки, дрозды, воробьи, скворцы, крапивники, ласточки, жаворонки, вороны и другие птицы, в основном мелкие. Большинство воробьиных Южной Америки относится к подотряду Oligomyodi, известному также под названием «suboscines». По строению нижней гортани (головового аппарата) и другим анатомическим признакам они отличаются от истинных певчих птиц («oscines»), которые образуют подотряд Passeres, другую ветвь Passeriformes. Эволюционное развитие певчих птиц Нового Света (suboscines) шло в Южной Америке в то время, когда она представляла собой изолированный от всего мира островной континент — начиная от позднего мелового периода (80 млн. лет назад) и вплоть до сравнительно недавнего времени (около 5 млн. лет назад).

Один из «уроков эволюции», который дают нам певчие птицы Нового Света, — это история тропических муравьеловок — группы из приблизительно 235 видов, которых обычно относили к семейству Formicariidae. В начале 1960-х годов М. Хеймердингер Кленч и П. Эймс (Йельский университет) показали, что у муравьеловок

некоторых видов на заднем крае грудины (грудной кости) есть две глубоких выемки. У других видов таких выемок четыре. Эймс также обнаружил, что эти две группы видов отличаются друг от друга строением мышц нижней гортани. Притом 185 видов с двумя выемками живут в самых разных условиях, а 50 видов с четырьмя выемками — длинноногие, короткохвостые птицы, ведущие наземный образ жизни. Хеймердингер Кленч и Эймс обратили внимание, что виды с четырьмя выемками на грудины есть еще в двух семействах — среди тапаколо (сем. Rhinocryptidae) и мошкоедов (сем. Conoprophagidae). Они предположили, что наземные муравьеловки ближе к мошкоедам и тапаколо, чем к другим муравьеловкам.

Опыты с ДНК выявили именно такие взаимосвязи. Они показали, что муравьеловки с двумя выемками на грудины отделились от линии, давшей птиц с четырьмя выемками, до того, как муравьеловки с четырьмя выемками отошли от тапаколо и мошкоедов. Как видим, результаты морфологического анализа согласуются с данными о строении молекул. Кроме того, на основании изучения ДНК был установлен порядок ветвления и приблизительное время расхождения линий эволюционного развития.

**Д**РУГАЯ ветвь, подотряд Passeres, включает около 4000 из 5300 видов воробьиных. Опыты по сопоставлению ДНК показали, что воробьиных можно разделить на две основные группы; мы назвали их парвотрядами — Passerida и Corvida. Эти две линии эволюционного развития дивергировали от общего предка 55—60 млн. лет назад. Судя по всему, Passerida появились и эволюционировали в Африке, Евразии и Северной Америке, а Corvida — в Австралии.

Приблизительно 30—60 млн. лет назад, в ранний и средний третичный период Австралия изолировалась от остальных материков. Эволюция Corvida дала там множество морфологически и экологически специализированных форм, к числу которых относятся славки и древесницы, мухоловковые и тиранновые, пищухи, дрозды, кустарницы (тималиевые) и гавайские цветочницы. Во многом эти виды птиц сходны с теми, которые образовались в ходе эволюции Passerida в других частях света. Птицы Австралии были открыты и получили свои названия после того, как европейские орнитологи уже составили классификацию большинства видов птиц из прочих районов мира. Казалось, что австралийские воробьиные



вполне могут быть отнесены к группам, сформированным на основании изучения птиц из других районов. Так, похожие на славков птицы были причислены к *Sylviidae* (которые включают истинных славков), австралийские мухоловки — к *Muscicapidae* (афроазиатским мухоловкам), а пищухи — к *Certhiidae* (евроазиатские и американские пищухи). Ситтеллы, похожие на поползней, попали в семейство *Sittidae* (поползневые), а австралийских медоедов объединили вместе с похожими на них на первый взгляд афроазиатскими нектарницами, питающимися нектаром.

Когда мы сопоставили ДНК различных воробьиных Австралии, а также ДНК австралийских видов и их предполагаемых родственников из Африки, Евразии и Северной Америки, оказалось, что эндемичные виды Австралии гораздо ближе друг к другу, чем к морфологически сходным птицам с других континентов. Конвергентная эволюция привела к сходству между неродственными видами из двух парвотрядов, и систематики, работавшие на музейном материале, объединили виды в полифилетические группы, включающие представителей и *Corvida* и *Passerida*. Та же ошибка была допущена и в отношении большинства из 400 видов воробьиных Австралии и Новой Гвинеи. Во многих из этих случаев конвергентная природа сходства так хорошо замаскирована, что истинную степень родства между *Corvida* и *Passerida*, видимо, вообще нельзя оценить, используя лишь сравнительно-анатомический метод.

Эти заблуждения помешали разобраться в удивительной истории становления *Corvida*, которое происходило одновременно с эволюцией сумчатых. Обе группы животных эволюционировали в то время, когда Австралия отделилась от других континентов. Как и австралийские воробьиные, сумчатые заселили разнообразнейшие экологические ниши, которые в Африке, Евразии и Северной Америке заняты совсем другой группой — в данном случае плацентарными млекопитающими. В ходе этого процесса некоторые сумчатые приобрели сходство с млекопитающими, с которыми их, однако, ученые не путали, так как у сумчатых есть особый орган — сумка, и другие бросающиеся в глаза особенности строения.

*Corvida* Австралии дали, кроме того, предков нескольких групп птиц, которые сумели перебраться в Азию, когда в третичный период Австралия перемещалась к северу. К числу групп птиц, предки которых жили в Австралии, принадлежит триба *Corvini*, ко-

торая включает те же виды, что и обшеприятное семейство *Corvidae*: ворон, воронов, соек, сорок и их близких родственников.

Сегодня известны 23 рода трибы *Corvini*. Из них 15 встречается в Европе и 10 — в Северной Америке. В Африке живут только 3 рода, а в Южной Америке эта триба представлена лишь двумя родами соек. Число родов отражает хронологию и пути расселения птиц из Австралии. Самый первый взрыв видообразования произошел в Юго-Восточной Азии и возникшие там формы распространились затем в Европу, Африку и Северную Америку. Южную Америку они заселили в последнюю очередь — она была отделена от Северной Америки и соединилась с ней всего 3—5 млн. лет назад. Два рода соек, которые встречаются в настоящее время в Южной Америке, попали туда, видимо, с севера после того, как оба американских континента соединились в цельный массив суши. Вороны и вороны (род *Corvus*) появились, вероятно, в Евразии и затем распространились почти по всему свету (за исключением Южной Америки). В конце концов они заселили даже Австралию.

**СРЕДИ** многих удивительных результатов опытов по сопоставлению ДНК наиболее неожиданным оказалось, что близкими родственниками являются две группы воробьиных: с одной стороны, скворцы, характерные птицы Старого Света, с другой — пересмешники Нового Света. Считалось, что скворцы родственны воронам, а пересмешников правильно помещали к дроздам. Если бы скворцы были близки воронам, то они входили бы в *Corvida*, но опыты с ДНК ясно показали, что пересмешники принадлежат к *Passerida*. Из этого следует, что если верна общепринятая классификация, то линии скворцов и пересмешников должны были дивергировать 55—60 млн. лет назад. Данные анализа ДНК, однако, свидетельствуют, что эти две группы дивергировали всего 25 млн. лет назад.

Вывод о тесном родстве скворцов с пересмешниками подтверждается и результатами других исследований: в частности, данными, полученными в 1961 г. У. Столкупом (Южный методистский университет), который провел сравнение мышечных белков методами иммунохимии, в 1953 г. У. Бичером (он работал тогда в Чикагском университете), изучавшим анатомическое строение голов, а также У. Ланьоном (Американский музей естественной истории), занимавшимся сравнительным анализом строения нижней гортани. Стоит об-

ратить внимание и на то, что некоторые скворцы, например майны, как и пересмешники, способны замечательно имитировать голоса других птиц; это прекрасно умеет делать даже обыкновенный скворец.

Близкое родство скворцов и пересмешников, возможно, отражает историю изменения климата в Северном полушарии. В начале и середине третичного периода, 65—30 млн. лет назад, климат Арктики был умеренным, в северной Канаде и Гренландии росли широколиственные деревья. Вполне вероятно, что общий предковый вид, давший начало скворцам и пересмешникам, был широко распространен в этих местах, которые служили мостом между Старым и Новым Светом. Изучение ископаемых растений показало, что 30 млн. лет назад началось похолодание. Видимо, тогда популяции предкового вида и переместились южнее. Приблизительно 25 млн. лет назад популяция Евразии и популяция Америки оказались разделенными и стали эволюционировать дивергентно.

**МЫ** РАССКАЗАЛИ здесь лишь о некоторых открытиях, сделанных благодаря применению метода гибридизации ДНК. Результаты опытов с ДНК дали нам основание выдвинуть новые гипотезы о родственных отношениях различных групп птиц. Если составленная по этим данным схема филогенеза птиц верно описывает историю их эволюционного развития, она должна согласоваться с данными, полученными при помощи иных подходов. Наши результаты соответствуют геологической летописи лучше, чем многие ранее выдвинутые гипотезы относительно путей филогенеза птиц. Кроме того, нередко сходные выводы следуют из сравнения ДНК и из сравнения некоторых анатомических признаков. Мы убеждены, что какие-то особенности морфологии всегда будут совпадать с результатами изучения ДНК.

Все же исследование ДНК и морфологических признаков, обычно используемых для воссоздания картины филогенеза, служат для получения сведений совсем разной природы. Морфология говорит нам, каким образом при адаптации организмов к условиям среды под действием естественного отбора менялось тело, в то время как результаты сопоставления ДНК прямо показывают картину ветвления линий эволюционного развития и позволяют приблизительно оценить время дивергенции современных групп птиц. Морфология зависит от функций, а «часы» ДНК равномерно отсчитывают время.



# Искусство каменной кладки у инков

*Сохранившиеся сооружения инков сложены из огромных каменных блоков, так тщательно подогнанных друг к другу, что в швы не входит и лезвие ножа.*

*Какие способы применяли инки для добычи, резки, обработки и транспортировки камней? В поисках ответов на эти вопросы автор попробовал сам тесать и обрабатывать камни в одной из старых каменоломен инков*

ЖАН-ПЬЕР ПРОТЦЕН

**П**ОСЛЕДНЕЕ столетие существования культуры инков, погубленной испанцами в XVI в., знаменует высшую ступень ее развития. За этот период общество инков превратилось из небольшого аграрного государства в центральном Перу в могущественную империю, простиравшуюся от Чили до Эквадора. Одной из составных частей культурного развития была грандиозная программа нового строительства, предпринятая в 1438 г. Пачакути, девятым Верховным инкой (или Императором). Пачакути повелел своим каменщикам реконструировать Куско, столицу растущей империи. После смерти Пачакути строительство не остановилось, а, напротив, развернулось далеко за пределами Куско. По всей территории нынешнего Перу на новых местах или на месте устаревших зданий возникали храмы, дворцы, склады и оросительные сооружения.

Строительные планы Пачакути были не только грандиозными, но и технически прогрессивными. Большинство более ранних сооружений инков было построено из сырцового кирпича или камней, уложенных на связующем растворе. Новые сооружения стали строить исключительно из больших каменных блоков без применения какого-либо раствора. Каменные блоки весом до 100 000 кг обрабатывали и подгоняли друг к другу так тщательно, что и теперь в швы между ними не входит лезвие ножа.

В последующие столетия иностранцы, посещавшие Перу, неизменно поражались размерами каменных глыб в сооружениях инков и той невероятной тщательностью, с которой каж-

дый камень был подогнан к соседним. Тот достоверный факт, что инки не имели железных инструментов, еще более усиливает это впечатление.

В 1979 г. на обратном пути из Бразилии, где я некоторое время преподавал, в США я посетил несколько архитектурных памятников инков и имел возможность восхищаться мастерством их строителей. Однако на свой вопрос, какими приемами пользовались инки при обработке больших камней и укладке их в сооружения, я не мог получить от гидов удовлетворительного ответа. Возвратившись в Калифорнийский университет в Беркли, где я преподаю архитектуру, я попытался узнать у археологов о научной литературе, где можно было бы найти сведения об искусстве каменной кладки у инков. К моему удивлению, мне ответили, что таковой не существует.

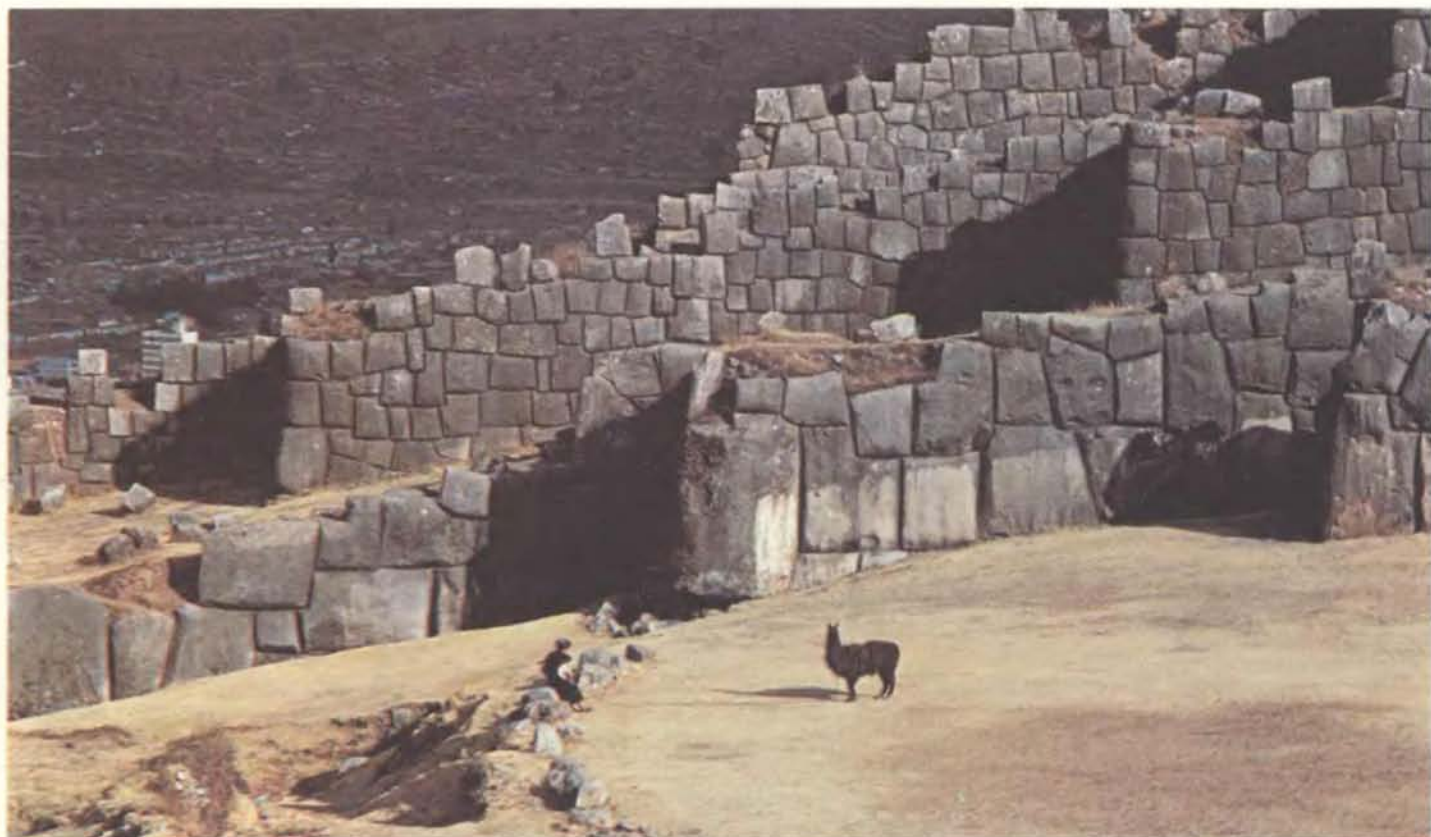
Не будучи археологом, я тем не менее питаю острый профессиональный интерес к методам строительства. Вскоре я решил сам заняться исследованием каменных стен инков. Годичный отпуск, взятый в 1982 г., позволил мне провести шесть месяцев в Перу; затем я приезжал в эту страну каждый год примерно на месяц. В своем исследовательском методе я не ограничился лишь разработкой гипотез, поскольку любую из них подвергал практической проверке. Пользуясь только материалами, найденными в старых каменоломнях инков, я резал, тесал и подгонял камни, чтобы убедиться, что выработанными мною приемами можно выполнять эту работу так же, как это делали инкские мастера. Некоторые «загадки» так и остались неразгаданными, в

частности, как инкам удавалось транспортировать тяжелые каменные глыбы к месту строительства и перемещать их на строительной площадке, но в общем мое исследование оказалось успешным. На смену смутным догадкам о том, как инки строили свои прекрасные каменные сооружения, пришли результаты, полученные на опыте.

**З**НАЧИТЕЛЬНУЮ часть моей работы заняло исследование типичных инкских каменных стен в самом Куско и в «крепостях» Саксайуаман и Ольянтайтамбо. Саксайуаман расположен вблизи Куско, а Ольянтайтамбо — примерно в 90 км к северо-востоку от Куско, на реке Урубамба. Хотя во многих текстах Саксайуаман и Ольянтайтамбо упоминаются как крепости, новейшие археологические исследования позволяют считать, что они выполняли скорее религиозные, чем военные функции. Какова бы, однако, ни была их роль в инкском государстве, обе крепости производят внушительное впечатление своими строительными сооружениями. Саксайуаман занимал очень большую площадь и имел внешнее укрепление, состоявшее из трех отдельных каменных стен, каждая высотой более 3 м. Ольянтайтамбо был построен на отроге горы и включал религиозный центр, императорское поместье и городское поселение, спланированное по прямоугольной сетке.

Как строились эти огромные каменные сооружения? Чтобы найти ответ на этот основной вопрос, я разбил его на четыре пункта: как производилась добыча камня в каменоломнях; резка и теска отдельных камен-





САКСАЙУАМАН, вблизи Куско, — место, где обнаружены наиболее внушительные каменные сооружения инков. На фотографии видна часть внешнего укрепления, состоявшего из трех каменных стен высотой более 3 м каждая.

Наиболее крупные камни в этих стенах весят около 100 000 кг. Хотя Саксайуаман часто называют крепостью, новейшие археологические данные свидетельствуют о том, что это был, вероятно, религиозный центр.



ФОТОГРАФИЯ УЧАСТКА КАМЕННОЙ СТЕНЫ в Ольянтайтамбо, показывающая, как тщательно подгонялись друг к другу камни в кладке. Материал блоков — камень типа метааркоза. Выступы в нижней части блоков служили для перемещения блоков на строительной площадке; они обнаружены во многих местах на законченных стенах. Поверх-

ность блоков имеет характерные следы ударов молотков, которыми обрабатывалась поверхность камня. У краев блоков следы меньше, чем в середине, что позволяет предполагать, что эти участки обрабатывались молотками разного веса.



ных блоков; подгонка блоков; транспортировка. Для изучения методов добычи камня я посетил несколько бывших каменоломен инков и две из них — в Качикате и в Румикольке — обследовал более тщательно. Качиката расположена примерно в 4 км от Ольянтайтамбо, за рекой Урубамба. Ее карьеры давали порфир (красный гранит), из которого был построен храм Солнца, наиболее значительное сооружение в Ольянтайтамбо. Румиколька лежит в 35 км к юго-западу от Куско; она поставляла большую часть андезита (вулканическая порода), использовавшегося каменщиками Пачакути при реконструкции столицы империи инков.

Есть некоторые косвенные свидетельства того, что проблема добычи камня имела для инков большое значение. И Качиката, и Румиколька труднодоступны и находятся на значительном расстоянии от строительных площадок, на которых собирались каменные блоки. Инки разрабатывали эти удаленные каменоломни скорее всего потому, что высоко ценили тот вид камня, который здесь находили.

Более того, устройство каменоломен показывает, что процессу получения строительных камней уделялось большое внимание. Обе каменоломни, и в Румикольке, и в Качикате, имеют сеть подъездных дорог, ведущих к местам, где добывался камень из скалы. Дорога, соединявшая Ольянтайтамбо с каменоломней в Качикате, пересекала реку Урубамбу и далее шла по противоположному берегу реки к нескольким большим осыпям — скоплениям камней, отделившихся от скалы естественным образом. При подходе к осыпи подъездная дорога разветвлялась к нескольким участкам каменоломни. Дорога хорошо прослеживается и сейчас, так как она сравнительно мало пострадала от времени и, кроме того, вдоль нее сохранилось около 80 каменных блоков, оставленных инками.

Сеть подъездных дорог на горизонтальных участках, пологих подъемах и спусках состояла из пандусов (откосов), первоначально вымощенных гравием. На крутых спусках вместо пандусов устраивались спускные желоба, по которым каменные блоки свободно скатывались вниз. Наи-

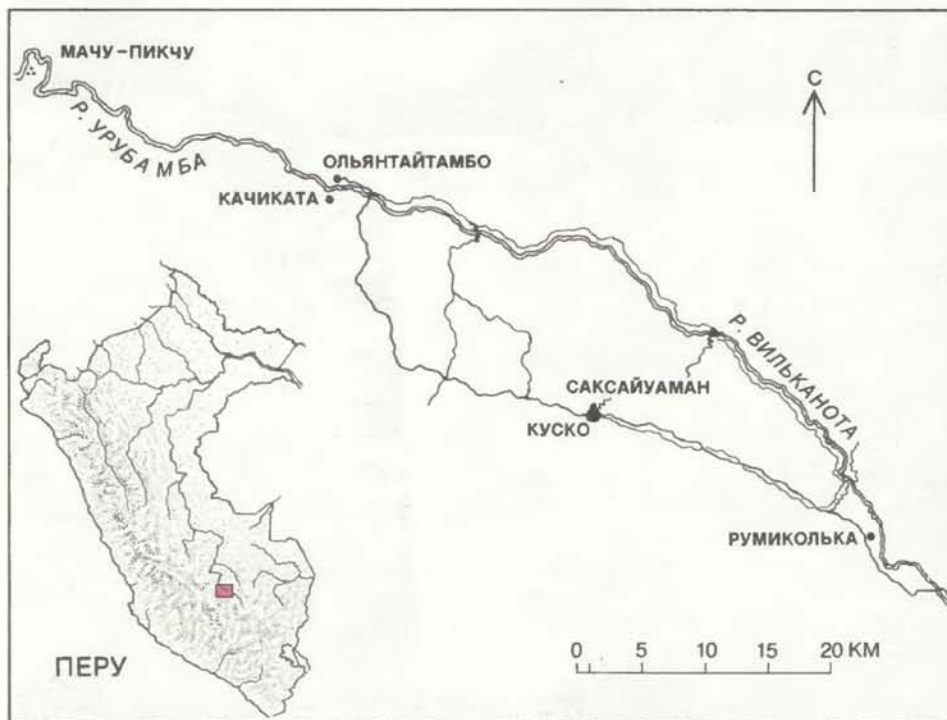
больший из спускных желобов в Качикате имеет высоту 250 м по вертикали и уклон 40°; у его основания еще сохранились 4 каменных блока. Каменоломни в Румикольке интенсивно разрабатывались и после испанского завоевания и сохранились хуже, чем каменоломни в Качикате, однако и здесь прослеживается сеть дорог, ведущих к карьерам. В обеих каменоломнях инки построили кроме дорог и другие сооружения, в частности ограждающие стенки, водопропускные каналы и жилища.

**Х**ОТЯ обе каменоломни похожи друг на друга в плане, методы, которыми разрабатывался камень в Качикате, слегка отличались от тех, которые применялись в Румикольке. В Качикате инки не прибегали к ломке камня, что подразумевает выемку каменного блока из вертикальной скалы или скального основания путем подрезки. Вместо этого каменщики в Качикате попросту «прочесывали» гигантские осыпи и выбирали из них блоки крупнозернистого красного гранита подходящих размеров. Мои наблюдения позволяют предположить, что блоки, выбранные в каменоломнях Качикаты, подвергались лишь минимальной обработке перед транспортировкой в Ольянтайтамбо. Последующие операции обтесывания и подгонки камня, по-видимому, производились непосредственно на строительной площадке.

Грубая обработка каменных блоков в Качикате часто начиналась до завершения пандуса, ведущего к дороге. Об этом свидетельствуют два больших блока размером 4,5 x 2,5 x 1,7 м и 6,5 x 2,7 x 2,1 м, оставшиеся в конце самого большого пандуса в южной каменоломне Качикаты. Оба блока установлены на каменные рабочие платформы и частично обтесаны, хотя подъездной пандус остался не доведенным до этих платформ.

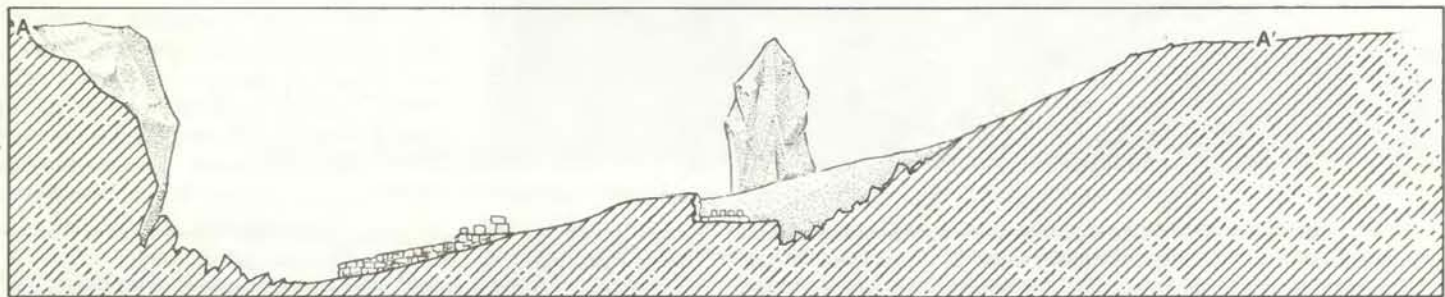
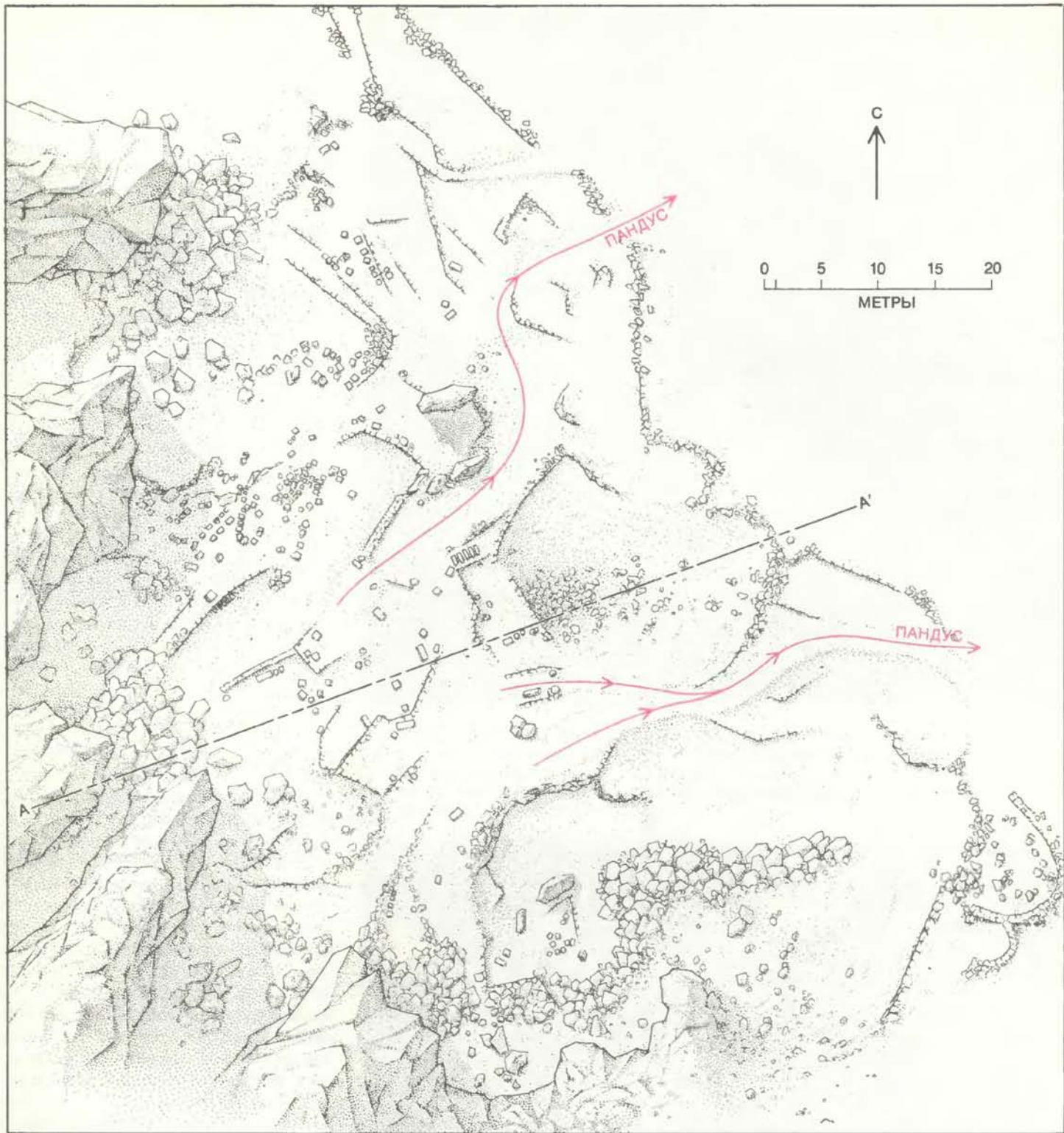
Примечательно, что следы ударов на этих и других каменных блоках, найденных в инкских каменоломнях, очень похожи на следы, обнаруженные на пирамидальной вершине незаконченного обелиска в Асуане (Египет). В обоих случаях они имеют форму чашевидных углублений на поверхности. Известно, что египтяне обрабатывали камни ударами шаров из долерита (кристаллический базальт, вулканическая порода). Резонно предположить, что инки делали то же самое.

После тщательных поисков в каменоломне в Качикате я нашел несколько округлых камней кварцита — метаморфического песчаника, отсутствующего в породах каменоломни, но



**НЕКОТОРЫЕ ГОРОДА ИНКОВ** расположены вокруг Куско в высокогорной южной части центрального Перу. Куско был столицей империи инков, где в XV в. достигла высокого развития каменная кладка насухо (без связующего раствора). Камень для многих сооружений около Куско доставлялся из каменоломен в Румикольке. В Ольянтайтамбо находятся внушительные руины инкских сооружений, которые, как и сооружения в Саксайуамане, ранее считались крепостями, но, по новейшим данным, были религиозными центрами. Камень для сооружений в Ольянтайтамбо поступал из каменоломен в Качикате. Мачу-Пикчу, расположенный среди горных пиков, сохранил руины одного из самых знаменитых и красивых городов инков. Урубамба и Вильканота — два названия одной и той же реки в разных участках ее течения.

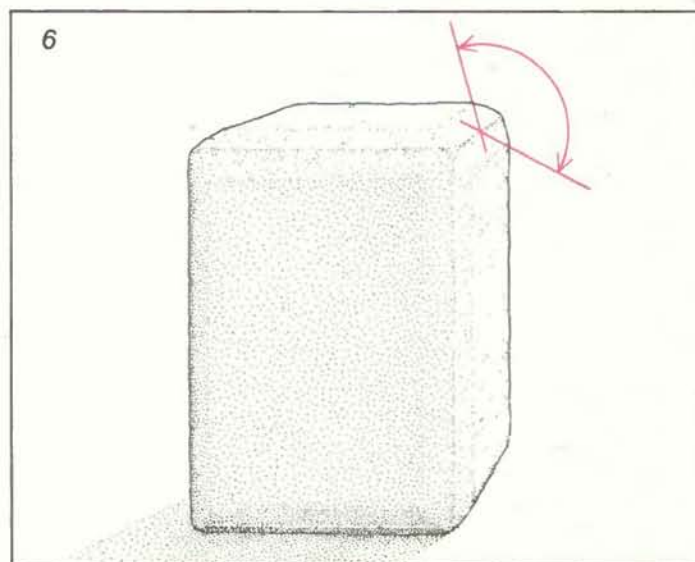
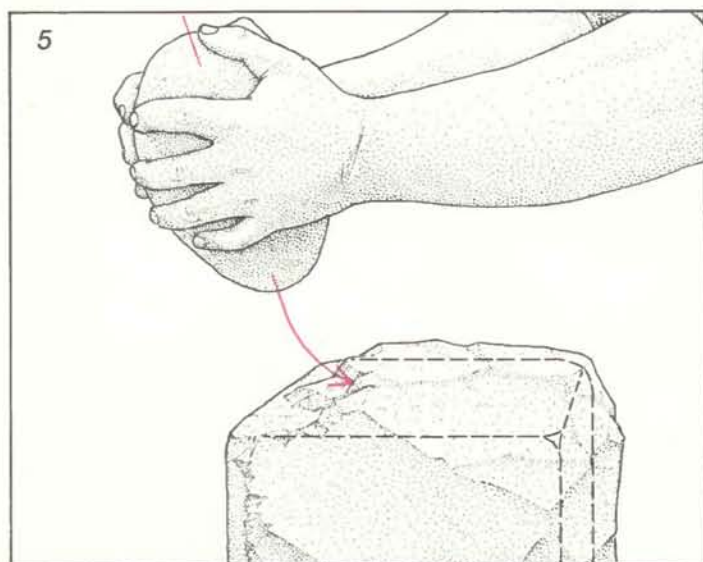
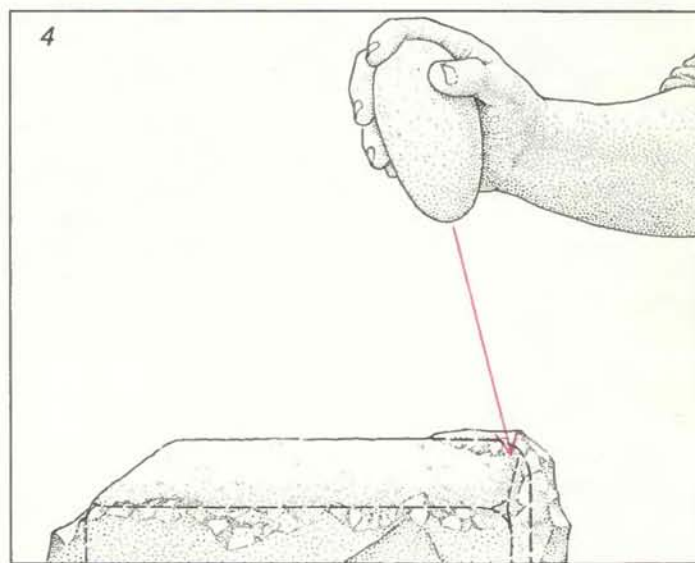
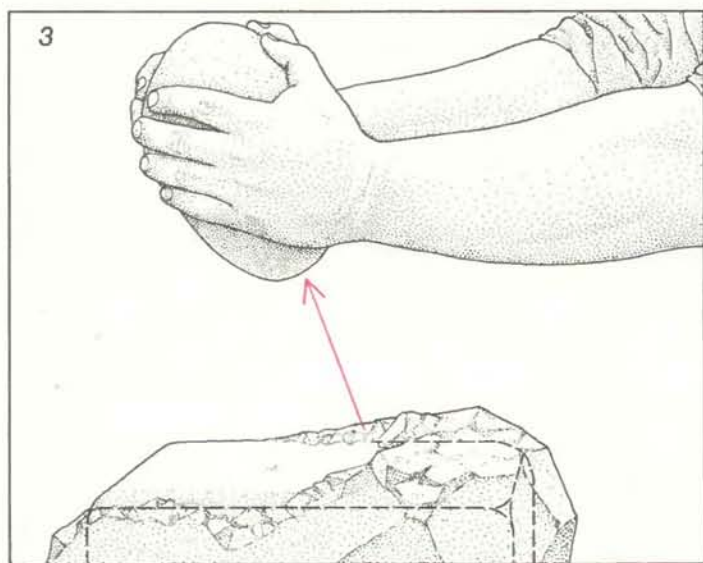
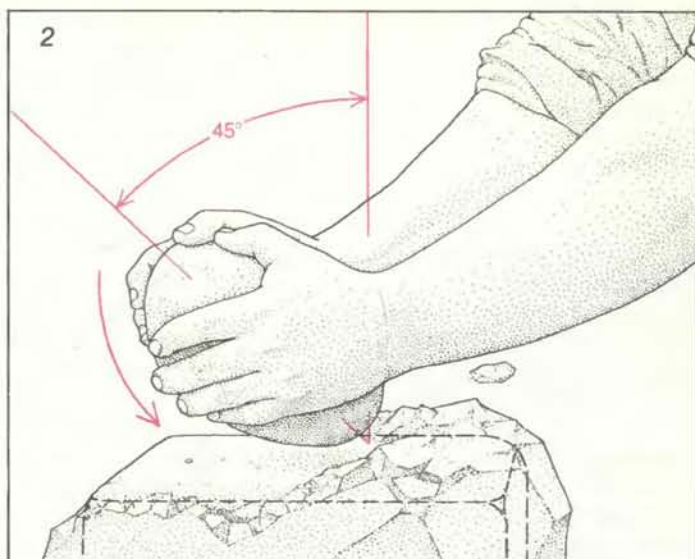
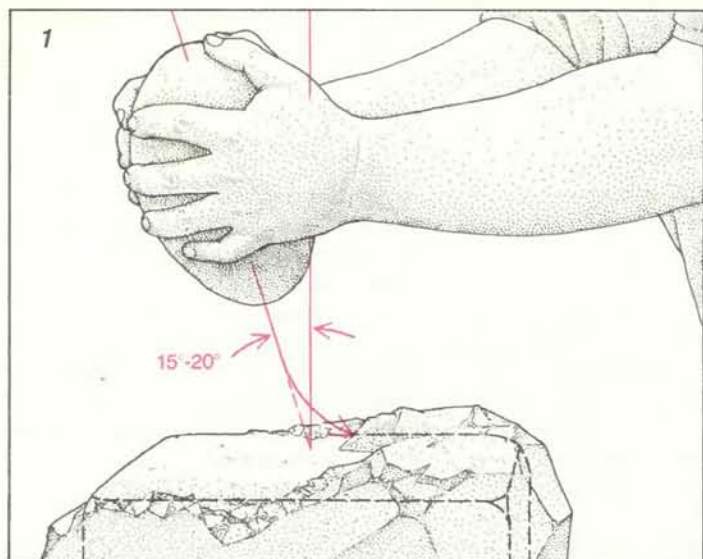




КАМЕНОЛОМНЯ «ЛАМА» — единственная хорошо сохранившаяся инкская каменоломня в Румикольке. Вероятно, инкские каменщики вынимали каменные блоки из скалы (слева) с помощью бронзовых ломов или деревянных палок. Тут же в каменоломне камням придавали нужную форму и их обтесывали. По территории каменоломни «Лама»

разбросано около 250 каменных блоков, оставленных на разных стадиях обработки. Путем обследования этих блоков автору удалось восстановить методы обработки камня, применявшиеся инками. Обработанные блоки транспортировались из каменоломни «Лама» по дорожным пандусам, мощенным гравием.





ПРОВЕДЕННЫЙ АВТОРОМ эксперимент показывает, какими приемами могли инки обрабатывать каменные блоки. Автор взял блок андезита (вулканическая порода) из каменоломни «Лама». Придав ему сначала прямоугольную форму, он начал затем обрабатывать одну из шести граней с помощью камня-молотка массой 4 кг (1). Легко удерживая камень руками, он давал ему свободно падать под углом 15—20° от вертикали. Непосредственно перед касанием обрабатываемой поверхности камню придавалось вращательное движение запястьями, так что угол удара увеличи-

вался до 45° (2). При каждом ударе камень-молоток отскакивал примерно на 25 см (3). По окончании обработки грани камень оставался в том же положении, и производилась доводка ребер молотком меньшей массы (4). В этом случае молоток массой 560 г удерживался крепко одной рукой и им наносились скользящие удары по ребру. После этого блок переворачивали для обработки новой грани тяжелым молотком (5). В результате получился каменный блок со слегка выпуклыми углами, очень похожими на углы настоящих блоков в каменной кладке инков (6).



встречающегося по берегам протекающей поблизости реки Урубамбы. При изучении кварцитовых камней на их узких концах были обнаружены щербинки — свидетельства того, что камнями пользовались как молотком. Я пришел к выводу, что инкские каменщики в Качикате подбирали округлые камни в русле Урубамбы и пользовались ими как молотками для придания первоначальной формы каменным блокам, окончательная теска которых производилась в Ольянтайтамбо.

Камни в Качикате, как было сказано выше, просто выбирались из осыпи, а не добывались в техническом смысле этого слова, и перед транспортировкой подвергались только грубой теске. В Румикольке же камень добывался, т. е. вырубался из скалы. Так как Румиколька эксплуатировалась и после конкисты вплоть до настоящего времени, большинство материальных свидетельств добычи камня инками в основном утрачены. Мне, однако, удалось обнаружить в Румикольке одну инкскую каменоломню, расположенную в труднодоступном месте, которая поэтому не разрабатывалась в новое время и хорошо сохранилась. Я назвал эту каменоломню «Лама» из-за двух петроглифов ламы (точнее, гуанако), выгравированных на одной из скал.

Каменоломня «Лама» оказалась богатым источником информации о том, как инки добывали и тесали строительный камень. Добыча андезита в Румикольке не представляет больших технических трудностей. Даже наиболее плотные горные породы обычно настолько растресканы, что вырубить каменный блок из поверхности скалы можно достаточно легко. Каменщики могли извлекать нужный камень из скалы при помощи ломов вроде тех, которые были найдены в других инкских каменоломнях: бронзовых ломов около метра длиной, с заостренными концами, имевших прямоугольное сечение со стороной 4 или 5 см. Трещиноватость каменной породы в Румикольке настолько велика, что в бронзовых ломах, может быть, и не было необходимости. Я наблюдал работу современных каменщиков, которые извлекали камни из скалы при помощи деревянных палок; инки могли поступать подобным же образом.

**ТАКИМ** образом, «расшифровка» способов, которыми инки добывали камень, оказалась сравнительно простой задачей. Большие технические трудности были связаны с проблемой резки и обтесывания камня. И в этом случае каменоломня «Лама»



**РАЗОБРАННАЯ КАМЕННАЯ СТЕНА** в Ольянтайтамбо дает ключ к разгадке способа точной пригонки каменных блоков, применявшегося инками. Каждое углубление указывает место, где лежал камень. Углубления выдалбливались каменными молотками до полного соответствия выпуклой нижней поверхности накладываемого сверху камня.



**СЛЕДЫ ВОЛОЧЕНИЯ** на нижней поверхности каменного блока из Ольянтайтамбо — свидетельства того, что каменные блоки инки доставляли волоком по гравийным дорогам к месту строительства. По форме этих следов можно даже определить, в каком направлении перемещался камень при волочении. Например, округлое углубление (в центре слева) имеет четкую левую границу и размытую правую. При волочении блока частицы гравия попадали в углубление через его передний край, который оставался четким. При перемещении к задней границе углубления частицы гравия спрессовывались между поверхностью камня и дороги, и в этом месте граница углубления подвергалась трению и получалась размытой. Следовательно, показанный на фотографии блок перемещался при волочении влево.



оказалась весьма полезной. Интересно, что там было разбросано более 250 каменных блоков, оставленных инками. В отличие от каменоломен в Качикате, камни в Румикольке полностью или почти полностью (по пяти граням из шести) обрабатывались на месте. Поэтому среди 250 каменных блоков в каменоломне «Лама» можно найти блоки, оставленные на любой стадии обработки — от первоначального неотесанного до полностью отесанного. Изучив эти стадии, я смог реконструировать процесс обработки каменных блоков.

Сначала я решил установить, какие инструменты применялись для обтесывания камня в каменоломне «Лама». Среди осколков андезита я нашел в каменоломне куски камня, которые были инородны и по форме, и

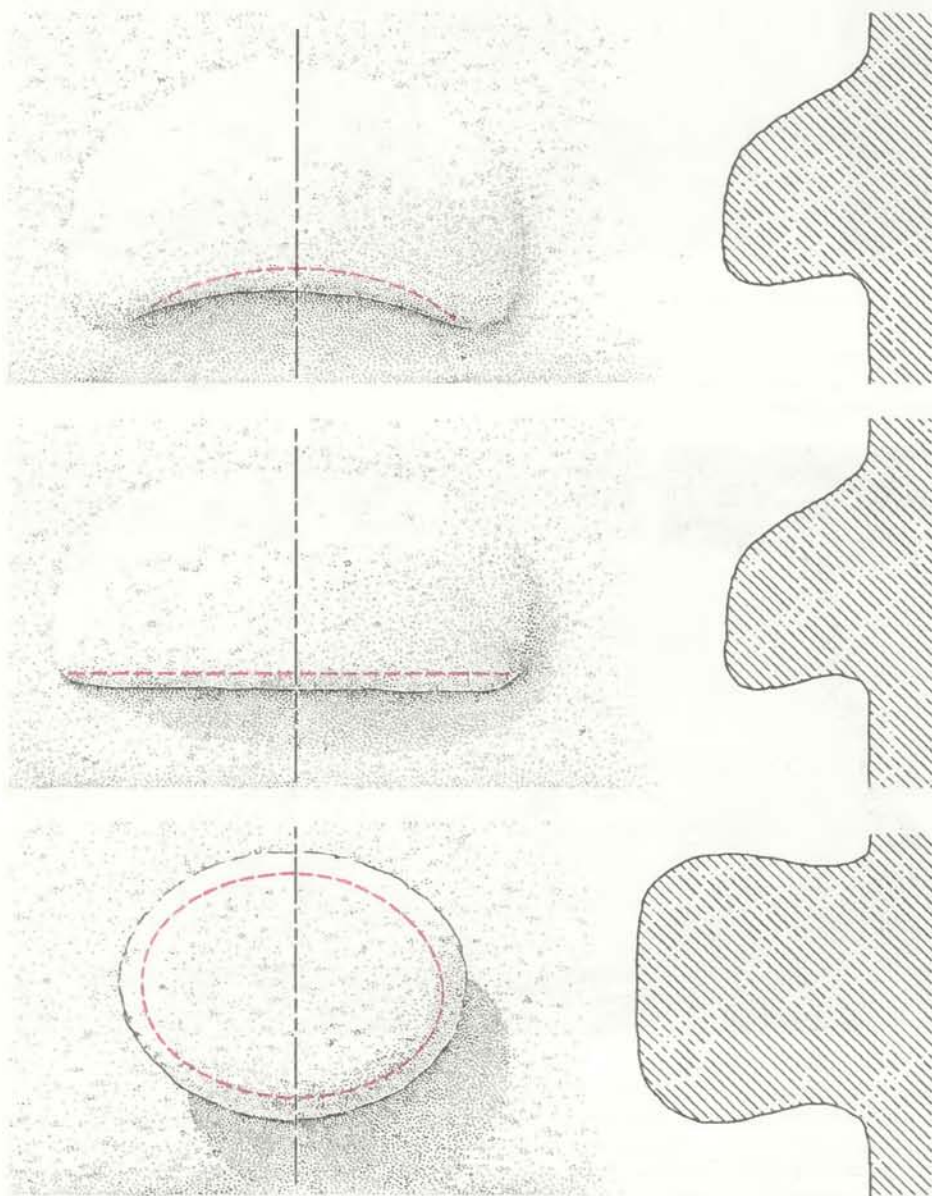
по материалу. Я обнаружил достаточно большое число таких камней и мог с уверенностью утверждать, что они служили молотками для обработки каменных блоков. Как и в Качикате, большинство этих камней было речными гольшами. По-видимому, они были найдены на берегах реки Вильканоты, протекающей вблизи каменоломни. Некоторые из этих камней были чистым кварцитом, другие — гранитом, а третьи — оливковым базальтом (базальт является вулканической породой, а оливин — минералом, часто присутствующим в базальтах).

И камни-молотки, и андезит строительных каменных блоков имеют примерно одну и ту же твердость. Твердость минералов измеряется по минералогической шкале твердости

(шкала Мооса), в которой наиболее мягкий минерал — тальк — имеет твердость 1, а наиболее твердый — алмаз — 10. Камни-молотки, найденные мною в каменоломне «Лама», имеют твердость около 5,5, т. е. примерно такую же твердость, что и андезит строительных блоков. Однако камни-молотки крепче андезита. Неравномерное охлаждение при формировании андезита привело к накоплению напряжений в породе. При ударах происходят перераспределение напряжений и расчленение монолитной породы на фрагменты. Таким образом, речные гольши могли служить хорошими молотками для обработки и обтесывания строительных каменных блоков.

**ИНКСКИЕ** каменщики, вероятно, пользовались молотками разного веса на различных стадиях обработки камня. В каменоломне были найдены молотки трех групп. Вес молотков в первой группе составлял 8—10 кг, во второй — 2—5 кг, а в третьей — менее 1 кг. Я полагаю, что каждая группа имела свое назначение. Самые тяжелые молотки использовались для грубого обтесывания каменных блоков после извлечения их из скалы и для придания им прямоугольной формы. На большинстве незаконченных блоков четко видны следы оббивки, похожие на щербины на камнях-молотках, но большего размера. Это, вероятно, следы ударов большими камнями-молотками. Средними молотками, вероятно, обтесывали грани блоков, а самыми маленькими делали доводку ребер.

Чтобы выяснить, могли ли инкские каменщики пользоваться молотками трех указанных групп, я решил проделать эксперимент. Исходным материалом мне послужил грубый блок андезита размером 25 x 25 x 30 см. Сначала с помощью камня-молотка весом около 4 кг я срубил самые большие выступы, чтобы получить приблизительно прямоугольный блок. Для этого было достаточно шести ударов. Следующей задачей было выровнять одну из шести граней блока. Для этой цели я выбрал другой 4-килограммовый камень-молоток. Можно было предположить, что работа с 4-килограммовым камнем в течение более или менее длительного времени окажется весьма утомительной. Однако она значительно облегчается, если умело использовать силу тяжести. Легко держа камень-молоток, нужно дать ему свободно падать на обрабатываемую поверхность, лишь слегка направляя его двумя руками. При ударе о поверхность андезита, камень-молоток подскакивает вверх на



**ВЫСТУПЫ** на инкских каменных блоках имеют различную форму и, вероятно, различное назначение. Выступ на верхнем рисунке удобен для опоры рычага. Выступ на нижнем рисунке мог использоваться для привязывания веревок. Выступ на среднем рисунке мог служить обеим целям.



15—25 см. Теперь его нужно подхватить и затем снова выпустить. Эта операция не требует больших усилий и может повторяться в течение довольно продолжительного времени.

Обработка камня таким способом, в сущности, является процессом дробления. Однако, если молоток направлять под углом 15—20° от вертикали, он будет выбивать тонкие чешуйки из поверхности обрабатываемого камня, и процесс обработки значительно ускорится. Я обнаружил, что эффективность ударов можно повысить еще более, если запястьями раскручивать камень-молоток перед тем, как выпустить его из рук. Это раскручивание увеличивает угол удара до 40—45° от вертикали (см. рисунок на с. 64). Механизм увеличения эффективности обработки с увеличением угла удара объясняется просто. Если молоток падает строго вертикально, то вся сила удара преобразуется в усилие сжатия, которое дробит камень. Если же линия удара отклоняется от вертикали, то в дополнение к усилию сжатия возникает и усилие сдвига. Составляющая сдвига возрастает с увеличением угла удара, и именно усилие сдвига вызывает откол тонких чешуек от поверхности камня, чем и ускоряет обработку.

После того как одна из граней блока была выровнена, каменщик должен был изменять прием обработки. Если бы он просто переворачивал камень и начинал обрабатывать новую грань тем же (тяжелым) молотком, который выбивает крупные чешуйки, то ребро между двумя этими гранями неизбежно получалось бы неровным, слишком грубым. Во избежание этого каменщик должен был брать более легкий молоток для доводки ребер (краев) новой грани, после чего можно было выравнивать середину грани. Для этой операции я использовал камень-молоток весом около 560 г. Работать этим молотком пришлось совершенно другим приемом: не опускать его более или менее вертикально, а бить вскользь по ребру, т. е. почти не использовать силу тяжести, тем более что его вес слишком мал для этого. Такой молоток нужно крепко держать в руке, и сила его удара зависит только от силы руки каменщика.

**П**ОСЛЕ того как произведена доводка ребер, каменный блок можно перевернуть, отложить легкий молоток в сторону и взять более тяжелый для грубой тески грани. На своем экспериментальном блоке я обтесал еще две грани, пробуя разные молотки весом от 3,5 до 4 кг. Закончив эту работу, я получил почти по-

лностью обтесанный каменный блок. Весь процесс обработки, включающий придание блоку прямоугольной формы, обтесывание трех граней и доводку пяти ребер, занял не более 90 минут. Мой эксперимент показывает, что камни можно добывать и обрабатывать с помощью примитивных инструментов и что такая работа не требует много времени и больших усилий. На следующем этапе исследования предстояло выяснить, являются ли эти способы и приемы именно теми, которыми пользовались инки.

Свидетельства того, что инки пользовались приемами, подобными тем, которые применял я, имеются в изобилии. На всех камнях в каменных стенах, построенных инками, независимо от вида камня, можно обнаружить следы ударов, подобные тем, которые получились на моем экспериментальном блоке. Если обрабатывается блок из известняка, то поверхность камня внутри или вокруг этих следов белеет, как бы обесцвечивается. Белые метки являются бесспорным признаком частичного метаморфизма известняка под действием тепла, выделяющегося при ударе молотка. На всех камнях, которые я обследовал, следы ударов у ребер меньше, чем в середине грани — свидетельство того, что ребра обрабатывались более легкими молотками, чем середины граней. Дополнительное свидетельство находим у Гарсиласо де ла Вега, хрониста того времени, известного под именем «Инка». Гарсиласо, сын конкистадора и инкской принцессы, писал в 1609 г., что инки «...для обработки камней не имели другого инструмента, кроме черных булыжников... которыми они не рубили, а раскалывали их».

Вероятно, самую сложную загадку представляют не способы добычи или обтесывания камня, применявшиеся инками, а те приемы, которыми они добивались точной подгонки камней друг к другу. Швы в каменной кладке бывают двух основных типов: горизонтальные (или постельные) и вертикальные. Через горизонтальные швы вес каменного блока передается на блоки нижележащего ряда камней. Вертикальные швы разделяют каменные блоки в одном горизонтальном ряду; через них вес не передается или почти не передается. Здесь мы будем рассматривать в основном горизонтальные (постельные) швы.

Исследовав большое число стен в инкских сооружениях, я пришел к выводу, что плотность постельных швов при кладке стен обеспечивалась главным образом путем обработки и подгонки верхней горизонтальной поверхности уже уложенного ряда в со-

ответствии с формой нижней поверхности укладываемых на нее блоков вышележащего ряда. Грани каменных блоков обычно имели слегка выпуклую форму, и, соответственно, углублению в нижележащем ряду придавалась вогнутая форма. Там, где стены подвергались разборке, можно было четко видеть вогнутые углубления в оставшихся рядах, как будто удаленные камни оставили точные отпечатки своей нижней поверхности (см. верхний рисунок на с. 65). Эти углубления опровергают часть ранее высказывавшихся предположений о том, что инки притирали соседние камни друг к другу, чтобы добиться точной подгонки швов. Ясно, что притиркой нельзя добиться такого плотного прилегания выпукло-вогнутых стыков, какие я наблюдал в кладке инкских стен. Каким же образом достигалась столь высокая плотность швов?

**К**АК и в случае обтесывания камней, я попытался сам разобраться в том, как это делалось. Для эксперимента я взял каменный блок, на котором упражнялся в теске, и другой блок большего размера, в котором мне нужно было вырубить постельный шов. Сначала я поставил меньший блок на больший и обрисовал его контур. Затем снял меньший блок и выколотил по контуру углубление в нижнем блоке, примерно соответствующее нижней поверхности удаленного камня. При обработке образовывалось много пыли, которую приходилось смахивать. Каменная пыль мешает обработке, так как смягчает удары камня-молотка. Но, с другой стороны, она оказалась и полезной. При укладке верхнего блока на место его нижняя поверхность оставляет отпечаток в пыли. Пыль спрессовывается в местах плотного прилегания камней друг к другу и остается рыхлой там, где плотного прилегания нет. Удалив верхний камень, нужно теперь ударять молотком только в тех местах, где пыль спрессовывалась. Многократно повторяя эту операцию, можно добиться самой высокой точности подгонки в швах.

Тем же самым приемом можно подгонять и вертикальные швы. Новый блок прикладывается к ранее уложенному в горизонтальном ряду блоку и в последнем вытесываются углубления по форме нового блока. В отличие от горизонтальных швов, вертикальные швы в кладке инкских стен имеют плотную подгонку только на глубину в несколько сантиметров; в толще стены зазор между камнями заполнялся щебнем. Однако во многих случаях вертикальные швы,



как и горизонтальные, оказались плотно подогнанными на всю глубину.

Как мне представляется, применявшаяся инками техника подгонки каменных блоков основывалась на методе проб и ошибок. Это трудоемкий метод, особенно если учесть огромные размеры некоторых каменных блоков, найденных в Саксайуамане и Ольянтайтамбо. Следует, однако, иметь в виду, что время и рабочая сила мало заботили инков, которые не имели европейского представления о времени и могли неограниченно пользоваться, как данью, рабочей силой покоренных народов. Более того, мои эксперименты показали, что при некотором навыке развивается необходимый для подгонки глазомер, и время, затрачиваемое на подгонку шва, существенно сокращается. Следует подчеркнуть в защиту моего метода, что он дает нужный результат и не требует применения других инструментов, кроме тех, которые подтверждаются дошедшими до нас свидетельствами. Более того, он нашел подтверждение в трудах писателей XVI в. Один из них, иезуитский священник Хозе де Акоста, который путешествовал вместе с испанскими конкистадорами и чьи свидетельства считаются в высшей степени достоверными, писал в 1589 г.: «Все это выполнялось с огромным трудом и большим терпением, так как приходилось многократно прикладывать камни друг к другу, пока не достигалась точная подгонка».

Я полагаю, что мои эксперименты достаточно точно повторяют те приемы, которыми пользовались инки для добычи, обработки и подгонки каменных блоков. Мне, однако, не удалось найти исчерпывающие ответы на вопросы о том, какими приемами пользовались инки для транспортировки камней и их перемещения на строительной площадке.

Несомненно, важную роль для перемещения блоков на строительной площадке играли различные выступы, обнаруженные на обработанных поверхностях блоков. Они имеют различные размеры и разную форму (см. рисунок на с. 66). Обычно такие выступы находят в нижней части каменных блоков в кладке. Эти выступы могли служить для крепления веревок или точками приложения рычагов. Очевидно, что выступы формировались во время обработки поверхности блоков на строительной площадке и служили для перемещения и переворачивания блоков только на площадке. Каменные блоки, оставленные вдоль дорог, не имеют таких выступов, из чего можно заключить, что эти вы-

ступы не играли никакой роли в транспортировке блоков к месту укладки.

Каким же образом производилась транспортировка блоков? Кое-что стало ясно после обследования каменных блоков, разбросанных в Ольянтайтамбо. На этих блоках можно обнаружить характерные отполированные участки, перемежающиеся более или менее параллельными продольными бороздами. Такие полированные участки и борозды могли возникнуть при волочении каменных блоков из каменоломни к месту строительства. Направление движения блоков также легко читается по этим следам. При более подробном изучении поверхности блоков можно обнаружить углубленные участки неправильной формы, оставшиеся неполированными. Эти участки обычно имеют четкую границу на одной стороне и размытую, расплывчатую границу — на другой. При волочении блока четкая граница образовывалась в передней части углубления, а размытая — в его задней части. У задней части углубления скапливались частицы гравия из дорожного покрытия; в результате их перетирания между поверхностью камня и дорогой и получалась размытая граница.

Полированные участки на поверхности блоков раскрывают и другую сторону процесса транспортировки. Такие участки обнаруживаются только на самых широких гранях блоков. Это позволяет предположить, что блоки волокли всегда в самом устойчивом положении, т. е. самой широкой гранью, обращенной к дороге. Каменные блоки, оставленные в каменоломнях, не имеют полированных следов, а размер полированных участков увеличивается с увеличением расстояния от каменоломни. Наличие полированных следов позволяет отвергнуть предположение о том, что инки перемещали большие камни на катках или полозьях. Наличие следов волочения не исключает возможности того, что инки пользовались катками или полозьями на крутых участках дорог, однако никаких свидетельств применения этих орудий не обнаружено.

Для волочения каменных блоков по пандусам инки должны были использовать огромное число людей, особенно для крупных блоков. Сила, необходимая для волочения каменного блока, зависит от коэффициента трения между камнем и поверхностью пандуса, его уклона и массы блока. Я определил коэффициент трения экспериментально и измерил уклон дорожного пандуса в Ольянтайтамбо, который оказался равным примерно

10°. Самый большой каменный блок в Ольянтайтамбо весит около 140 000 кг. По моим вычислениям, для волочения этого блока по пандусу потребовалось бы усилие в 120 400 кг. Принимая (может быть, с некоторым завышением), что один человек может тянуть с постоянным усилием в 50 кг, можно вычислить, что для подъема этого блока на вершину пандуса требовалось не менее 2400 рабочих. Эта цифра согласуется (по крайней мере по порядку величины) с заметками писателя XVI в. П. Сиесы де Леона, который отмечает, что из 20 тыс. рабочих, занятых на строительстве крепости Саксайуаман, 6 тыс. использовались на транспортных операциях.

**Х**ОТЯ изложенный выше «отчет» представляется мне вполне обоснованным, он поднимает некоторые важные вопросы, на которые я не сумел найти ответа. Дорожные пандусы, построенные инками, имеют ширину всего лишь 6—8 м. В связи с этим возникают два вопроса, которым я не нашел удовлетворительного объяснения. Во-первых, каким образом 2 тыс. или более человек впрягались для волочения блока так, чтобы каждый мог тянуть с должным усилием? Во-вторых, каким образом толпа рабочих размещалась на тесной дороге? Это только два из нерешенных вопросов, относящихся к транспортировке блоков. Интерес представляет вопрос, как обвязывались блоки и какими приемами производилась их кантовка.

Более того, камни из каменоломен в Румикольке, по-видимому, транспортировались не волочением, а каким-то другим способом. В отличие от камней, добытых в Качикате, каменные блоки в Румикольке обтесывались начисто на месте перед тем, как их вывозили из каменоломни. На них не обнаружено никаких следов волочения и, кроме того, было бы неразумно предполагать, что инки волочили обтесанные блоки, рискуя повредить их. Каким же способом транспортировались эти блоки? Этот и другие вопросы еще ждут ответа, прежде чем можно будет сделать полное описание искусства каменной кладки у инков. Тем не менее, путем наблюдения и экспериментов уже получены ответы на ряд главных вопросов относительно добычи, обработки и подгонки каменных блоков.



## Самозащита

**В** КОНЦЕ прошлого года общественное мнение было взбудоражено сообщением С. Розенберга и его коллег из Национального института рака о том, что одно из веществ, играющих важную посредническую роль в иммунной системе, вызывает уменьшение опухолей. После лечения им у 11 из 25 пациентов, страдавших раком в далеко зашедшей форме, злокачественные образования сократились в размерах по меньшей мере вдвое.

Новое средство — пример лечения методом, называемым иногда модификацией биологического ответа. Этот метод принципиально отличается от традиционных — хирургического, химиотерапевтического и лучевого. Модификация биологического ответа заключается в том, что естественные элементы иммунной системы мобилизуются для воздействия на опухолевые клетки, не затрагивая здоровые клетки. Новый подход к лечению рака появился благодаря исследованиям, углубившим понимание взаимодействия между такими элементами иммунной системы, как лимфоциты (белые клетки крови; некоторые из них непосредственно поражают больные клетки), антитела (белки, молекулы которых связываются с клетками-мишенями и метят их для разрушения), макрофаги (эти клетки поглощают чужеродные частицы) и лимфокины (так называют секреторируемые лимфоцитами вещества, стимулирующие уничтожение клеток). В последнее время были разработаны методы, которые позволили выделить, клонировать и систематически изучить эти и другие элементы иммунной системы.

С. Розенберг и его коллеги выделяли лимфоциты из крови больного раком, активировали их лимфокином, называемым интерлейкином-2, и вводили такие клетки тому же пациенту вместе с дополнительным количеством интерлейкина-2, необходимого для усиления их противоопухолевой активности.

Онкологи весьма воодушевлены полученными результатами. Так, например, у одного из пациентов совершенно исчезла меланома (злокачественная опухоль кожи); у остальных 10 больных, страдавших различными видами рака (кожи, ободочной кишки, почек, легких), наблюдалось существенное уменьшение опухолей. Многие специалисты, в том числе сам Розенберг, считают, что для оценки возможностей нового метода в меди-

цинской практике данных пока недостаточно. На пути к широкому применению этого метода немало препятствий, в частности высокая стоимость (для лечения одного человека нужно несколько десятков тысяч долларов) и сложность процедуры. Кроме того, имели место нежелательные побочные эффекты. У двух больных наиболее серьезным побочным явлением был отек, сильно затруднявший дыхание, а один пациент умер вскоре после курса лечения.

В настоящее время изучаются также возможности лечения рака с помощью интерферонов — веществ, стимулирующих макрофаги и лимфоциты, поражающие раковые клетки. Одно из них, а именно  $\alpha$ -интерферон, однажды уже предлагалось в качестве «волшебной пули» против рака. Дж. Гуттерман (сотрудник больницы Андерсона и Онкологического института в Хьюстоне) обнаружил, что  $\alpha$ -интерферон эффективен при некоторых редких формах рака, в частности при волосоклеточном лейкозе. Однако это вещество не помогало при раке легких, ободочной кишки, поджелудочной железы и предстательной железы.

Было показано, что интерфероны более эффективны в сочетании с фактором некроза опухолей (ФНО). ФНО, открытый Л. Олдом из Центра по изучению рака Слоана—Кеттеринга, — это белок, который выделяют активированные макрофаги; он токсичен для опухолевых клеток. Олд считает, что успешные результаты Розенберга связаны с действием ФНО, так как под влиянием интерлейкина-2 в некоторых клетках крови в периферических сосудах образуется ФНО.

Другая линия исследований — получение моноклональных антител против антигенов опухолевых клеток. Моноклональные антитела могут (по крайней мере теоретически) доставлять токсин, лекарство или радиоактивный изотоп избирательно к опухолевым клеткам, так что нормальные клетки не повреждаются. Изучается также действие моноклональных антител, не несущих подобного дополнительного «груза». Х. Копровски из Вистаровского института анатомии и биологии обрабатывал моноклональными антителами макрофаги, взятые у больного, и вводил эти клетки обратно тому же пациенту. По его мнению, моноклональные антитела активируют макрофаги и направляют их деятельность против опухолевых клеток. Почти у половины из 300 пациен-

тов с метастазирующими опухолями (поджелудочной железы, желудка, кишечника), после такой процедуры наблюдалось уменьшение опухолей. Делались попытки применить моноклональные антитела и сами по себе для лечения лимфомы, лейкоза и меланомы. Антитела не убивают раковые клетки непосредственно, а по видимому, активируют другие компоненты иммунной системы — лимфоциты, макрофаги или же систему комплемента (каскад белков, который разрушает клетки, отмеченные антителами).

Среди других потенциальных средств иммунотерапии можно назвать: туберкулезную вакцину БЦЖ, которая имеет некоторый эффект при меланоме и рецидивах рака мочевого пузыря; интерлейкин-1, побуждающий лимфоциты к синтезу интерлейкина-2; колониестимулирующий фактор, который активирует макрофаги и другие клетки, происходящие из костного мозга. Недавно удалось клонировать гены интерлейкина-1 и колониестимулирующего фактора, так что скоро станут возможными их клинические испытания. В отношении рецидивов, которые могут быть после удаления злокачественной опухоли, Олд возлагает большие надежды также на вакцинацию.

Заменил ли в один прекрасный день новый, иммунологический подход традиционные методы лечения, пока не ясно, но многие исследователи уверены, что иммунотерапия по меньшей мере усилит арсенал имеющихся средств. В некоторых случаях она может служить завершающим этапом лечения после хирургического вмешательства, лучевой терапии или химиотерапии. Наконец, возможна комбинация нескольких видов иммунотерапии, что, как предполагается, должно быть особенно эффективным. Гуттерман подчеркивает, что в норме элементы иммунной системы действуют согласованно, «хором»; такой же синергизм наблюдается и при действии биологических агентов в эксперименте.



# Вильям Гершель и становление современной астрономии

*Вильям Гершель открыл тысячи звезд и туманностей с помощью телескопов, которые построил сам.*

*Его наблюдения и выводы раздвинули границы астрономии,*

*включив в них исследование объектов за пределами Солнечной системы*

МАЙКЛ ХОСКИН

**О**БЫЧНЫЙ учебник астрономии середины XVIII в., как правило, содержал главы, посвященные таким понятиям, как время и небесные координаты, а также описание Солнца, Луны, планет и их орбит. Но в нем фактически не упоминалось о звездных скоплениях, туманностях или крупномасштабной структуре Вселенной. Однако в учебниках, изданных в следующем столетии, об этих объектах и проблемах говорилось уже как об узаконенной части астрономии.

Столь стремительное расширение астрономических знаний в то время произошло в основном благодаря усилиям одного человека — Вильяма Гершеля. Как талантливый конструктор он развил искусство строительства телескопов, как одаренный наблюдатель создал беспрецедентно обширные каталоги звезд и туманностей, а как проницательный теоретик дал импульс научному исследованию эволюции наших и других галактик. Достижения этого ученого позволили астрономам XIX в. расширить границы своих исследований и заняться активным изучением небесных тел не только за пределами Солнечной системы, но и нашей Галактики.

Однако карьера Гершеля началась не в астрономии. Он получил музыкальное образование и настолько хорошо освоил гобой, что был принят в полковой оркестр своего родного города Ганновера. В 1757 г. французы оккупировали Ганновер, и Гершель, которому было тогда 19 лет, бежал в Англию. На новой родине он начал зарабатывать себе на жизнь переписыванием нот, а затем выступал как исполнитель, был дирижером и композитором. (Свое имя, Фридрих Вильгельм, он заменил англоязычным Вильям.) В 1766 г. Гершель был назначен органистом известной капеллы «Октагон» в г. Бат. Это гарантировало обеспеченное положение, и, хотя Гершелю приходилось много ра-

ботать, он стал свободен по крайней мере в выборе своих интеллектуальных интересов.

С удовольствием прочитав монографию по математической теории гармонии, написанную профессором астрономии Кембриджского университета Робертом Смитом, Гершель обратился к предыдущей работе Смита — популярному учебнику по практической оптике "A Compleat System of Opticks", опубликованному в 1738 г. Эта книга открыла перед Гершелем искусство изготовления телескопов; в ней также содержалось описание объектов, которые можно увидеть на небе с помощью подобных инструментов. Практическая сторона астрономии очень заинтересовала Гершеля, и он решил сам попробовать построить телескоп.

**Г**ЕРШЕЛЬ начал с изготовления телескопов-рефракторов из линз и трубок соответствующей длины. Но трудности в обращении с длинными рефракторами заставили его обратиться к отражательным телескопам (рефлекторам), которые к тому же имели то преимущество, что диаметры их больших объективов могли быть сделаны большими, чем доступные тогда для рефракторов. А поскольку именно это определяет, много ли света может собрать телескоп, слабые (т. е. более далекие) объекты можно лучше исследовать с помощью телескопов-рефлекторов.

Сосед Гершеля увлекался шлифовкой и полированием зеркал для телескопов. У него-то Гершель и купил необходимые приспособления: набор инструментов и заготовки для зеркал. Руководствуясь книгой Смита по оптике, Гершель путем проб и ошибок самостоятельно освоил искусство доводки зеркал из «зеркального сплава» меди с оловом. Осенью 1773 г. он начал устанавливать свои зеркала на телескопы. Вскоре Гершель достиг высокого мастерства и в январе следую-

щего года изготовил рефлектор с довольно большим для того времени фокусным расстоянием — 5,5 фута (168 см).

По мере того как увеличивался размер инструментов Гершеля, расширялись и его планы, но большие «диски» (заготовки), необходимые для шлифования вогнутых зеркал к телескопам, о которых он мечтал, нельзя было отлить ни в одной местной мастерской. Однако трудности не остановили Гершеля, и он превратил подвал своего дома в литейную мастерскую. Одновременно с усовершенствованием техники изготовления все более крупных зеркал Гершель научился делать окуляры прекрасного качества, добившись увеличения в сотни и даже тысячи раз. (Многие современники Гершеля отказывались верить, что его телескопы способны давать такие увеличения, пока один из этих инструментов не был доставлен в Гринвичскую обсерваторию для непосредственного сравнения с лучшим из имеющихся в ней телескопов.)

В 1776 г. Гершель завершил изготовление своего первого 20-футового телескопа (т. е. с фокусным расстоянием около 6 м), главное зеркало которого имело диаметр 12 дюймов (30 см). Труба этого телескопа была просто подвешена на столбе и поворачивалась вручную в нужном направлении. Наблюдатель, с риском удерживаясь на подставленной лестнице, смотрел в окуляр, укрепленный на верхнем конце трубы. Все эти неудобства заставили Гершеля проектировать новые монтировки для телескопов. Через два года он усовершенствовал подставку для своих малых телескопов так, что имел возможность полностью контролировать движение трубы с помощью системы из блоков, шарниров, шестеренок и т. п., не отрывая при этом взгляда от окуляра.

Позже Гершель применил многие из разработанных им деталей монти-



ровки при изготовлении большого установочного каркаса для второго 20-футового рефлектора, с диаметром зеркала 18 дюймов (46 см). Теперь уже наблюдатель стоял на безопасной площадке, управляя регуляторами точной фокусировки и положения телескопа. Когда это было необходимо, все сооружение могло быть повернуто одним помощником.

Этот инструмент, получивший название «большой 20-футовый рефлектор», послужил Гершелю моделью при создании его крупнейшего инструмента: 40-футового (12 м) телескопа с апертурой (диаметром рабочего отверстия) 4 фута (122 см). Хотя это устройство было одним из чудес тех-

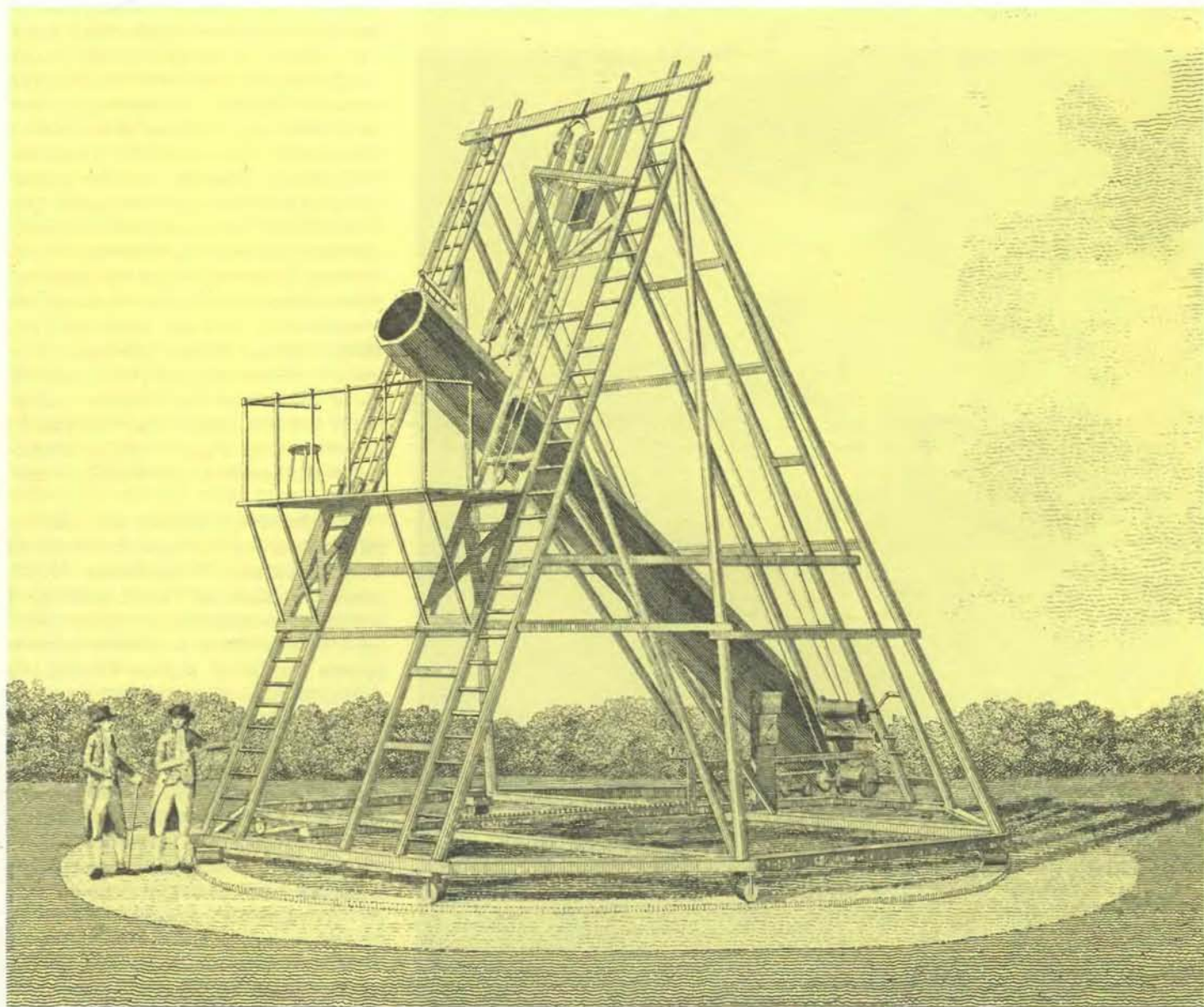
ники XVIII в., телескоп получился слишком громоздким и неудобным для систематических наблюдений\*.

**Г**ЕРШЕЛЬ продавал некоторые свои телескопы, чтобы немного увеличить доход, однако главным при их создании было желание самому наблюдать объекты, находящиеся за пределом достижимости для обычных в то время астрономических инструментов. Несмотря на свою ос-

\* Вместе с тем однозеркальная схема этого телескопа, обеспечивающая большую проникающую способность сигнала, сыграла существенную роль при изучении особо слабых туманностей. — *Прим. ред.*

новную работу органиста и желание заниматься созданием телескопов, Гершель самозабвенно отдавал бесчисленные часы знакомству со всеми небесными объектами, которые попадали в поле зрения его великолепных телескопов.

Он считал, что задача естествоиспытателя заключается в том, чтобы изучать и отмечать положение каждого встретившегося объекта ярче данной величины (т. е. доступного его телескопу). Подобно натуралистам, систематизирующим тысячи видов животных и растений, Гершель вскоре столкнулся с проблемой каталогизации объектов, которые он обнаруживал. Ни один астроном не наблю-



«БОЛЬШОЙ 20-ФУТОВЫЙ РЕФЛЕКТОР», законченный Гершелем в 1783 г., имел первичное зеркало диаметром 18 дюймов (~46 см). Самым значительным достижением, связанным с этим телескопом, была его уникальная монтировка. Наблюдатель стоял на площадке, закрепленной у верхнего отверстия телескопа и не меняющей своего положения при наклоне трубы, и управлял рукоятками точной регулировки. Всю конструкцию мог развернуть один помощник. Хотя

телескоп сначала был задуман как ньютоновский рефлектор с небольшим плоским зеркалом, отражающим изображение к расположенному сбоку окуляру, Гершель не мог смириться с потерей света, происходящей при отражении. Он убрал небольшое зеркало и, закрепив окуляр на верхней кромке трубы непосредственно в фокусе телескопа, вел наблюдения через окуляр в направлении главного зеркала телескопа.



дал так много небесных объектов, как это делал Гершель с помощью своих мощных телескопов, предпринимая при этом попытки их классификации.

Гершель взялся за дело с той же решительностью и основательностью, как и при создании телескопов. Например, он открыл и описал 848 (оптических) двойных звезд (т. е. пар звезд, видимых на небе на небольшом угловом расстоянии друг от друга), с помощью которых он надеялся определить расстояния до звезд путем измерения их параллаксов. (Когда позже он повторно исследовал некоторые из этих звезд, то обнаружил, что в ряде случаев звезды двигались одна вокруг другой. Это послужило первым прямым доказательством существования сил тяготения за преде-

лами Солнечной системы, о чем догадывался, но чего еще не мог доказать Ньютон.) Гершель составил также каталоги «сравнительной яркости звезд», расположив их в порядке уменьшения видимой яркости так точно, что в последующие годы даже небольшое изменение в светимости какой-либо из этих звезд сразу же давало о себе знать, нарушая порядок в этой последовательности.

Гершель сделал множество других открытий в Солнечной системе. Для одного из них вообще не потребовалось применять телескоп: инфракрасные лучи были им обнаружены всего лишь путем регистрации температуры термометра, помещаемого в различные участки солнечного спектра. Он заметил, что наибольшую темпе-

ратуру термометр показывал сразу же за красной границей (видимого) спектра.

Еще одно удивительное открытие принесло Гершелю всемирную известность и навсегда освободило от необходимости работать музыкантом. Вечером 13 марта 1781 г., занимаясь последним в тот день и наиболее тщательным обзором видимого неба, он обнаружил объект, который совершенно не был похож на обычную звезду: это была не светящаяся точка, а сияющий диск, видимые размеры которого возрастали пропорционально увеличительной силе телескопа. Несколькими днями спустя Гершель повторил наблюдение и обнаружил, что объект движется: следовательно, он является объектом Солнечной системы, скорее всего кометой, несмотря на отсутствие у него характерного для комет хвоста. Поскольку Гершель не проводил контрольных наблюдений для точного определения положения этого объекта, когда он объявил о своем открытии, астрономы-профессионалы (которые были менее искусными наблюдателями и имели инструменты более низкого качества) были недовольны теми трудностями, с которыми они столкнулись, пытаясь вычислить орбиту кометы. Когда, наконец, координаты объекта были точно измерены и вычислена его орбита, оказалось, что это новая планета, известная сейчас как Уран — первая планета, обнаруженная с древнейших времен.

За один вечер Гершель прославился на весь мир и вскоре после этого был избран членом Лондонского Королевского общества. После некоторой разумной «обработки» придворных кругов, ему была назначена пожизненная пенсия от короля Георга III; единственная обязанность Гершеля состояла в том, чтобы жить вблизи Виндзорского замка и называться придворным астрономом. В благодарность за это Гершель назвал открытую им планету Звездой Георга (Georgium Sidus) и в дальнейшем всегда упоминал ее под этим именем. (Во Франции многие астрономы вплоть до середины XIX в. продолжали называть эту планету «Гершель» в честь ее первооткрывателя, пока окончательно не утвердилось название «Уран», предложенное современником Гершеля, немецким астрономом Иоганом Элертом Боде.)

**П**О ИРОНИИ судьбы Гершель добился официального признания как астроном за свое открытие Урана, хотя основная область его научных интересов находилась далеко за



ГРАВИЮРА С ПОРТРЕТА ГЕРШЕЛЯ, на котором он изображен с чертежом системы планеты Уран с двумя ее спутниками, также открытых им. Первоначально Гершель назвал эту планету Звездой Георга (Georgium Sidus) в честь правившего тогда английского короля Георга III. Именно это открытие принесло Гершелю всемирную известность и обеспечило ему королевскую пенсию, однако среди проблем астрономии его главным образом интересовали звездные скопления, туманности и их взаимная связь.

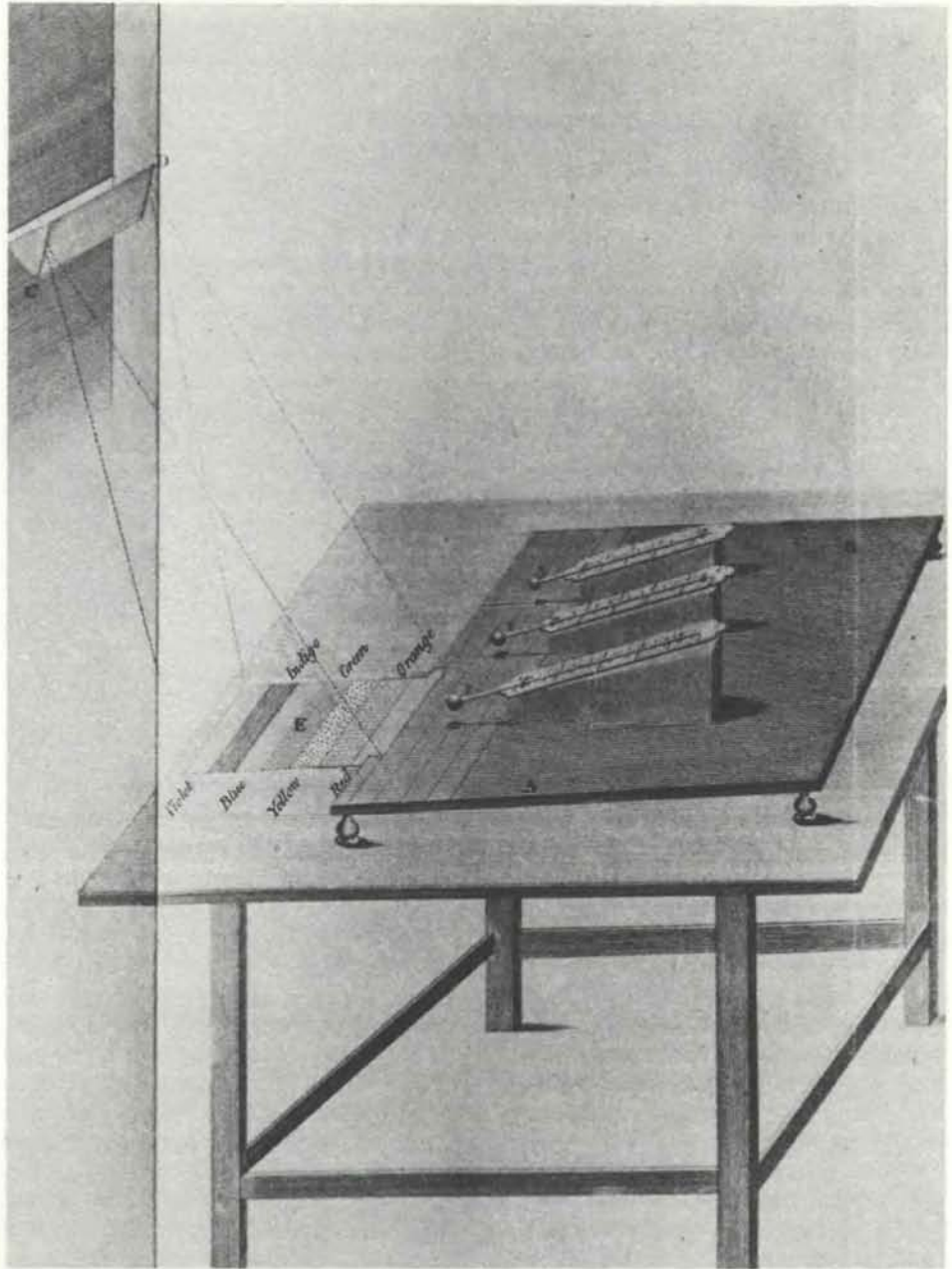


пределами Солнечной системы: его интересовали загадки маленьких светлых пятнышек, называемых туманностями. (Сейчас только области внутри галактик, заполненные разреженным газом и пылью, называют туманностями. Но во времена Гершеля это слово использовалось для любых «туманных», или неясных, объектов за пределами Солнечной системы; теперь-то мы знаем, что многие среди них оказались галактиками.)

Многолетний интерес Гершеля к туманностям подтверждается при знакомстве с первой страницей его первого журнала наблюдений: «Смотрел на светлое пятно в Мече Ориона в 5,5-футовый рефлектор; форма его не такая, как изобразил д-р Смит в своей «Оптике»; хотя есть нечто схожее; реальная форма примерно вот такая». Этим «светлым пятном» была Большая (светлая) туманность в созвездии Ориона, которую открыл и зарисовал голландский астроном и математик Христиан Гюйгенс в 1656 г.; рисунок Гюйгенса и был воспроизведен в книге Смита. С тех пор Гершель еще много раз наблюдал туманность Ориона и при этом в одном случае отметил: «Имеются явные изменения в фигуре светлой области».

«Звездочеты» XVIII в. часто встречались с такими загадочными объектами. Выдающимся астрономом того времени был Шарль Мессье, французский «охотник» за кометами, который считал постоянные светлые пятнышки на небе лишь досадной помехой в его поисках комет. В 1780 г. он составил список 68 таких объектов для того, чтобы другие астрономы не приняли их по ошибке за кометы. Гершель, который находил, что туманности достойны изучения сами по себе, получил список Мессье от своего друга и приступил к исследованию перечисленных в нем объектов. С помощью своих телескопов он увидел, что многие из них являлись просто скоплениями звезд, но некоторые казались настоящими туманностями и объектами иной физической природы.

В процессе поиска других подобных объектов Гершель сделал первое крупное открытие в звездной астрономии: «Удивительная туманность или нечто такое, названия чему я не знаю. По форме напоминает овал, почти круг, и при данном увеличении [в 460 раз] имеет около 10 или 15 [секунд дуги] в диаметре. При изменении увеличения ее яркость меняется не так сильно, как если бы это была планета, а скорее как у звезды». В течение последующих лет Гершель обнаружил еще несколько объектов подобного



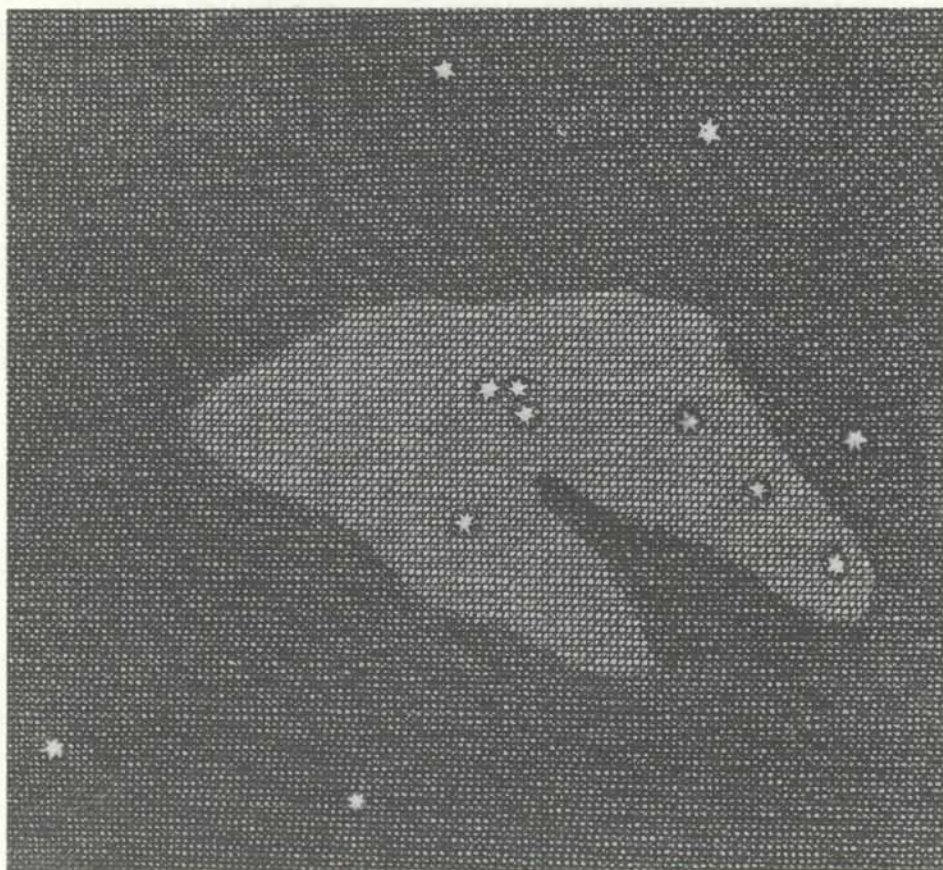
**ОТКРЫТИЕ ГЕРШЕЛЕМ ИНФРАКРАСНЫХ ЛУЧЕЙ** было сделано очень эффектно: он заметил, что термометр, помещаемый в различные участки солнечного спектра, регистрирует наибольшую температуру сразу же за красной границей видимого спектра. Изображение экспериментальной установки взято из работы Гершеля 1800 г. «Опыты по преломлению невидимых лучей Солнца», опубликованной в "Philosophical Transactions of the Royal Society of London".

рода. Он назвал их «планетарными туманностями»; этот термин астрономы используют до сих пор. Загадочно сияющие диски привели в замешательство самого Гершеля и тех иностранных астрономов, которые приезжали к нему, чтобы посмотреть на планетарные туманности и узнать его мнение об их природе.

Гершель понял, что для дальнейшего продвижения в исследовании туманностей он должен изучить значительно большее их число; его большой 20-футовый телескоп прекрасно подходил для этой задачи. Гершель решил обследовать всю область не-

бесной сферы, доступную для наблюдений в Англии, отмечая положение и делая описание всех туманностей, различимых с помощью 18-дюймового (~46 см) зеркала его телескопа. В течение последующих 20 лет он проводил ночи в холоде и тянущейся с Темзы сырости, методично «прочесывая» небо и диктуя положение и описание туманностей своей сестре Каролине, ставшей его бессменной помощницей во всех делах, связанных с астрономией. Это был один из наиболее героических этапов в истории наблюдательной астрономии, который завершился созданием двух ката-





*Saw the lucid Spot in Orion's Sword, thro' a 5 1/2 foot  
reflector; its Shape was not as Dr. Smith has  
delineated in his Optics; tho' something resembling  
it; being nearly as follows.*



*From this we may infer that there are undoubtedly  
changes among the fixed stars, and perhaps from a careful  
observation of this spot something might be concluded  
concerning the Nature of it.*

ТУМАННОСТЬ ОРИОНА (M42) была изображена в книге Роберта Смита "A Complete System of Opticks" (вверху) и зарисована Гершелем (внизу) 4 марта 1774 г. в его журнале наблюдений. Хотя книга Смита опубликована в 1738 г., изображение туманности было воспроизведено по наброску, сделанному голландским астрономом и математиком Христианом Гюйгенсом в 1656 г. Гершель был достаточно хорошим наблюдателем, чтобы сразу заметить, что «форма у нее не такая, как ее изобразил д-р Смит в своей «Оптике». Продолжая исследования в последующие несколько лет, Гершель полагал, что замечает изменения в форме туманности. Он считал, что туманность Ориона в отличие от других объектов, наблюдаемых в его телескоп, не может быть очень далеким скоплением звезд, а скорее всего является настоящей туманностью.

логов по 1000 туманностей и третьего каталога, содержащего 500 туманностей.

После смерти Гершеля его сын Джон Гершель продолжил поиски туманностей, распространив их на южное небо. Объединенный каталог Гершеля сначала под названием «Каталог туманностей и звездных скоплений» ("Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars"), был в конце концов опубликован в 1864 г.; позже он был расширен Дж. Дрейером и опубликован как «Новый общий каталог» ("New General Catalogue", NGC), который с тех пор повсеместно используется астрономами вплоть до настоящего времени.

**ЗАНИМАЯСЬ** исследованием туманностей, Гершель не ограничивался наблюдениями и составлением каталогов. Он выдвигал смелые гипотезы о природе этих загадочных объектов и их значении в общей структуре Вселенной. Именно стремление объяснить то, что он видел в свой телескоп, заставляло его в первую очередь наблюдать и составлять каталоги туманностей. Как утверждал сам Гершель, «познание строения неба всегда было конечной целью моих наблюдений». Выражая эти взгляды на природу туманностей, он включился в давнишний спор астрономов. Некоторые из них считали, что туманность есть не что иное, как скопление звезд, которое кажется светлой диффузной областью лишь потому, что сильно удалено от Земли, подобно Млечному Пути. Другие ученые полагали, что туманности в прямом смысле оправдывают свое название и состоят из светящейся разреженной субстанции, которая отличается от вещества звезд. Поскольку Гершель был уверен, что различает изменения в форме Большой туманности Ориона, он заключил, что она состоит не из звезд. Если бы туманность была очень удаленной звездной системой, рассуждал он, то даже малейшие угловые перемещения ее компонентов на таких расстояниях потребовали бы гигантских скоростей движения; звезды не могут двигаться так быстро, чтобы вызвать изменения формы туманности Ориона. Но телескопы Гершеля показывали, что некоторые «туманности» Мессье являются звездными скоплениями. Как же в таком случае различить истинную и ошибочную точки зрения на природу туманностей?

Гершель считал, что может определить, состоит ли туманность из звезд или газа, только на основе ее внешнего вида. Некоторые туманности сияли непрерывным «млечным» светом

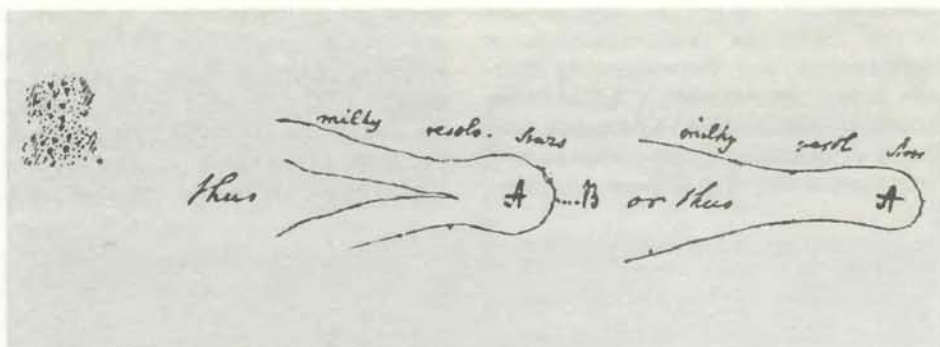


и поэтому он полагал, что это истинные туманности. Другие имели «пятнистую поверхность», и Гершель думал, что это скопления звезд, которые можно наблюдать отдельно с помощью более мощного телескопа. Это убеждение стало основой его первого крупного теоретического доклада в Лондонском Королевском обществе «О некоторых наблюдениях, имевших целью исследование строения неба», который он сделал 17 июня 1784 г.

А всего через пять дней Гершель направил телескоп на M17 (объект под номером 17 из списка Мессье), известный также под названием туманности Омеги. К своему ужасу, он обнаружил, что она содержит как нечто наподобие «тумана», так и отдельные плотные сгустки. «Яркость не одинакова по всей поверхности, и есть несколько мест, где млечная туманность представляется переходящей в разрешимую [на отдельные звезды. — Перев.]... Это необходимо подтвердить [наблюдениями] в очень хорошую ночь; возможно, удастся выявить то различие между двумя видимыми проявлениями туманностей, которого недостает и которое могло бы привести нас к догадке, что данная туманность представляет собой грандиозный пласт очень удаленных неподвижных звезд, причем некоторые его части настолько близки к нам, что разрешаются [на отдельные звезды], тогда как основная масса настолько удалена, что имеет вид размытого облака».

В результате Гершель начал подозревать, что различие между млечными (размытыми) и разрешающими (структурными) туманностями не связано с их физической природой, а обусловлено расстоянием. Он считал, что его предположение подтверждается конфигурацией объекта M27 (туманность Гантель). Звезды можно было заметить вдоль оси туманности и в центре ее двух внешних шарообразных областей, а весь объект был окружен диффузной оболочкой. Гершель объяснял необычную структуру туманности только эффектом расстояния: туманность представляет собой гигантский кометообразный звездный конгломерат с ядром, обращенным к Земле, и хвостом, конусообразно расширяющимся в противоположную от Земли сторону. Разрешаемые звезды принадлежат ядру; остальные образуют размытую оболочку (см. рисунок сверху).

**Н**ЕСМОТЯ на противоречивый этому предположению пример, который он сам отметил в туманности Ориона, Гершель стал сомневаться



ТУМАННОСТЬ ГАНТЕЛЬ (M27) (слева) и два варианта объяснения ее внешнего вида (справа), нарисованные Гершелем в его журнале наблюдений в 1784 г. Он предполагал, что огромное и очень далекое кометообразное скопление звезд (A) будет очень похоже на туманность Гантель для наблюдателя (B), находящегося перед ним: ближайшие звезды будут видны по отдельности, более далекие предстанут как «разрешаемая» туманность, а самые дальние сольются в сплошную однородную туманность. До этого Гершель допускал, что такие туманности состоят из светящейся субстанции, не похожей на вещество звезд; наблюдение объекта M27 убедило его в том, что этот тип туманностей есть просто результат их большой удаленности.

существовании светящейся субстанции, наблюдаемой в виде разреженных туманностей. Это новое мнение поддерживалось его же наблюдениями, что области неба, прилегающие к туманностям, в большинстве случаев лишены звезд. «Мне представляется весьма удивительным тот факт, что внутри и около областей, где находится много туманностей, имеет место необычайная бедность звезд; так что часто в поле зрения (телескопа) не было ни одной звезды, — писал он в журнале наблюдений. — Если эти туманности являются скоплениями звезд, то последние, вероятно, скупивались (в эти туманности. — Ред.) из соседних областей [по-видимому, вследствие взаимного притяжения]\*».

Гершель допускал теоретически, что все туманности (возможно, кроме планетарных туманностей, распределение яркости которых чрезвычайно однородно) состоят из звезд, собранных вместе за длительное время под влиянием сил тяготения. Чтобы эта теория выглядела убедительной, во время своего второго выступления в Лондонском Королевском обществе он просто не упомянул о тех изменениях, которые он обнаружил в туманности Ориона и которые противоречили его новой космогонии. Туманность Ориона была представлена как звездная система, но настолько удаленная, что она не могла быть разрешена на отдельные звезды даже с помощью телескопов Гершеля. И так

как она была очень далекой и занимала огромную область на небе, это должна была быть звездная система невероятных размеров, которая могла «презойти по величии наш Млечный Путь».

Это утверждение оставляло многие вопросы нерешенными. Что представляют собой планетарные туманности и как они вписываются в эту космогонию? Какова окончательная судьба звездных систем, сконденсировавшихся под действием гравитации? Возможно, Гершель предполагал, что планетарные туманности являются звездными системами в последней стадии гравитационного коллапса и поэтому «звезды, образующие эти необычные туманности в результате неких нарушений или утраты энергии\*\*», не могут больше поддерживать своего первоначального положения ... наконец, собираются вместе и вследствие нескольких последовательных или же одного большого соударения объединяются в одно новое тело». Это последнее предположение могло объяснить природу новой «звезды», открытой в 1572 г. датским астрономом Тихо Браге. Предположение Гершеля подтверждало его мысль о том, что действием сил тяготения можно объяснить не только стабильные орбиты планет и их спутников. Он понимал, что эволюцию туманностей можно рассматривать также с учетом вездесущих сил тяготения.

Однако представления Гершеля о

\* Речь идет об открытой впервые В. Гершелем в 1784 г. тенденции туманностей к объединению в скопления и протяженные пласты. — Прим. ред.

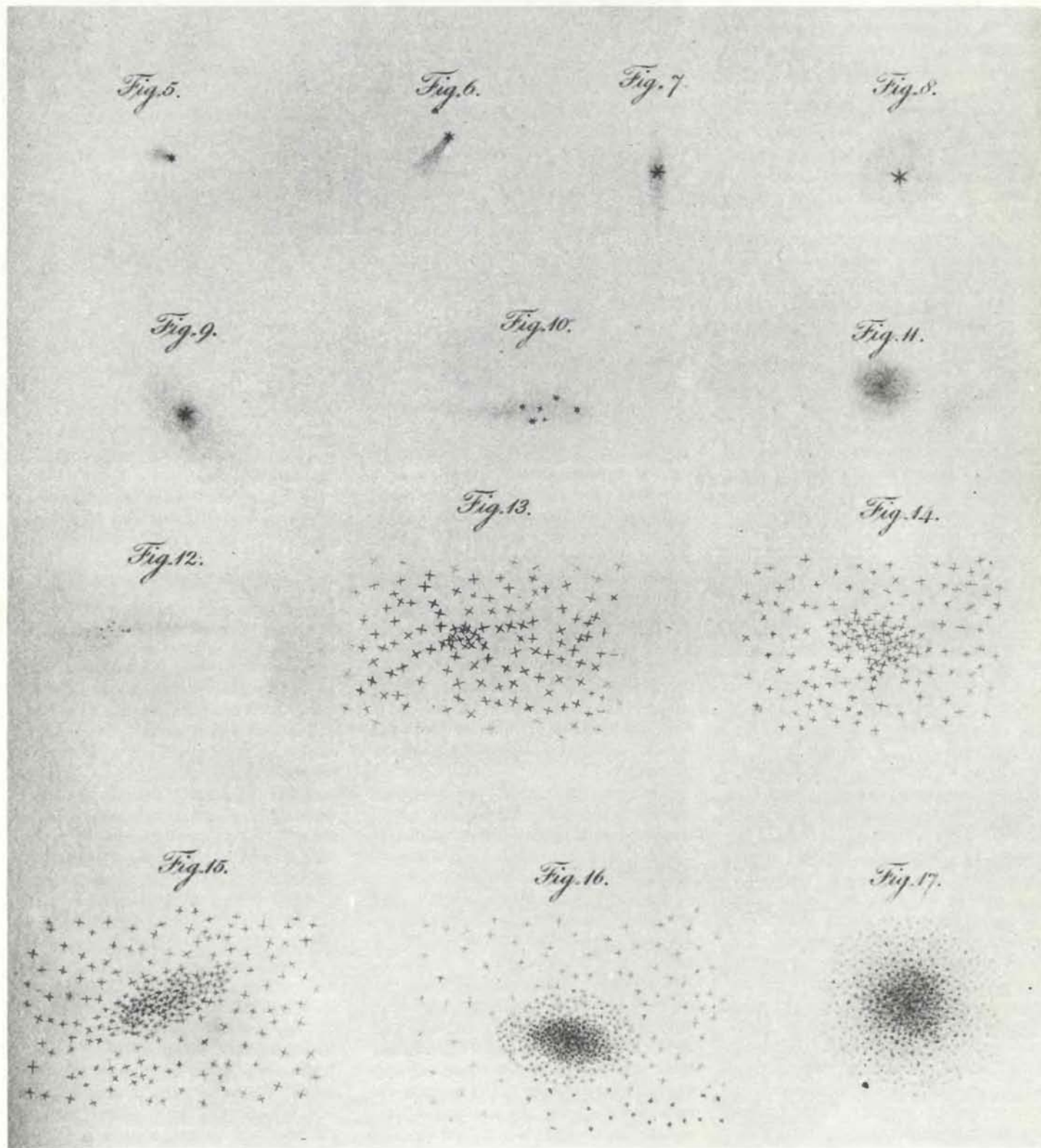
\*\* Причину этого Гершель видел в чрезмерном сближении звезд и их торможении при движении сквозь атмосферы друг друга. — Прим. ред.



динамических процессах, придающих форму звездным скоплениям, были неполными. Как формируются звезды и что происходит с веществом, вовлеченным в гравитационный коллапс? Гершеля не удовлетворяли космогонические представления, согласно

которым все туманности представляют собой просто скопления звезд. Решение своих проблем он нашел 13 ноября 1790 г. В этот вечер, занимаясь обычным обзором туманностей, Гершель столкнулся с «совершенно необычным явлением: звездой при-

мерно 8-й величины со слабо светящейся атмосферой!» Этим объектом оказалась планетарная туманность NGC 1514, имеющая необычно яркую звезду в центре. (Поскольку она не была похожа на однородный слабо светящийся диск, Гершель классифи-



НЕКОТОРЫЕ ЗВЕЗДЫ, ТУМАННОСТИ И СКОПЛЕНИЯ, выбранные Гершелем из тысяч других, содержащихся в его каталогах, для иллюстрации различных этапов эволюции звезд, описываемых его теорией. Приведены рисунки из работы Гершеля, о которой он докладывал в Лондонском Королевском обществе в 1814 г. Согласно этой теории, звезды появляются в результате сжатия и уплотнения ту-

манностей и «растут», притягивая к себе и поглощая другие туманности. Сформировавшиеся таким образом звезды под действием взаимного тяготения собираются в скопления. Заключительная стадия представлена плотным шаровым скоплением (внизу справа), которое сжимается в направлении своего центра.



цировал ее не как планетарную туманность, а как «туманную звезду».) Как это можно было объяснить? Ответ пришел внезапно: это звезда, конденсирующаяся из облака светящегося вещества под действием гравитации. Открытие заставило его признать существование истинных туманностей и опровергло его раннюю гипотезу, согласно которой все туманности являются скоплениями звезд, неразличимых по отдельности из-за большого расстояния; так, наконец, он смог включить планетарные туманности в свою уточненную космогоническую теорию.

Теперь Гершель считал, что эволюционный цикл звезд начинается с разреженного газового облака, которое под действием гравитации постепенно разбивается на несколько небольших уплотняющихся фрагментов. В процессе конденсации эти фрагменты становятся сначала аморфными туманностями, а затем планетарными. В итоге большая часть светящегося вещества туманности собирается в звездах, хотя некоторая часть диссипирует (распыляется). Под действием взаимного тяготения рассеянное скопление вновь сформированных звезд постепенно превращается в плотно упакованное шаровое скопление. Последняя стадия этого цикла наступает, когда скопление коллапсирует. Светящееся вещество, которое разлетается по Вселенной в результате коллапса таких скоплений, вместе с постоянным излучением звезд и туманностей собирается то там, то тут в туманные облака, и, таким образом, цикл может начинаться сначала.

Подобно частям сборной головоломки, картины Вселенной постепенно начали собираться в единую теорию. В свою космогоническую теорию Гершель включил даже образование планет. Он допускал в принципе, что небольшие облака туманностей могут притягиваться к той или иной звезде и принимать таким образом форму кометы. Каждый раз когда комета встречается со звездой, часть ее вещества будет падать на звезду, пополняя ее, в то время как «жар» звезды будет способствовать притоку вещества в комету. После множества таких встреч комета может превратиться в планету. Считая, что звезды и планеты формируются совместно из одного и того же первичного вещества, Гершель еще более подчеркивал единство Вселенной.

**Ш**ИРОТА и новизна его теорий вместе с несколько упрощенным стилем сочинений ставили Гершеля в центр полемики среди ученых на протяжении всей его жизни. Кол-

леги из Лондонского Королевского общества считали его либо гением, либо шарлатаном. Некоторые члены общества были настроены враждебно к нему, вероятно, потому, что Гершель в отличие от других известных наблюдателей пытался объяснить то, что видел. Более того, он считал, что это его прямая обязанность.

Методы наблюдения Гершеля и многие из его теоретических исследований отличались виртуозностью. Например, он показал, как можно применить в астрономии статистику, когда подсчитывал число звезд, наблюдаемых в различных направлениях, и, полагая, что плотность звезд в пространстве постоянна, строил трехмерную модель нашей звездной системы. Он был первым, кто обнаружил систематические особенности в «собственных», или индивидуальных, движениях звезд и объяснил их как результат движения Солнечной системы в пространстве в направлении созвездия Геркулес.

Хотя многие выводы Гершеля справедливо критиковались его современниками, никто не мог бы отрицать его успехов в строительстве огромных телескопов, а также важность его открытий в пределах и за пределами Солнечной системы и значения составленных им обширных каталогов двойных звезд и туманностей. Благодаря этим достижениям он получил право публиковаться в «Философских трудах Лондонского Королевского общества» (*“Philosophical Transactions of the Royal Society of London”*). Таким путем получила распространение и его теория «строения неба».

Работы Гершеля касались таких вопросов, как эволюция звезд и планет, формирование галактик и природа туманностей; все это становилось теперь предметом изучения астрономии. Многие теоретические построения Гершеля оказались предвестниками современных космологических теорий: они определенно продемонстрировали плодотворность идеи о решающей роли гравитации в формировании Вселенной. Однако наиболее существенным наследием Гершеля следует считать отдельные результаты его галактических и внегалактических исследований, а скорее то, что он первым рискнул изучать эти области космоса. Тем самым Гершель положил начало новому направлению развития астрономии. Интеллектуальный горизонт каждого следующего поколения астрономов должен был все более отодвигаться за пределы Солнечной системы, которая «монополизировала» внимание астрономов в догершелевы времена.

## Издательство МИР предлагает:

### Ф. Хелзен, А. Мартин КВАРКИ И ЛЕПТОНЫ. ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ ЧАСТИЦ

Перевод с английского

Книга представляет собой введение в теорию кварков и лептонов, написанное на современном уровне с учетом самых последних достижений физики элементарных частиц. Она заполняет пробел в отечественной литературе по физике элементарных частиц для читателей среднего уровня подготовки по квантовой и релятивистской физике, имеющих предварительное знакомство лишь с основами нерелятивистской квантовой механики и специальной теории относительности.

После вступительного обзора основных свойств частиц обсуждаются свойства симметрии и вводится кварковая модель адронов. Далее вводится понятие об античастицах и обсуждаются проблемы электродинамики скалярных и спинорных частиц. Последующие главы содержат более глубокое обоснование кварковой структуры адронов, понятия партонов и основные идеи квантовой хромодинамики. Заключительные главы посвящены слабым и электрослабым взаимодействиям, идеям калибровочной симметрии и модели Вайнберга—Салама.

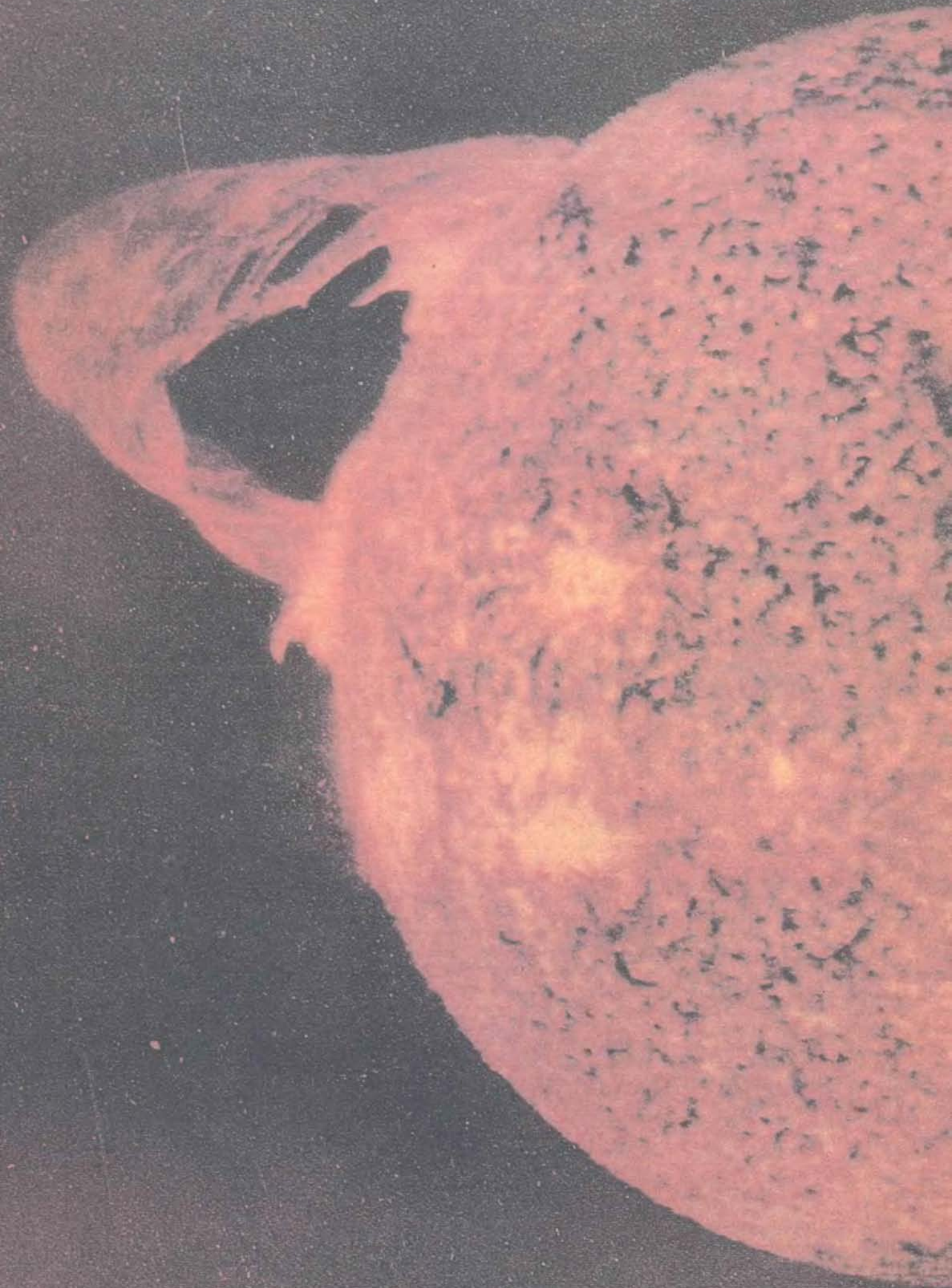
Для студентов и аспирантов физиков (как теоретиков, так и экспериментаторов).

1987, 25 л. Цена 3 р.80 к.

Предварительные заказы на книгу выпуска 1987 г. принимаются магазинами научно-технической литературы с апреля-мая 1986 года.









# Солнечные протуберанцы

*Среди наиболее впечатляющих явлений,  
наблюдаемых в атмосфере Солнца,  
выделяются так называемые протуберанцы — выступы,  
видимые на краю диска светила*

Х. Л. БАЛЬЕСТЕР, Й. КЛЕЧЕК

**СОЛНЦЕ** — огромный плазменный шар, масса которого превосходит массу Земли в 300 тыс. раз. Большая часть его массы скрыта от глаз наблюдателя. Телескопы и другие астрономические инструменты позволяют видеть только атмосферу Солнца. Границу, отделяющую невидимую внутреннюю часть Солнца от видимой его атмосферы, условно можно считать солнечной «поверхностью». В действительности это самый глубокий слой атмосферы, называемый фотосферой. Его можно наблюдать невооруженным глазом при восходе и заходе Солнца, а также в то время, когда солнечный диск закрыт не очень плотными облаками. Температура фотосферы около 6 тыс. К, плотность около  $10^{-7}$  г/см<sup>3</sup>. Из этого слоя толщиной порядка 300 км излучается почти вся солнечная энергия.

Над фотосферой простирается более разреженный слой плотностью  $10^{-9}$ — $10^{-10}$  г/см<sup>3</sup>, обладающий более высокой температурой ( $10^4$  К) и толщиной раз в 10 больше, чем у фотосферы. Вклад этого слоя, называемого хромосферой, в общее излучение Солнца намного меньше, чем фотосферы. Хромосфера сильнее всего излучает световые волны определенных длин волн. В видимой области это прежде всего красная линия водорода H $\alpha$ , что и определяет розовый цвет хромосферы (т.е. «сферы цвета») при наблюдении во время солнечных затмений.

Над хромосферой находится сильно разреженный слой плотностью  $10^{-14}$ — $10^{-17}$  г/см<sup>3</sup> и очень высокой температурой (около  $2 \cdot 10^6$  К), называемый солнечной короной. В ней наблюдаются плазменные облака раз-

личной формы, плотность которых в 100—1000 раз больше, чем окружающей среды, а температура во столько же раз меньше — всего  $10^4$  К. По цвету, плотности и температуре эти облака близки к хромосфере Солнца; это и есть солнечные протуберанцы.

Первые упоминания о протуберанцах восходят к эпохе средневековья. Их удавалось наблюдать во время полных затмений Солнца. При наблюдении этих редких кратковременных явлений в течение двух-трех десятков секунд видна хромосфера и несколько дольше видна корона и протуберанцы. Протуберанцы выделяются на слабом фоне короны в виде петель, струй, облаков и т.п.

Протуберанцы довольно подробно описал Вассениус в 1733 г., дав им название «красное пламя». Он принял их за облака в атмосфере Луны. Столетие спустя при наблюдении полного затмения Солнца астрономы приняли их за горы на Солнце. В середине прошлого века Эри и Кэррингтон высказали предположение, что это облака на Солнце. С 1860 г. при наблюдении солнечных затмений стали применять фотографию, благодаря чему удалось с большей точностью определить размеры и форму протуберанцев, а новые приборы, использованные впоследствии, позволили получить значительно больше данных о них.

В 1868 г. были получены первые спектры протуберанцев, из которых было установлено, что они представляют собой массы раскаленных газов. Увеличив щель спектрографа, ученые стали получать монохроматические изображения. Спектрогелиограф, дающий такие изображения Солнца, впервые был применен в 1890 г. и дал

возможность наблюдать протуберанцы не только за лимбом, но и на солнечном диске в виде волокон. В 1936 г. французский астроном Б. Лио изобрел коронограф, позволяющий имитировать полное солнечное затмение. С помощью этого прибора, снабженного двулучепреломляющим фильтром\*, который пропускает только излучение, соответствующее линии H $\alpha$ , на пленке было запечатлено изображение протуберанцев. В 60-е годы впервые были проведены измерения магнитных полей при помощи магнитографа, который сконструировали В. Бэбкок и Г. Бэбкок, что позволило благодаря эффекту Зеемана по излучению в спектральных линиях протуберанцев получить продольную составляющую магнитного поля. На протяжении последних лет были сделаны новые шаги в изучении инфракрасного, радио-, ультрафиолетового и рентгеновского излучения протуберанцев. Отдельные наблюдения осуществлены за пределами земной атмосферы при помощи ракет, искусственных спутников и орбитальных станций.

**ПОСЛЕ** систематических наблюдений волокон В. Бэбкок и Г. Бэбкок пришли к выводу, что протуберанцы расположены вдоль нейтральных линий раздела между зонами различной полярности магнитного поля какой-либо активной области на Солнце, или по линии, разделяющей две активные области с разной полярностью. Последующие наблюдения наводят на мысль, что необходимым условием существования волокон и, возможно, их образования является противоположное направление вертикальной составляющей локального магнитного поля с каждой стороны данного волокна. В пределах активных областей и между ними по излучению в линии H $\alpha$  перед появлением волокон-протуберанцев можно наблюдать, как тончайшие нити плазмы,

\* Интерференционно-поляризационный светофильтр. — *Прим. ред.*

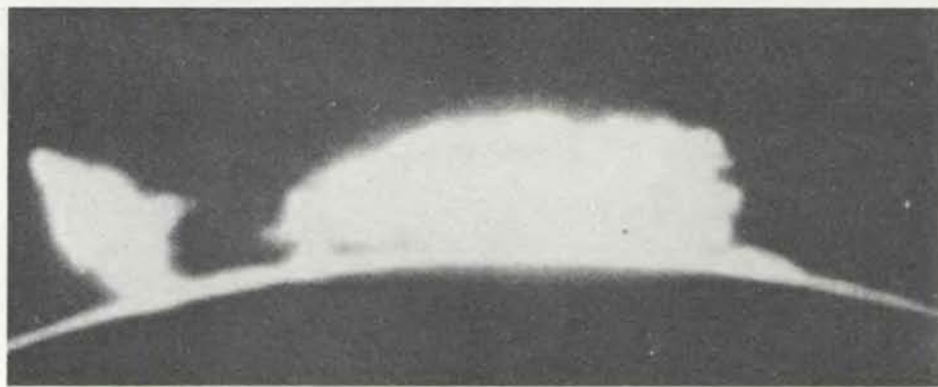
**ЭРУПТИВНЫЙ ПРОТУБЕРАНЕЦ**, наблюдавшийся со «Скайлэба» в ультрафиолетовом диапазоне (линия He II, 304 Å) 19 декабря 1973 г. Протуберанец поднялся над краем Солнца на высоту 576 тыс. км. Он состоял из вещества с различной температурой — от 20 тыс. до 70 тыс. К. Заметна упорядоченная структура протуберанца, следующая за конфигурацией потенциального магнитного поля. (Публикуется с любезного разрешения Научно-исследовательской лаборатории ВМС США.)



«рисующие» структуру магнитного поля, вытягиваются одно за другим, образуя канал волокна. Постепенно эта структура покрывается веществом, из которого образуется собственно волокно. Как правило, в пределах активной области формирование волокна продолжается от нескольких часов до одних суток; вне пределов активной области их формирование происходит медленнее.

Размеры волокна колеблются от 60 тыс. до 600 тыс. км в длину, от 15 тыс. до 100 тыс. км в высоту и от 4 тыс. до 15 тыс. км в толщину. Средняя продолжительность «жизни» волокон зависит от того, связаны ли они с развивающимися или исчезающими активными областями или с их остатками. На низких широтах волокна, вероятно, «живут» в среднем в течение двух оборотов Солнца, в то время как на высоких широтах — в течение более пяти оборотов Солнца. Если размеры волокон велики, то продолжительность их существования обратно пропорциональна напряженности магнитных полей, с которыми они связаны. Волокна образуются преимущественно в высоко- и низкоширотных областях обоих полушарий Солнца. На низких широтах они образуются на широте  $30^\circ$  в начале солнечного цикла, затем смещаются к экватору, доходя до широты  $17^\circ$  в конце цикла. В высокоширотных районах волокна становятся заметными спустя 3 года после максимума солнечных пятен, между широтами  $40$  и  $50^\circ$ , находясь там вплоть до минимума, и в начале очередного цикла они начинают перемещаться к более высоким широтам, достигая полюсов к эпохе следующего максимума; впоследствии они исчезают. Из-за эффекта дифференциального вращения Солнца волокна вытягиваются друг за другом, образуя на широтах около  $70^\circ$  так называемый «венеч».

**КАК ПРАВИЛО**, протуберанцы исчезают, медленно растворяясь в окружающей среде или претерпевая эруптивные изменения. В первом случае речь идет о не вполне сформировавшихся протуберанцах. Возможно, данные темпы накопления вещества, образующего волокно, недостаточны для пополнения масс, истекающих из протуберанца в хромосферу, что ведет к полному исчезновению волокна. Извержение протуберанца (эрупцию), по-видимому, можно считать нормальным явлением в ходе его развития, когда одна часть протуберанца выбрасывается в корону со скоростью  $200\text{--}400$  км/с, становясь невидимой, тогда как оставшаяся другая его часть падает и втекает в хромосферу.

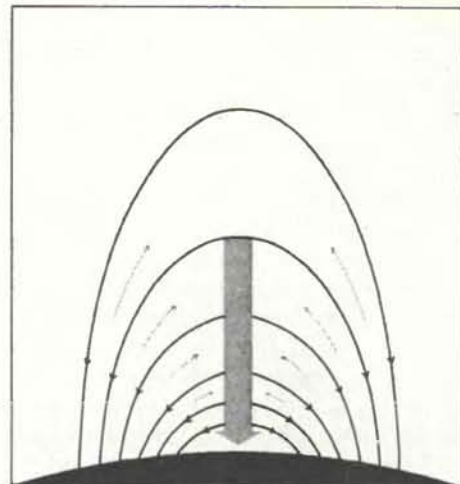


**СПОКОЙНЫЙ ПРОТУБЕРАНЕЦ** типа AN, снятый на киноленту Р. Данном 28 сентября 1956 г. на Астрономической обсерватории Сакраменто-Пик. Спокойные протуберанцы подобного типа получили название «растущего гриба». Наблюдается перетекание вещества из одних частей протуберанца в другие и в хромосферу. 29 сентября того же года протуберанец превратился в эруптивный, поднявшись на высоту 250 тыс. км над солнечным лимбом.

Масса, потерянная Солнцем в виде эруптивного протуберанца, оценивается в  $2 \cdot 10^{15}$  г, а энергия, увлеченная им, в  $10^{23}$  Дж. Эруптивная стадия развития протуберанца, по-видимому, оказывает одинаковое воздействие на полярные и экваториальные волокна. Остается невыясненной причина превращения протуберанца в эруптивный, хотя, вероятно, это вызвано возникновением магнитного потока в непосредственной близости от него или вспышками, происходящими поблизости (см. статью: J. I. García de la Rosa, F. Herrera, M. Vázquez, *Las fulguraciones solares. "Investigación y Ciencia"*, декабрь, 1982 г.), которые могут вызывать нестабильность магнитного поля протуберанца.

Видимый спектр протуберанца несет информацию о химическом составе и физических условиях его вещества. Сплошной спектр, несмотря на его слабую интенсивность, обусловлен рассеянием фотосферного излучения на свободных электронах в протуберанце; это позволяет определить количество свободных электронов в данном объеме вещества, т.е. степень ионизации плазмы протуберанцев. В линейчатом спектре самыми заметными являются линии водорода. Они образуют серию, начинающуюся линией  $H\alpha$  и заканчивающуюся линиями в ультрафиолетовой области спектра. Остальные линии принадлежат металлам (Fe I, Fe II, Ti I, Sc II и другим\*), относительная интенсивность которых изменяется в зависи-

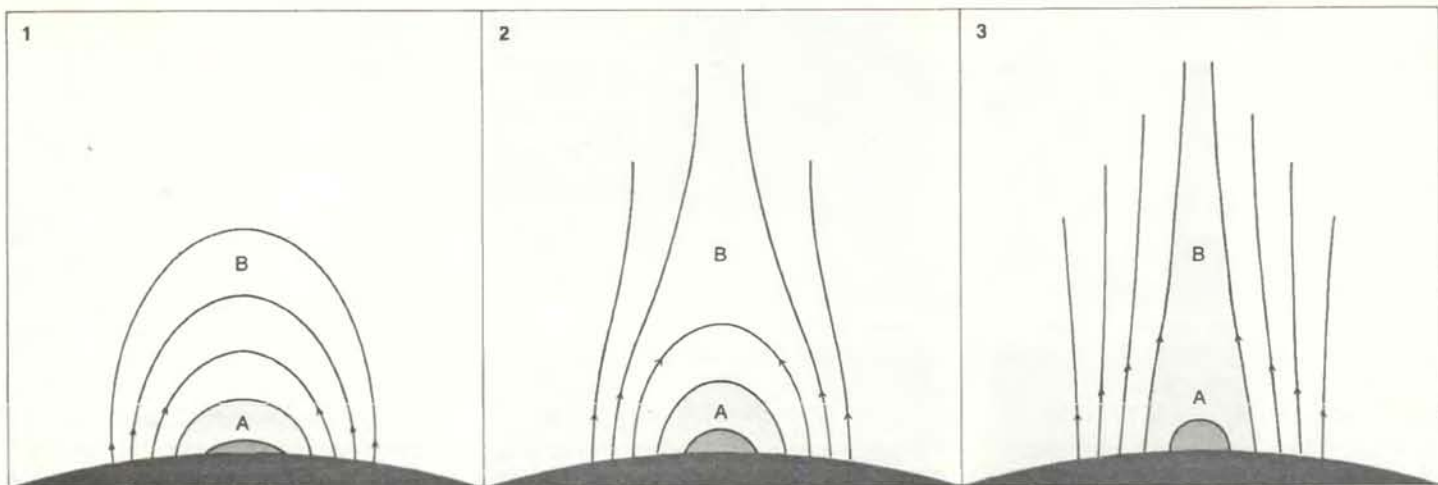
мости от типа протуберанцев. Колебание в широких пределах относительной интенсивности линий He I, He II и линий металлов в зависимости от типа протуберанцев использовали Г. Зири и Э. Тандберг-Хансен, разработавшие классификацию их спектров. Ширина профилей линий зависит от скорости движения атомов, что позволяет определить кинетическую



**ОБРАЗОВАНИЕ ПРОТУБЕРАНЕЦА** в корональной аркаде. Плазма втягивается вдоль силовых линий магнитного поля в область неустойчивости, где остывает и образует уплотнение, из которого вещество стекает в хромосферу в виде вертикальных волокон, наблюдаемых в спокойных протуберанцах. Такова динамическая модель спокойного протуберанца, объясняющая уход вещества в хромосферу и его пополнение. Без пополнения вещества протуберанец постепенно исчезнет; при исчезновении пополнение вещества происходит медленнее, чем его уход в хромосферу.

\* Римская цифра после обозначения элемента определяет стадию ионизации: I — нейтральный атом, II — ионизованный, III — дважды ионизованный и т.д. — *Прим. ред.*





**ОБРАЗОВАНИЕ ПРОТУБЕРАНЦА** в токовом слое. На схеме 1 показана структура магнитного поля активной области перед началом вспышки, вытягивающей силовые линии, как изображено на схеме 2. В области В, расположенной между магнитными полями противоположного направления, возникает токовый слой, в котором может образоваться

спокойный протуберанец. Впоследствии (схема 3) отдельные силовые линии пересоединяются над протуберанцем и под ним, придавая ему характерные очертания струи и поддерживая его в таком состоянии. (Публикуется с любезного разрешения М. Куперуса и Э. Тандберг-Хансена.)

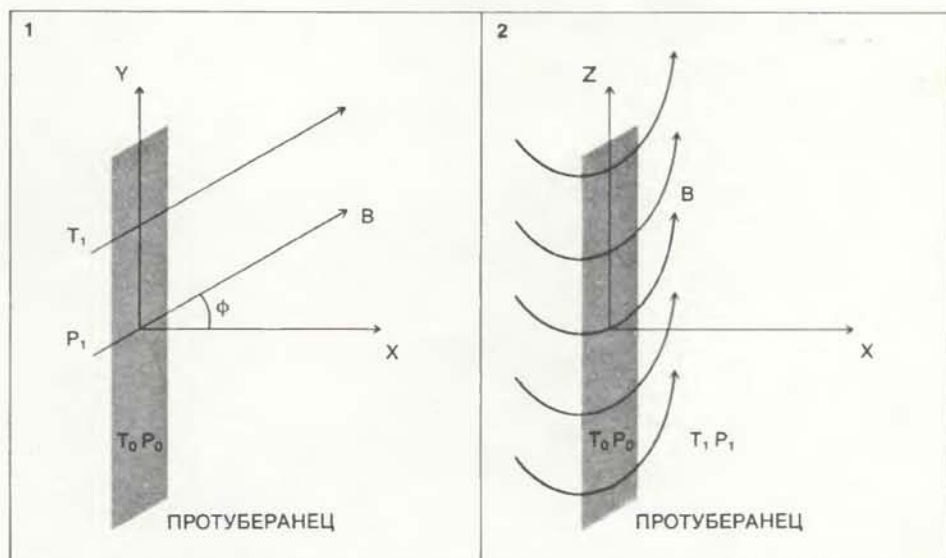
температуру газа и скорость турбулентных движений в нем.

**В АКТИВНЫХ** протуберанцах физические условия совсем иные, чем в спокойных. Если предположить, что все спектральные линии возникают в плазме с одинаковой температурой, то оказывается, что температура спокойного протуберанца примерно 6 тыс. К, тогда как температура активных протуберанцев заключена в пределах  $10^4$ — $2 \cdot 10^4$  К. Концентрация частиц колеблется от  $10^{10}$  до  $10^{13}$  частиц на  $1 \text{ см}^3$ , что соответствует плотности  $10^{-14}$ — $10^{-11} \text{ г/см}^3$ . Некоторые линии ультрафиолетового спектра протуберанцев возникают в наиболее «горячих» областях, другие — в плазме с более низкой температурой. Результаты анализа ультрафиолетовой области спектра могут сильно отличаться от результатов анализа линий видимого спектра. Ультрафиолетовый спектр, полученный при помощи аппаратуры на борту искусственных спутников OSO-8 (Orbital Solar Observatory) и SMM (Solar Maximum Mission), показывает, что протуберанцы, вероятно, образованы силовыми трубками магнитного поля разной температуры. В отдельных протуберанцах более холодные трубки располагаются равномерно, тогда как более «горячие» локализованы в отдельных областях. Диапазон температур составляет  $3 \times 10^4$ — $10^5$  К, а плотность электронов  $3 \cdot 10^{11}$  частиц на  $1 \text{ см}^3$ .

**ВСЕ ДАННЫЕ** указывают на то, что граница между протуберанцами и короной выглядит нечетко и что

протуберанцы окружены более нагретыми слоями вещества, образующими переходную область, аналогичную той, которая существует между хромосферой и короной. Изучение рентгеновской области электромагнитного спектра дало немного данных о протуберанцах. В частности, обнаружено рентгеновское излучение от-

дельных протуберанцев, имеющих форму петли, а также связь рентгеновского излучения с активизацией волокон, хотя эти данные не получили еще полного подтверждения. Волокна наблюдаются в спектре поглощения в миллиметровом и сантиметровом диапазонах длин волн. Наблюдения в радиодиапазоне показали, что



**ПРОТУБЕРАНЦ МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ** в виде очень тонкого слоя вещества и ввести систему отсчета с осью OY, проходящей вдоль протуберанца, осью OZ, перпендикулярной солнечной «поверхности», и осью OX вдоль нормали к протуберанцу. Модель удержания спокойных протуберанцев предложили Милн, Прист и Робертс в 1979 г. (слева): силовые линии магнитного поля не перпендикулярны протуберанцу, как в модели Киппенхана—Шлютера (К—Ш), а образуют некоторый угол  $\phi$ . При  $\phi = 0$  эта модель аналогична модели К—Ш. Справа показано искривление силовых линий, удерживающих вещество. В модели К—Ш температуры протуберанца и короны приняты одинаковыми. А в данной модели они различны:  $T_1, P_1$  — температура и давление короны,  $T_0, P_0$  — температура и давление протуберанца. (Публикуется с любезного разрешения Милна, Приста, Робертса.)



размеры волокон больше и существуют они в течение более длительного времени; в оптическом диапазоне этого не наблюдалось. Исследования в диапазоне миллиметровых волн позволили установить яркостную температуру волокон — около 6 тыс. К, что на 400 К ниже, чем температура соседней невозмущенной хромосферы. В диапазоне сантиметровых волн полученные значения составляют от 7 тыс. до 14 тыс. К, на 1 тыс. — 5 тыс. К ниже температуры соседней атмосферы. (Яркостная температура — температура абсолютно черного тела, интенсивность излучения которого в интервале частот от  $\nu$  до  $\nu + d\nu$  такая же, как у наблюдаемого источника. Яркостная температура данного источника может значительно изменяться по спектру в зависимости от частоты.)

При наблюдении в диапазоне миллиметровых волн после внезапного исчезновения волокна разность между яркостной температурой в области волокна и рядом с ним значительно

уменьшается, достигая примерно 200 К. По результатам исследований, проведенных на волнах 3,5 и 9,5 мм, концентрация электронов может составлять  $5 \cdot 10^{10}$  частиц на  $1 \text{ см}^3$ . Протуберанцы можно наблюдать в эмиссионном спектре в диапазонах сантиметровых и миллиметровых волн при условии, что они находятся в течение более одной минуты за пределами края диска Солнца.

Волокна связаны с областями пониженной яркостной температуры. Среди ученых нет единого мнения о природе этих снижений, обнаруживаемых радиометодами. Одним из объяснений может служить структура самой короны: вокруг протуберанцев корона представляет собой полость, над которой простирается ряд «арок», их можно видеть при наблюдении К-короны\* на лимбе. По-види-

\* К-корона — та часть излучения солнечной короны, которая обусловлена рассеянием света фотосферы на свободных электронах. — *Прим. ред.*

тому, она соответствует области, плотность которой на порядок ниже, чем плотность невозмущенной части короны, и размеры которой по ширине и высоте вдвое превосходят размеры самих волокон. Наблюдения рентгеновского излучения на диске Солнца подтверждают это, хотя маловероятно, чтобы отсутствие вещества при температуре короны само по себе объясняло подобные понижения, наблюдаемые в радиодиапазоне. Исследования, проведенные с орбитальной станции «Скайлэб» в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах, указывают на наличие переходного слоя между хромосферой и короной, в котором температура растет от  $10^4$  до  $10^6$  К. Почему же протуберанцы могут существовать, сохраняя столь низкую температуру в короне, температура которой намного выше? Причина этого связана с магнитной изоляцией.

Свойства протуберанцев поддаются объяснению в рамках магнитной гидродинамики. Этот раздел физики изучает явления, оперируя законами механики жидкостей и электромагнетизма. Применение магнитной гидродинамики для изучения протуберанцев основывается на природе последних: они состоят из плазмы, обладающей очень высокой проводимостью и находящейся в магнитном поле. Можно считать, что основные компоненты протуберанцев — плазма и магнитное поле. Солнечные протуберанцы связаны с магнитными полями, «всплывающими» из слоев, лежащих под фотосферой. Они пронизывают фотосферу и хромосферу и простираются в корону. Если в магнитных силовых трубках находится корональная плазма, то они принимают форму арок, петель или лучей короны, наблюдаемых при помощи рентгеновского телескопа, орбитального коронографа или с Земли с применением соответствующих фильтров, например для линии Fe XIV. Если магнитные силовые трубки заполнены низкотемпературной плазмой, то они имеют форму протуберанца, что можно наблюдать по линиям водорода ( $H\alpha$ ), ионизованного кальция и гелия.

Методы, обычно используемые при определении магнитных полей протуберанцев и нижней части короны, делятся на две группы: методы, основанные на воздействии магнитного поля на электромагнитное излучение (эффект Зеемана, эффект Ханля), и методы, основанные на теоретическом предположении, что поле потенциально. Эффект Зеемана вызывает расщепление спектральной линии на три составляющие:  $p$ -составляющая, не смещенная и линей-

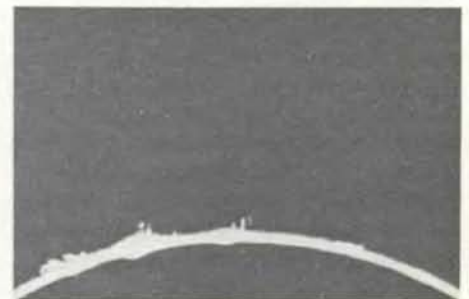
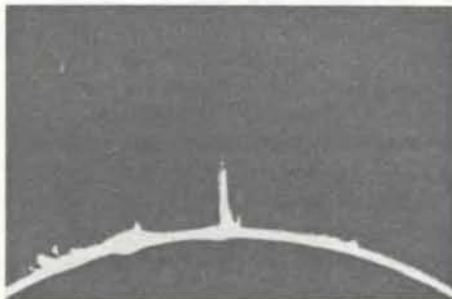
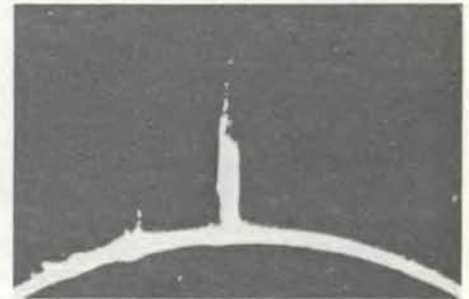
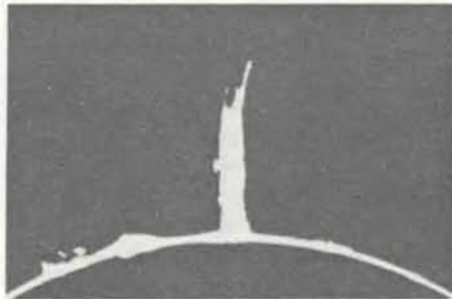
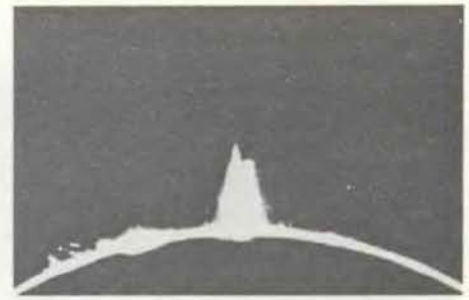


СОЛНЕЧНАЯ ХРОМОСФЕРА по излучению в линии водорода  $H\alpha$ . На снимке, сделанном на Обсерватории Исанья (Канарские о-ва), видны волокна, которые в дальнейшем, выходя за лимб, принимают вид спокойных протуберанцев. Размеры этих волокон обычно колеблются от 60 тыс. до 600 тыс. км в длину, от 15 тыс. до 100 тыс. км в высоту и от 4 тыс. до 15 тыс. км в толщину.



но поляризованная и две  $s$ -составляющие, смещенные в противоположном направлении на некоторое расстояние  $\Delta\lambda$  друг от друга. Величина  $\Delta\lambda$  пропорциональна напряженности магнитного поля и квадрату длины волны. В сильном магнитном поле обе  $s$ -составляющие заметно отделяются друг от друга; их смещение легко измерить на спектрограмме и определить напряженность поля. Таким путем определяются магнитные поля солнечных пятен. Однако в протуберанцах поля настолько слабы, что  $s$ -составляющие не разделяются, что затрудняет измерение  $\Delta\lambda$ . Тогда для определения магнитного поля используют направление поляризации излучения в спектральной линии. Чтобы определить магнитные поля протуберанцев этим методом, требуется измерить поляризацию отдельных спектральных линий.

**ЭФФЕКТ Ханля** заключается в изменении параметров линейной поляризации под воздействием локального магнитного поля. В солнечных протуберанцах под воздействием магнитного поля происходит вращение вектора поляризации и уменьшение степени линейной поляризации. Оба параметра зависят от напряженности и направления поля. Но если напряженность магнитного поля выше 30 Гс, происходит потеря поляризации любой линии видимого спектра, что затрудняет применение этого метода для изучения протуберанцев, за исключением спокойных протуберанцев. Из теоретических методов наиболее часто применяют метод потенциального поля, который основан на предположении, что электрические токи, существующие в хромосфере и нижней части короны, пренебрежимо малы; следовательно, в этом случае потенциал магнитного поля определяется скаляром, удовлетворяющим уравнению Лапласа. Данный метод, разработанный Г. Шмидтом из Института физики и астрофизики им. Макса Планка, позволяет получить трехмерную структуру магнитного поля с использованием в качестве краевого условия составляющей фотосферного магнитного поля в направлении линии наблюдения. Этот метод нашел применение только для объяснения наблюдений на солнечном диске. Впоследствии Альтшулер и Ньюкирк из Высокогорной обсерватории усовершенствовали его и применили для изучения всего солнечного диска; они установили, что Солнце как бы окутано силовыми линиями магнитного поля. Если полученное изображение сравнить с фотоснимками пол-



**ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПРОТУБЕРАНЦА** типа  $BS$  в форме струи, снятое В. Робертсом на станции Клаймакс Высокогорной обсерватории. По мере развития протуберанца становится очевидным, что происходит выброс вещества вдоль силовых линий магнитного поля, придающих ему характерные очертания струи. Вещество поднимается и опускается по спирали; это указывает на закрученность магнитных силовых линий. (Публикуется с любезного разрешения В. Робертса.)

ных солнечных затмений, то становится очевидным соответствие между результатами расчета магнитных структур и наблюдаемыми образованиями.

Вне активных областей получены приемлемые результаты, но в этом случае различие между результатами наблюдений и теоретически ожидаемыми значениями напряженности магнитного поля достигает пяти порядков из-за электрических токов, нарушающих потенциальный характер поля. Однако движение протуберанцев само по себе позволяет сделать вывод о характере связанных с ними магнитных полей. С начала 50-х годов многие ученые задумывались над связью между движением протуберанцев и магнитными полями и обосновывали необходимость получения трехмерной картины движения для изучения динамики протуберанцев и конфигурации магнитных полей в короне. Авторы настоящей статьи про-

делали работу в этом направлении и получили значения магнитных полей около 170 Гс для активных протуберанцев и около 50 Гс для эруптивных протуберанцев. В конечном итоге все усилия направлены на получение полного вектора магнитного поля протуберанцев, т.е. величины его модуля и направления, что необходимо для расчета различных моделей протуберанцев.

**МАГНИТНЫЕ** поля возникают вследствие наличия электрических токов. Это положение справедливо для всей Вселенной, и Солнце не является исключением. Протуберанцы, корональные структуры, пятна, вспышки и другие явления — следствие изменчивости магнитных полей, т.е. вызывающих их электрических токов. Магнитные поля в солнечной атмосфере уничтожаются в результате затухания или их выноса солнечным ветром в межпланетное про-



странство. Новые магнитные поля «всплывают» из внутренних слоев, чаще всего в виде небольших биполярных областей, обладающих повышенной напряженностью магнитного поля.

Вследствие сильной изменчивости магнитных полей протуберанцы различаются по форме, размерам и яркости. Они могут быть очень активными или же медленно эволюционировать, возникать почти мгновенно или формироваться постепенно. Их исчезновение может носить такой же характер; протуберанцы могут существовать от нескольких минут до нескольких месяцев. Движение протуберанцев очень разнообразно: это и плавное течение вдоль магнитных трубок, турбулентность в спокойных протуберанцах, колебания и дробление (вследствие сильных солнечных вспышек), это и изгибание магнитных трубок, выбросы, извержения спокойных протуберанцев, миграция к полюсу или экватору и т.п. Все эти изменения связаны с взаимодействием магнитных полей и плазмы.

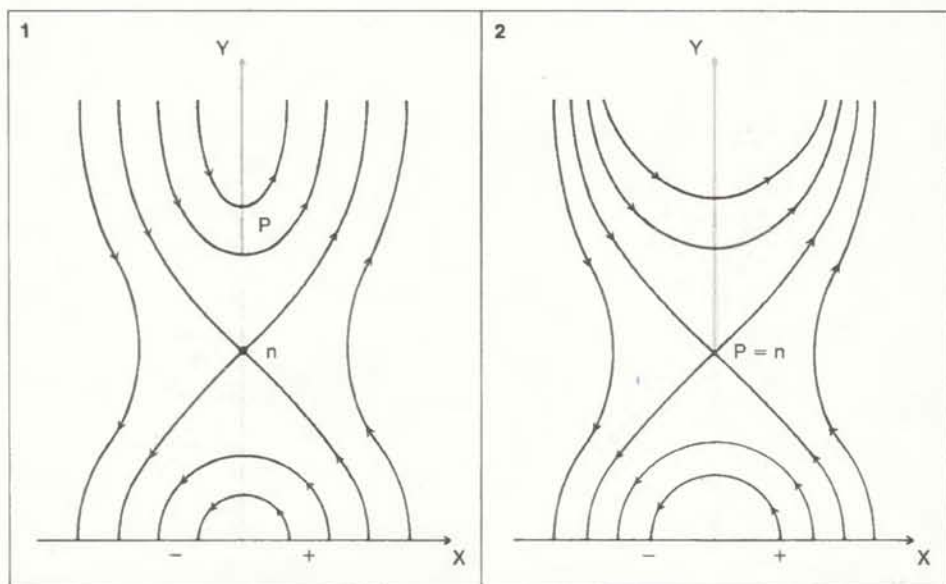
Для упорядочения столь разнообразных явлений, наблюдаемых в протуберанцах, был предложен ряд различных классификаций. В 1875 г. Секки подразделил их на два класса по интенсивности линий водорода и металлов. В 1949 г. Вальдмейер использовал сравнение линий нейтрального магния и ионизованного железа, подразделив их в зависимости от относи-

тельной интенсивности этих линий. В 1960 г. Зирин из Обсерватории Биг-Бэар (шт. Калифорния) и Э.Тандберг-Хансен из Центра космических исследований им. Маршалла предложили брать за основу сравнение интенсивности линий ионизованных стронция и титана. Другие системы классификации исходят из формы и поведения протуберанцев; наиболее известны из них система Петита и система Мензеля — Эванса. Классификация Мензеля — Эванса включает четыре основных класса:  $AN$ ,  $BN$ ,  $AS$ ,  $BS$ . Буква  $A$  (от англ. above — «вверху») служит для обозначения протуберанцев, формирующихся сверху, а буква  $B$  (от англ. below — «внизу») — для обозначения протуберанцев, плазма которых выбрасывается в корону из фото- и хромосферы. Вторая буква обозначает место нахождения протуберанца. Буква  $S$  (от англ. spot — «пятно») обозначает активные протуберанцы, связанные с сильными магнитными полями в области солнечных пятен, а буква  $N$  (от англ. no spot — «без пятен») — протуберанцы со слабым магнитным полем, т.е. находящиеся вне активных областей, имеющих пятна. У протуберанцев типа  $S$  плотность магнитной энергии намного превышает плотность кинетической энергии плазмы, поэтому они принимают строго определенную форму, так как плазма вынуждена двигаться вдоль магнитных силовых линий. И наоборот, в протубе-

ранцах типа  $N$  слабое магнитное поле играет второстепенную роль, а определяющая роль принадлежит плазме. В них преобладает турбулентность, вследствие чего протуберанцы имеют сложную, изогнутую неправильную форму. Спокойные протуберанцы — наиболее типичные представители группы  $N$ , однако в какой-то момент начинает доминировать магнитная составляющая и форма протуберанца претерпевает изменения: его структура упрощается и он приобретает вид огромной расширяющейся петли, превращаясь в эруптивный протуберанец.

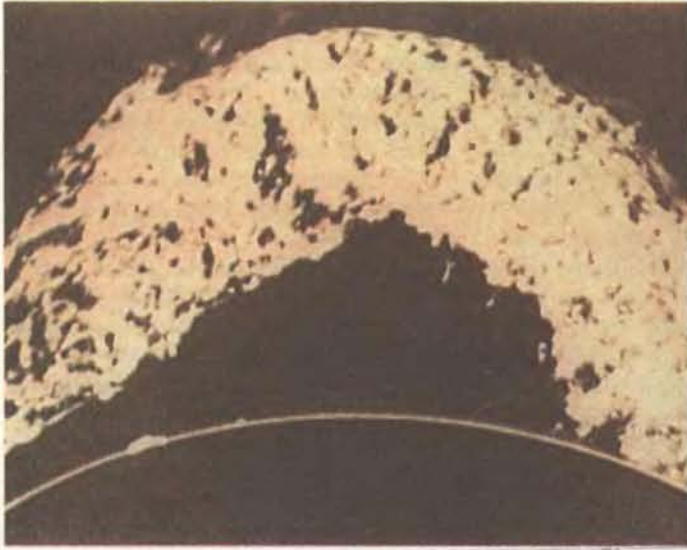
Объяснение с механической и тепловой точки зрения возможности сохранения спокойными протуберанцами квазистационарного состояния внутри короны с привлечением механизмов их образования является, по видимому, фундаментальной проблемой физики протуберанцев. Некоторые ученые полагают, что протуберанцы возникают в результате конденсации вещества короны; при этом они исходят из предположения, что корональная плазма обладает тепловой неустойчивостью. Если тепловое равновесие плазмы с температурой  $T_c$  и плотностью  $n_c$  неустойчиво, то возможна конденсация вещества с более низкой температурой и более высокой плотностью. Взаимодействие магнитного поля с плазмой усложняет рассмотрение процесса конденсации, хотя магнитное поле удерживает конденсацию вещества от распада из-за нагревания. Различные системы уравнений, используемые при решении данной проблемы, отличаются друг от друга уравнением энергии. С началом устойчивости давление понижается и вещество начинает конденсироваться. Такой механизм образования протуберанцев встретил ряд возражений, связанных, в частности, с массой, временем сжатия, конденсацией вдоль силовых линий магнитного поля и других.

Даже если отбросить многие из этих возражений, то наблюдения показывают, что отдельные протуберанцы типа  $B$  начинают формироваться снизу и что процесс формирования протуберанцев типа  $AS$  иной, чем протуберанцев типа  $AN$ . То же относится к протуберанцам типа  $B$  и  $AS$ , однако в этом случае магнитное поле играет основную роль. У протуберанцев типа  $B$  фотосферное и подфотосферное магнитные поля выносят вещество, находящееся в магнитных трубках. В восходящем потоке плазма выносится вверх вдоль силовых линий поля. Диамагнитная плазма увлекается в области слабого магнитного поля, далее наблюдается ее



**УДЕРЖАНИЕ ПРОТУБЕРАНЦА** в токовом слое по Куперусу—Рааду. На обоих рисунках видно, что горизонтальная составляющая магнитного поля испытывает инверсию между фотосферой и протуберанцем; в конфигурации магнитного поля имеется нейтральная точка ( $n$ ). Протуберанец ( $P$ ) в обоих случаях расположен над токовым слоем. Конфигурация соответствует случаю бесконечной протяженности токового слоя вдоль оси  $OY$ ; нейтральная точка находится под протуберанцем или у его основания. (Публикуется с любезного разрешения Мальхёрба и Приста.)





ЭРУПТИВНЫЙ ПРОТУБЕРАНЕЦ, наблюдавшийся 4 июня 1946 г. на станции Клаймакс Высокогорной обсерватории, поднялся на высоту 700 тыс. км над солнечным лимбом. По кинофильму было заметно постепенное упрощение структуры и наблюдался выброс части вещества от Солнца; оставшееся вещество падало в хромосферу, описывая спиралевидную траекторию.



ПРОТУБЕРАНЦЫ ТИПА ПЕТЕЛЬ (AS), снятые на киноплёнку Р. Данном в Сакраменто-Пик 22 ноября 1956 г. У таких протуберанцев вещество концентрируется вдоль силовых линий магнитного поля и опускается по ним в обеих частях петли. Часто протуберанцы данного типа возникают после вспышки, воспроизводя конфигурацию силовых линий магнитного поля над областью вспышки.

винтообразное движение вверх, а затем плазма возвращается в хромосферу по тому же пути. Протуберанцы другого вида (BS) называются струями. В таких протуберанцах трубки потока «всплывают» из внутренних слоев и расширяются с нарастающей скоростью, унося содержащееся в них вещество. Струи и эруптивные протуберанцы обладают наибольшей энергией.

**В**ПРОТУБЕРАНЦАХ типа AS магнитное поле захватывает корпускулярное излучение, исходящее из фотосферы. Вспышки вызывают очень мощный поток такого излучения. Общее число частиц, испускаемых за одну вспышку, оценивается в  $10^{39}$  протонов и таким же числом электронов; 8% составляют  $\alpha$ -частицы. Часть этого потока захватывается корональными магнитными петлями, а другая устремляется во внешнее пространство, вызывая межпланетную магнитную бурю. Захваченная часть потока термализуется, т.е. в результате соударений частицы достигают распределения Максвелла по скоростям. Эта совокупность частиц может иметь некоторую температуру — параметр, характеризующий распределение Максвелла, т.е. корпускулярное излучение становится высокотемпературной плазмой ( $10^7$  К и более).

«Горячая» плазма верхних частей петель теряет энергию за счет излучения, главным образом рентгеновского, и всего за несколько минут остывает до  $10^4$  К. При падении температуры происходит рекомбинация ато-

мов водорода и других элементов, излучающих теперь линию  $H\alpha$ . На этой стадии появляются протуберанцы типа петель. В коронограф и другие телескопы, снабженные  $H\alpha$ -фильтром, верхняя часть петель видна в виде ярких арок и наблюдается стекание плазмы в хромосферу. На этой стадии в арках продолжается конденсация и падение вещества, причем новые петли появляются на все большей высоте. Процесс образования протуберанцев данного типа происходит очень быстро в течение первых 15—20 мин и продолжается более медленно на протяжении нескольких часов, образуя цикл, состоящий из трех стадий: корпускулярное излучение за счет вспышек, захват и термализация и, наконец, остывание и возврат в хромосферу.

**О**БРАЗОВАНИЕ спокойных протуберанцев (AN) отличается от процесса возникновения протуберанцев типа AS. Предложены две модели. Согласно первой из них, вследствие тепловой неустойчивости протуберанец образуется в бессиловом магнитном поле. В подобных полях вектор плотности электрического тока имеет то же направление, что и вектор магнитного поля. Тогда магнитная сила, действующая на плазму, равна нулю. Принимая, что силовые линии магнитного поля расположены в виде «аркады» и исходя из уравнений магнитной гидростатики и уравнения энергии, учитывающего, что плазма находится в состоянии теплового равновесия, можно получить

распределение плотностей и температур плазмы в пределах корональной аркады. Изменение отдельных исходных параметров приводит к изменению соответствующих решений. С увеличением температуры в основании аркады усиливается роль теплопроводности и растет количество плазмы, имеющей одинаковую температуру. С увеличением плотности растет энергия излучения, и получается результат, противоположный предыдущему случаю. По достижении каким-либо из параметров критического значения начинается остывание плазмы и образование протуберанца. Пока происходит остывание плазмы, новое вещество всасывается в область неустойчивости вдоль магнитных силовых линий вплоть до завершения образования протуберанца. Как только протуберанец сформировался, вещество начинает перетекать в хромосферу вдоль тончайших вертикальных волокон. Такова динамическая модель образования спокойного протуберанца.

Рассмотрим вторую модель образования спокойного протуберанца. В ней речь идет о так называемых токовых слоях, возникающих при соприкосновении двух областей с однородными магнитными полями, одинаковыми по величине, но противоположными по направлению. Токовые слои могут появиться, например, на границе двух сближающихся областей слабого магнитного поля противоположной полярности или, согласно предположению, выдвинутому в 1967 г. М.Куперусом из Утрехтской



обсерватории и Э.Тандберг-Хансеном из Высокогорной обсерватории, при пересоединении силовых линий магнитного поля активной области. Конденсация протуберанца происходит в образующемся при этом токовом слое. Отдельные силовые линии пересоединяются над протуберанцем, вызывая выброс струи. Плазма конденсируется и увлекает за собой магнитное поле. Увеличению магнитного давления, которое, по-видимому, замедляет конденсацию, препятствует возникающая магнитогидродинамическая неустойчивость, приводящая к образованию магнитных петель, изолирующих плазму. Таким же образом при пересоединении магнитных силовых линий в основании токового слоя возникает замкнутое поле, удерживающее плазму протуберанца. Конденсация начинается вследствие тепловой неустойчивости, наступающей при толщине токового слоя, превышающей критическое значение ( $\sim 10^5$  км).

Наблюдения протуберанцев при помощи магнитографов позволили установить, что магнитное поле расположено не строго перпендикулярно к оси протуберанца и существует составляющая поля вдоль него. Некоторые ученые не включают в рассмотрение вопрос о магнитостатическом равновесии и исходят из анализа энергетического баланса.

А речь идет именно о создании модели, соединяющей оба подхода: с точки зрения магнитостатики и энергетике. В 1979 г. Милн и Прист из Университета Сент-Андрус занимались разработкой следующей модели: исходя из уравнения магнитной гидростатики, уравнения идеального газа и уравнения энергии и предположив, что переменные параметры зависят только от одной координаты, они пришли к заключению, что получаемые решения определяются в основном величиной  $\beta$  — отношением давления корональной плазмы к магнитному давлению. Для этой модели характерно наличие максимальных значений  $\beta$ , допускающих существование равновесных состояний. Уязвимость данной модели связана с ее одномерностью, однако двух- и трехмерные модели трудно рассчитывать.

**КОРОНАЛЬНЫЕ** явления, известные под названием транзиентов, часто наблюдаются с тех пор, как начали использовать коронографы на орбитальных станциях. При одновременном изучении данных наблюдений, выполненных при помощи коронографа на борту «Скайлэба», и данных наземных наблюдений ученые

выявили тесную взаимосвязь между явлениями выброса коронального вещества и хромосферной активностью (по наблюдениям с Земли в линии  $H\alpha$ ). Примерно три четверти транзиентов, вероятно, зарождаются в пределах активных солнечных областей или вблизи них. Из всех транзиентов, наблюдавшихся в период с мая 1973 по февраль 1974 г., около 40% были обусловлены вспышками, около 50% — эруптивными протуберанцами (не связанными со вспышками) и более 70% — эруптивными протуберанцами или исчезновением волокон, связанных или не связанных со вспышками. В результате был сделан вывод о том, что в транзиентах плотность магнитной энергии выше плотности кинетической и тепловой энергий, следовательно, эти явления контролируются магнитным полем и при объяснении их движения необходимо

основываться на магнитогидродинамическом механизме. Кроме того, ввиду тесной связи эруптивных протуберанцев с транзиентами была предпринята попытка предложить такой механизм, который позволил бы установить причинно-следственную связь между этими двумя явлениями.

Солнечные протуберанцы представляют собой яркие примеры явлений магнитной гидродинамики в крупном масштабе, и хотя понятна их природа и взаимосвязь с солнечной активностью, в физике протуберанцев остаются открытыми еще много вопросов. Мы еще далеки от того, что утверждал Секки в своей книге «Солнце», написанной в 1875 г.: «...явление протуберанцев уже настолько хорошо известно, что, вероятно, нет необходимости пересказывать историю их открытия».

*Издательство МИР предлагает:*

## ХИМИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ТОПОЛОГИИ И ТЕОРИИ ГРАФОВ

Под редакцией Р. Кинга  
Перевод с английского

Рассматривается применение математического аппарата для описания молекулярных структур в современной теоретической органической химии. Отраженная в книге область топологического анализа охватывает теорию молекулярных структур, стереохимию, химию полимеров и кластеров, комплексных соединений, свойств и путей превращения молекул химических соединений.

Из отзыва профессора В.И. Минкина: «Основной целью издания является знакомство, стимулирование понимания и использования химиками новых математических методов ... Углубление содержания представлений современной химии, их систематизация требует применения новых подходов, в частно-

сти топологии и теории графов».

Содержание: Квантовая химия — теория молекулярной структуры, основанная на топологических свойствах распределения заряда в молекулярных системах. Топологический анализ поверхности потенциальной энергии и путей химической реакции. Топологические индексы реакционной способности. Классификация механизмов химических реакций. Стереохимия. Неорганическая химия кластеров. Химия полимеров. Биохимия. Теория растворов.

Для научных работников в области квантовой, физической, неорганической химии, биохимии, химии полимеров; для студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

1987, 38 л. Цена 6 р.

Предварительные заказы на книги выпуска 1987 г. принимаются магазинами научно-технической литературы с апреля-мая 1986 года.





Издательство МИР предлагает:

В. Бейкер, П. Кокс, П. Уэстайн и др.

**ВЗРЫВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ.  
ОЦЕНКА И ПОСЛЕДСТВИЯ**

В 2-х книгах.

Перевод с английского



В книге обобщен опыт исследований проблемы опасности взрывов в промышленности при использовании различных взрывчатых материалов — конденсированных взрывчатых веществ, объемов горючих газовых и двухфазных смесей. Здесь же рассматриваются различные аспекты действия взрывных волн, возникающих при разрывах сосудов высокого давления. Способы оценки параметров ударных волн от различных взрывных источников и методы оценки воздействия взрывных нагрузок на объекты, здания, конструкционные элементы описаны с использованием наглядных примеров. Вопросы конструирования хранилищ взрывоопасных материалов, определения безопасных расстояний расположения технологического оборудования или сооружений на взрывоопасном производстве, вопросы сни-

жения уязвимости обслуживающего персонала и — в качестве ответов — целенаправленный поиск путей расчета прочности различных конструкций, как и путей подавления взрывных волн поставлены в зависимость от конкретных инженерных решений.

Книга подготовлена широко известными американскими специалистами по физике взрыва и по проблеме оценки поражающих факторов, сопровождающих фугасное осколочное и тепловое действие идеальных и неидеальных взрывных источников.

Книга адресована широкому кругу специалистов, а также рекомендована в качестве учебного пособия студентам старших курсов институтов и университетов по соответствующим специальностям.

1986, 46 л. Цена 7 р. 60 к. за комплект.





# Наука вокруг нас

## Домашнее устройство для изучения рассеяния частиц; эксперименты в невесомости

ДЖИРЛ УОЛКЕР

**В** 1909 г. Э. Резерфорд предложил поставить эксперимент, который в конечном счете привел к созданию современной модели атома. Г. Гейгер, стажировавшийся в лаборатории Резерфорда после защиты докторской диссертации, изучал прохождение альфа-частиц сквозь металлическую фольгу. Большинство этих положительно заряженных частиц летело сквозь фольгу прямо, попадая на установленный сзади экран. Некоторые частицы слегка отклонялись электрическим полем, когда проходили мимо атомов внутри фольги. Отклонение не превышало нескольких градусов, поскольку частицы обладали большой энергией и импульсом.

Тем не менее Резерфорд предложил Г. Гейгеру и Э. Марсдену, в ту пору студенту, поискать альфа-частицы, отклоняющиеся под большими углами. Никто, включая самого Резерфорда, не ожидал, что такие частицы будут обнаружены. Но через несколько дней Гейгер сообщил Резерфорду ошеломляющую новость: некоторые частицы действительно рассеивались под большими углами, причем попадались и такие, которые летели назад к источнику. Впоследствии Резерфорд вспоминал: «Это было одно из самых невероятных событий в моей жизни. Такое же невероятное, как если бы 15-дюймовый снаряд, которым вы выстрелили в лист папиросной бумаги, отскочил бы и попал прямо в вас».

Рассеяние альфа-частиц в этом эксперименте получило название «рассеяние Резерфорда». Оно показало, что существовавшая в то время модель атома была неверна. Эта модель, в которой атом представлялся, образно говоря, в виде «пудинга с изюмом» (модель Томсона. — *Ред.*), предполагала примерно равномерное распределение в атоме положительно и отрицательно заряженных частиц. Альфа-частица, проникшая в такой атом, притягивалась бы отрицательными зарядами и отталкивалась бы положительными. Результирующее отклонение было бы в этом случае мало.

Когда Гейгер сообщил, что некоторые альфа-частицы отклоняются на

значительный угол, Резерфорд понял, что, проникая в атом, они должны испытывать сильное электростатическое отталкивание. А это означало, что положительные и отрицательные заряды распределены в атоме неравномерно. На самом деле положительно заряженные частицы составляют очень компактное ядро, а отрицательно заряженные частицы вращаются вокруг ядра на расстояниях, которые значительно превосходят размеры ядра.

Проследим за альфа-частицей, которая проникает в «атом Резерфорда». На частицу, приближающуюся к атому, электростатическая сила практически не действует, поскольку атом в целом электрически нейтрален. Пройдя сквозь электронную оболочку, частица начинает испытывать действие силы отталкивания, поскольку и она сама, и ядро атома заряжены положительно. Предположим, что частица летит прямо на ядро. Неуклонное возрастание силы отталкивания приведет к замедлению частицы, которая сначала остановится, а затем начнет двигаться в обратном направлении. Угол рассеяния в этом случае будет равен  $180^\circ$ .

Альфа-частица, подлетающая к атому не строго по центру, отклонится меньше. Поскольку ядро имеет крошечные размеры, вероятнее ожидать, что частица отклонится на малый угол, а не на большой. Вот почему вначале Гейгер и Марсден наблюдали лишь рассеяние под малыми углами.

Распределение частиц, попадающих на экран, можно выразить как число соударений с единичной площадью. Это число (плотность соударений) зависит от угла рассеяния. Основное достоинство модели Резерфорда состояло в том, что она правильно предсказывала плотность соударений. Хотя некоторые исследователи и раньше предлагали модели атома, построенные по образцу Солнечной системы (так называемые планетарные модели), создателем современной модели атома принято считать Резерфорда, объяснившего рассеяние альфа-частиц.

В прошлом году на заключительном этапе Международной научно-технической выставки Р. Тиммерман из Уикса, шт. Арканзас, получил первую премию по разделу физики за эксперименты по рассеянию альфа-частиц на тонкой золотой фольге. Он воспроизвел в основных чертах опыт Гейгера и Марсдена. В частности, он задался целью проверить математические расчеты Резерфорда по угловой зависимости рассеяния.

Тиммерман воспользовался схемой детектирования, разработанной Ч. Лемингом из Гендерсоновского университета, шт. Арканзас. Устройство Леминга, которое сейчас выпускается фирмой «Daedalon Corporation», использует особую фотопленку, чувствительную к попаданию альфа-частиц. На проявленной пленке в тех местах, куда попали альфа-частицы, видны маленькие пятнышки.

Тиммерман сконструировал аналогичное устройство. Оно состоит из трех алюминиевых пластин, скрепленных четырьмя длинными болтами. В центре каждой пластины Тиммерман просверлил маленькое отверстие. Над верхней пластиной напротив отверстия он установил источник альфа-частиц. Напротив отверстия под средней пластиной был укреплен лист фольги, а на верхней стороне нижней пластины — чувствительная пленка.

Тиммерман рассчитывал, что альфа-частицы будут проходить через отверстия в двух верхних пластинах в виде пучка. Пролетая через фольгу, большинство частиц не отклоняется, но некоторые из них должны рассеиваться, попадая в небольшую область вокруг центра чувствительной пленки. Тиммерман собирался измерить распределение пятнышек относительно центральной точки и, исходя из этого, определить, как зависит число рассеиваемых частиц от угла рассеяния. Хотя план казался простым, Тиммерману пришлось преодолеть ряд трудностей, прежде чем он смог получить результаты, которые и были представлены на выставке.

Чувствительную пленку Тиммерману дал Леминг, который разработал также методику ее проявления. После экспонирования пленка в течение 24 ч выдерживается в 2,5-молярном растворе гидроксида натрия при температуре  $40^\circ\text{C}$ . Тиммерман изготовил устройство для обработки пленки. Пленка и раствор гидроксида натрия находятся в жестяной банке, которая погружена в водяную баню (ведро). Нагреватель для аквариума подогревает воду и, следовательно, содержимое жестянки. Крышка и теплоизоляционное покрытие умень-



шают потери тепла. Температура воды контролируется с помощью термометра, укрепленного на внутренней стенке ведра.

Перед началом эксперимента Тиммерман определил мощность источника альфа-частиц. Для этого он на несколько минут положил рядом с источником кусок пленки. Затем он проявил пленку и вставил ее в аппарат для чтения микрофильмов, который увеличивает изображение. На пленке виднелись сотни пятнышек, показывавших, что мощность источника была достаточна для опытов.

Затем Тиммерман поместил источник альфа-частиц и новый кусок пленки в свое устройство, пока без фольги. Все устройство он поставил под воздушный колокол, из которого откачал воздух, для того чтобы альфа-частицы не рассеивались на молекулах воздуха. Через пять минут он извлек пленку, проявил ее и внимательно рассмотрел. И на этот раз было видно большое число пятнышек, группирующихся вокруг центральной точки. Устройство оказалось пригодным для проведения эксперимента.

Следующим шагом было поместить в устройство золотую фольгу. (Фольгу Тиммерман приобрел у художника-оформителя.) Из устройства был откачан воздух и пленка оставлена на два часа. Рассмотрев ее впоследствии, Тиммерман обнаружил, что во время опыта была нарушена герметизация: после проявления пленка оказалась покрытой пятнышками, указывающими на то, что альфа-частицы рассеивались на молекулах воздуха и «орошали» пленку, словно из душа.

Тиммерман пришел к выводу, что во время проведения опыта воздушный колокол пропускал воздух; таким образом, в течение эксперимента требовалось несколько раз включать насос. Тиммерман попытался сделать устройство для автоматического контроля за работой вакуумного насоса. Для этого он присоединил электронный выключатель к входу домашнего компьютера, который запрограммировал на включение насоса через каждые 30 мин. Однако выключатель перегорел. Тогда Тиммерман сделал выключатель для управления реле насоса, но реле начало заедать. Наконец он выяснил, что герметизация была нарушена не в воздушном колоколе, а в вакуумном насосе. Обнаружив это, он стал отсоединять шланг от насоса всякий раз после откачки воздуха из колокола.

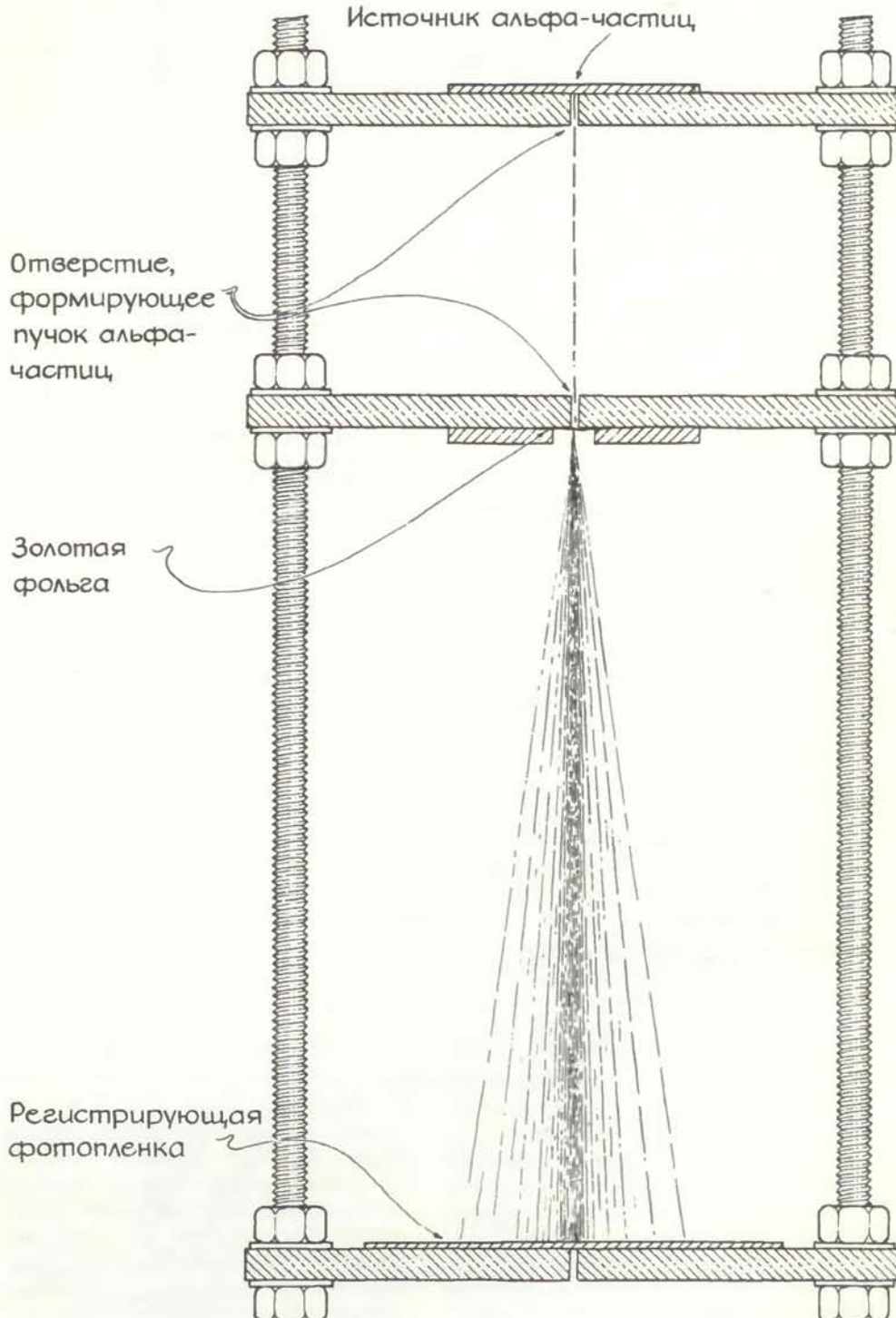
Другой проблемой стала неправильная работа аквариумного нагревателя, которая привела к порче нескольких кусков пленки. Не найдя,

чем заменить нагреватель, Тиммерман подсоединил его через интерфейс к компьютеру. Компьютер должен был регулярно «запрашивать» датчик, измеряющий температуру воды в ведре, и по мере необходимости включать нагреватель. Эта затея провалилась, так как датчик температуры барахлил. Лишь тогда Тиммерман решил приобрести новый нагреватель.

Затем, взяв новую пленку, он задался целью определить точное время экспозиции в эксперименте. Подходящим оказалось время, равное 7 ч. Те-

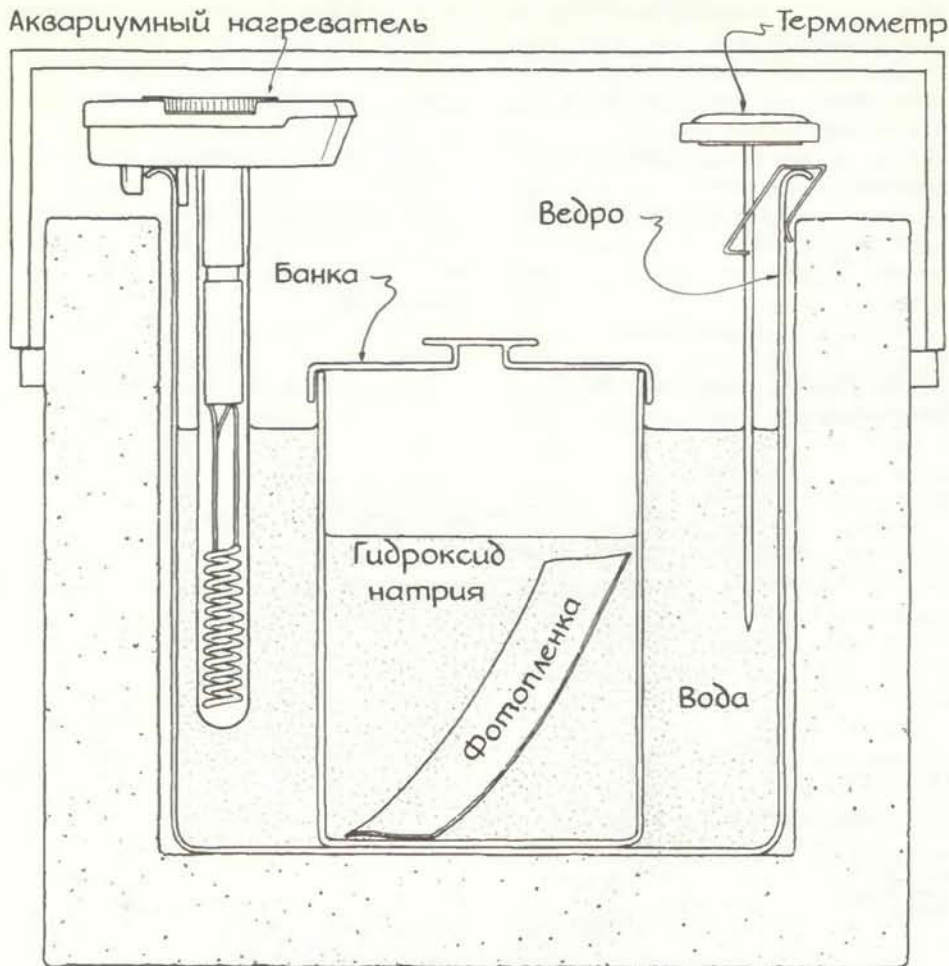
перь, вставив кусок экспонированной пленки в аппарат для чтения микрофильмов, он мог легко разглядеть следы, оставленные на пленке альфа-частицами. Измерение плотности распределения пятнышек с помощью аппарата для чтения микрофильмов оказалось слишком сложным делом, и Тиммерман решил автоматизировать эту процедуру, используя свой компьютер.

Он получил увеличенное изображение пятнышек, спроецировав кадр на изготовленный им деревянный экран. Пятнышки превратились в яркие пят-



Устройство Р. Тиммермана для изучения рассеяния альфа-частиц





Как проявить специальную фотопленку



Приспособление Тиммермана для определения положения пятнышек на пленке

на. Регистрацию положений этих пятен Тиммерман осуществлял с помощью деревянной рейки, вращающейся вокруг оси, расположенной в нижнем углу экрана. На рейке был укреплен ползунок с маленьким отверстием. Тиммерман поворачивал рейку и двигал ползунок, останавливаясь всякий раз, когда отверстие в ползунке попадало на яркое пятно.

Провода, идущие к ползунку и рейке, образовывали делитель напряжения. Когда ползунок находился близко к оси вращения рейки, напряжение на контактах было мало. По мере того как Тиммерман двигал ползунок к концу рейки, напряжение возрастало. Таким образом, напряжение на контактах было пропорционально расстоянию между отверстием в ползунке и осью вращения рейки.

Центральную точку пленки, в которую попадали неотклоненные альфа-частицы, Тиммерман спроецировал на ось вращения рейки. Затем он принялся поворачивать рейку и двигать ползунок, останавливаясь, когда отверстие в ползунке совмещалось с ярким пятном. Напряжение на контактах в таком устройстве пропорционально расстоянию от центра пленки до той точки соударения альфа-частицы с пленкой, которая проецируется на экран в данное яркое пятно.

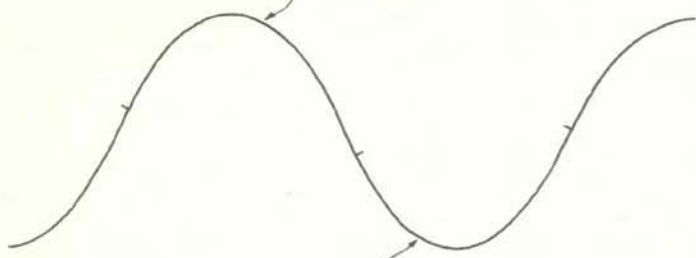
Тиммермана интересовало рассеяние альфа-частиц в пределах  $10^\circ$ -ного угла. Поэтому он фокусировал изображение на экран таким образом, чтобы в наиболее удаленном положении ползунок попадал на яркое пятно, соответствующее частице, отклоняющейся на  $10^\circ$ . Дж. Уисман из Арканзасского университета в Фейетвилле помог Тиммерману создать интерфейс между делителем напряжения и компьютером. Интерфейс разбивал весь диапазон значений напряжения, снимаемого с делителя, на 256 интервалов. Каждая ступенька напряжения соответствовала углу рассеяния ( $10/256^\circ$ ).

Повернув рейку и сдвинув ползунок так, чтобы он накрыл очередное пятно на экране, Тиммерман нажимал на кнопку выключателя, и электрический сигнал шел через интерфейс в компьютер. Значение напряжения, выраженное числом ступенек, указывало, какой угол рассеяния компьютер должен «приписать» данному яркому пятну. Эти данные компьютер заносил в память.

Тиммерман написал программу, по которой компьютер рассчитывал плотность распределения пятнышек и строил гистограмму значений плотности распределения в зависимости от угла рассеяния. Не очень удовлетворенный результатом, он провел два

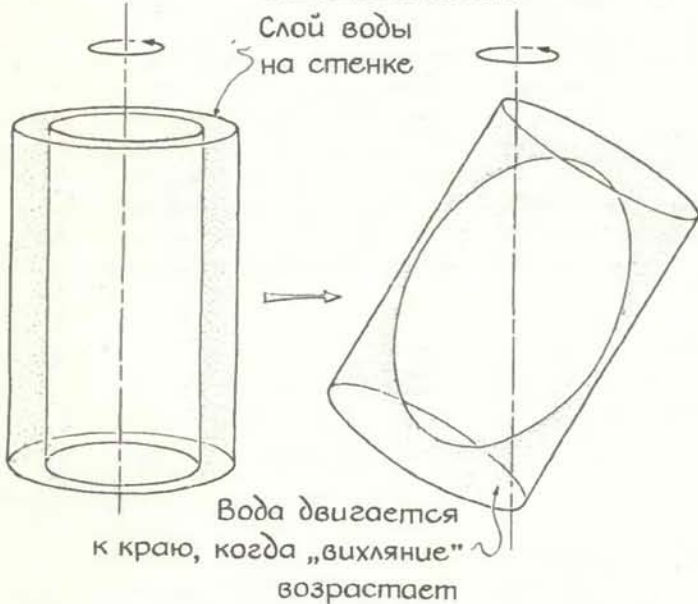


Невесомость, скорость = 0,5 М

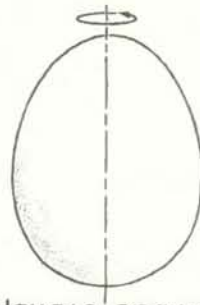


Перегрузка, скорость = 0,88 М

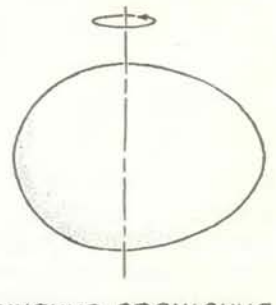
Траектория полета самолета, при которой достигается состояние невесомости



Вращение сосуда с водой в невесомости

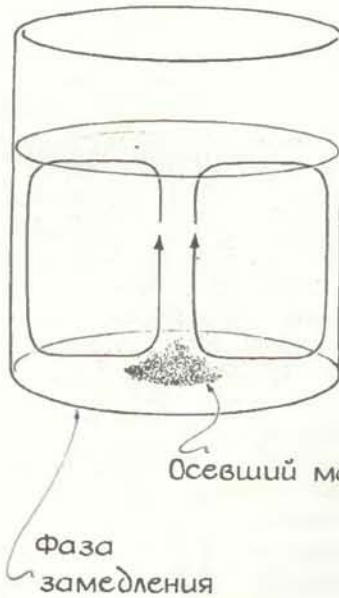


Начало вращения

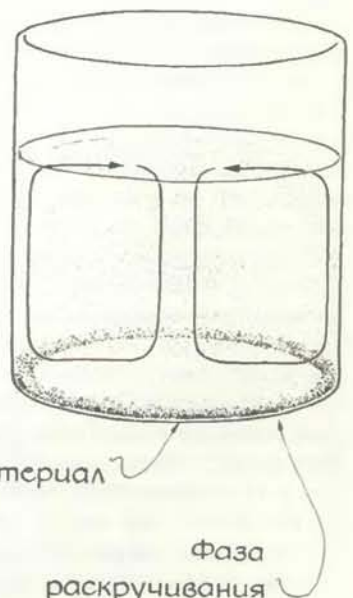


Окончание вращения

Опыты с яйцом



Фаза замедления



Фаза раскручивания

Вторичное течение в обычных условиях

опыта с большим временем экспозиции (10 и 18 ч). При этом на пленке образовалось столько пятнышек, что для определения их положений потребовалось несколько часов. Тиммерман внес также поправку на «фон», состоящий из тех пятнышек, которые, по всей вероятности, были созданы «посторонними» альфа-частицами, не связанными с основным источником. С целью найти функциональную зависимость плотности распределения частиц от угла рассеяния Тиммерман испробовал несколько аппроксимирующих функций.

Он пришел к выводу, что угловое распределение частиц в целом соответствовало предсказаниям Резерфорда. Тем не менее у него оставались сомнения относительно того, сохраняет ли пучок альфа-частиц параллельность до места падения на фольгу. Поэтому свой вывод он проверил еще одним способом. Вначале он взвесил золотую фольгу и, исходя из этого, определил ее толщину. Затем, взяв за основу формулу Резерфорда для рассеяния, он по данным своих измерений рассчитал толщину фольги. Оба результата оказались весьма близки между собой.

**З**ЕМНОЕ притяжение влияет на поведение твердых тел и жидкостей. Один из способов устранить этот эффект состоит в том, чтобы изучать их свойства в условиях свободного падения, т. е. в состоянии невесомости. Не так давно Д. Пти из Лос-Аламосской национальной лаборатории и астронавт Дж. Аллен из Космического центра им. Джонсона в Хьюстоне провели эксперименты в условиях невесомости в грузовом отсеке самолета, принадлежащего Национальному управлению по исследованию космического пространства. Им помогал Р. Уильямс из Космического центра им. Джонсона.

Самолет выполнял серию (от 40 до 60) полетов в вертикальной плоскости по параболической траектории. В верхней точке параболы, где самолет летел со скоростью 0,5 М (половина скорости звука), находящиеся в самолете люди оказывались в состоянии невесомости. Пол самолета уходил у них из-под ног, а их ощущения свидетельствовали, что земное притяжение исчезло.

Спустя 20 с в нижней части траектории состояние невесомости прекращалось. В течение последующих 50 с

самолет набирал высоту, при этом создавалось ощущение, что сила тяжести возросла вдвое. Скорость самолета в нижней части петли составляла 0,88 М.

Небольшая величина отрезка времени, в течение которого сохранялось состояние невесомости, и необходимость принятия мер, чтобы обезопасить себя и оборудование от перегрузок во второй фазе полета, заставили испытателей ограничиться изучением непродолжительных явлений.

Помимо «серьезных» исследований Пти и Аллен смогли провести и некоторые «домашние» опыты. В одном из них изучалась устойчивость яйца, вращающегося вокруг большой оси. Поставьте яйцо на стол любым концом и попробуйте раскрутить его. Яйцо, сваренное вкрутую, устойчиво вращается в течение примерно 10 с, но сырое яйцо быстро теряет устойчивость, опрокидывается и продолжает вращаться уже вокруг малой оси, пока трение о стол не поглотит энергию вращения.

Пти исследовал вращение яиц в невесомости. На каждом яйце от кончика до кончика он для удобства провел линию, которая бросалась в глаза.



Далее он закручивал каждое яйцо (в воздухе) вокруг большой оси, стараясь избегать даже малейших боковых толчков. Крутое яйцо сохраняло устойчивое вращение на протяжении всей фазы невесомости. Сырое яйцо делало два полных оборота, а затем внезапно начинало вращаться вокруг малой оси. Очевидно, даже в невесомости жидкое содержимое яйца вовлекалось в движение за счет начального вращения. Это движение усиливало «вихляние» яйца, что приводило к возникновению вращения вокруг малой оси.

Пти проделал аналогичный опыт, используя закрытый прозрачный сосуд, частично наполненный водой. Раскрутив сосуд вокруг вертикальной оси, он «подвесил» его в воздухе (в невесомости). Вскоре сосуд начал «вихлять», но так и не пришел в состояние устойчивого вращения вокруг малой оси до конца фазы невесомости.

Пти и Аллен исследовали также циркуляцию жидкости во вращающихся сосудах. Рассмотрим цилиндрический сосуд с водой, стоящий в центре диска проигрывателя. Когда диск начинает вращаться, стенки сосуда за счет трения увлекают воду по кругу. Постепенно вода начинает крутиться вокруг оси сосуда со скоростью вращения диска. Переходное состояние будем называть фазой раскручивания. Предположим, что диск резко остановился. Вращение воды замедлится и в конце концов прекратится. Назовем эту фазу фазой замедления.

Во время фаз раскручивания и замедления в воде возникают дополнительные (вторичные) течения. Они обусловлены неравенством давлений, создаваемых основным потоком, направленным вокруг оси. В фазе раскручивания вторичное течение направлено вниз на оси сосуда, от оси к стенкам на дне, вверх у стенок и от стенок к оси на поверхности. В фазе замедления направление течения меняется на обратное. Существование вторичного течения обнаруживается и в обычных условиях, например по движению чайнок в стакане с чаем, когда вращение чая замедляется. Чайники, вначале лежащие беспорядочно на дне стакана, увлекаются к центру и собираются в кучку.

Что можно сказать о вторичных течениях в условиях невесомости? Для ответа на этот вопрос Пти взял прозрачный закрытый сосуд, частично наполненный водой, добавив предварительно в воду по пол чайной ложки мокрых древесных опилок и алюминиевого порошка. Опилки и порошок служили трассерами для обнаружения вторичного течения.

В обычных условиях тяготения вторичное течение заставляло порошок собираться, подобно чайкам, в маленькую кучку в центре сосуда. Опилки двигались по кругу прямо над дном сосуда почти до самого конца фазы замедления. Затем они устремлялись к центру и ложились на кучку порошка. В фазе раскручивания частички алюминия первыми устремлялись к стенкам; более легкие опилки следовали за ними. Раскрутив сосуд в невесомости, Пти отпускал его. Вращение сосуда передавалось воде. Опилки и частички алюминия начинали двигаться к стенкам (как и в нормальных условиях), но на этот раз они не собирались на дне у стенок. Алюминиевый порошок прижимался к стенке сосуда, а древесные опилки двигались вдоль стенок вверх.

Чтобы получить фазу замедления, Пти останавливал вращающийся сосуд. Опилки и порошок начинали дви-

гаться вместе с вторичным течением, но уже не собирались в кучку на дне.

Очевидно, что в невесомости вторичное течение во время раскручивания и замедления не отличается от вторичного течения в обычных условиях. Однако в невесомости опилки и порошок не «привязаны» к дну контейнера. Вторичное течение может переносить их вверх по оси сосуда в фазе замедления и вдоль стенок в фазе раскручивания.

Пти и Аллен провели и другие опыты с водой. Когда вода вращается в сосуде в нормальных земных условиях, ее поверхность вогнута. Пти и Аллен заинтересовались тем, как зависит форма поверхности воды от величины кажущейся силы тяжести. Они обнаружили, что при перегрузке поверхность была вогнута меньше. В невесомости кривизна поверхности увеличивалась настолько, что вся вода собиралась у стенок контейнера.

## Наука и общество

### Новый глубоководный желоб

**В** ГЛУБОКИХ желобах, окаймляющих Тихий океан от Алеутских островов до Новой Зеландии, Тихоокеанская плита — область земной коры, образующая дно Тихого океа-

на, — погружается в мантию Земли со скоростью несколько сантиметров в год. Этот процесс, называемый субдукцией, порождает землетрясения и вулканическую активность на островных дугах, примыкающих к желобам.

На декабрьской конференции Американского геофизического союза в



**ПРЕДПОЛАГАЕМАЯ НОВАЯ ЗОНА СУБДУКЦИИ** простирается на 4500 км через западную часть Тихого океана от южной оконечности Марианского желоба до северной оконечности желоба Тонга. Желоба Ново-Британский, Сан-Кристобаль и Ново-Гейбридский, где в прошлом происходила субдукция Тихоокеанской плиты, в настоящее время заблокированы островами и океаническими поднятиями; эпицентры землетрясений (показаны точками) свидетельствуют о начале субдукции в новом Микронезийском желобе.



Сан-Франциско Л. Кренке и Д. Уолкер из Гавайского института геофизики представили факты, свидетельствующие о возможном образовании новой зоны субдукции вдоль дугообразного участка морского дна, простирающегося на 4500 км от южной оконечности Марианского желоба на юго-восток до Западного Самоа.

По словам ученых, представленные данные были получены с помощью сети гидрофонов, установленных в 1982 г. Гавайским институтом геофизики. Эти гидрофоны были заякорены на дне океана и на глубине, равной половине глубины океана, в районе острова Уэйк. За время эксплуатации гидрофоны регистрировали большое количество мелкофокусных землетрясений на дне Тихого океана, которые не были отмечены обычными наземными сейсмическими станциями.

Как считает Уолкер, причиной расхождения в наблюдениях, выполненных на наземных станциях и с помощью гидрофонов, является наличие естественного волновода, благодаря которому сейсмические волны распространяются лишь вдоль дна океана. Значительная доля энергии подводных землетрясений оказывается заключенной в этом волноводе, что, возможно, происходит из-за изменения с глубиной скорости распространения сейсмических волн в океанической коре и верхних слоях мантии. Вместо того чтобы генерировать волны, которые распространяются в глубь мантии и, преломляясь там, возвращаются на поверхность (что позволяет регистрировать их на удаленных наземных станциях), землетрясения порождают волны, которые могут быть зарегистрированы только приборами, установленными на дне океана.

Сравнение данных, полученных от разных гидрофонов, позволяет определить эпицентры землетрясений. Многие из них оказались расположенными в известных районах сейсмической активности, таких, например, как Марианский желоб. Эпицентры остальных землетрясений лежат в дугообразной зоне, которая до сих пор не считалась сейсмически активной. Кренке и Уолкер полагают, что подобные землетрясения свидетельствуют о начале образования новой зоны субдукции.

Кренке подчеркивает, что новая зона субдукции непосредственно связана с тектоническими процессами. В районе обширной впадины, протянувшейся от Марианского желоба до желоба Тонга, происходит сближение Тихоокеанской плиты и расположенной к юго-западу от нее Индо-

Австралийской плиты. На протяжении последних 10 млн. лет это сближение компенсировалось погружением земной коры в трех небольших зонах субдукции: желобах Ново-Британский, Сан-Кристобаль и Ново-Гибридский. В настоящее время движение коры во всех трех желобах заблокировано: острова и океанские поднятия с обеих сторон желобов столкнулись по мере погружения лежащей между ними океанической коры в мантию. Поэтому разумно предположить, что для компенсации движения плит где-либо в этом районе должна возникнуть новая зона субдукции.

В противоположность глубоким желобам в других районах Тихого

океана положение предполагаемого Микронезийского желоба не отмечено расщелинами на дне океана, хотя в районе островов Ошен (Банаба) и Науру глубина в области желоба несколько увеличивается. Результаты сейсмического профилирования вновь обнаруженной области сейсмической активности показывают гораздо большее: а именно, формирование разломов в базальтовом фундаменте; они свидетельствуют также, что океаническая кора к северо-востоку от трещин начинает опускаться. Все эти факты говорят о молодости Микронезийского желоба. Кренке и Уолкер оценивают его возраст в пределах от 500 тыс. до 1 млн. лет.

*Издательство МИР предлагает:*

## ФИЗИКА ИОН - ИОННЫХ И ЭЛЕКТРОН - ИОННЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ

Под редакцией Ф. Бруйара, Дж. Мак-Говена

Перевод с английского

Книга содержит тексты лекций, прочитанных в Высшей Летней школе по физике ион-ионных и электрон-ионных соударений, которая проводилась в Канаде. Всего в книгу включено 12 лекций. В целом книга представляет собой уникальное издание, с максимальной полнотой охватывающее важнейшие направления физики атомных столкновений.

В книге освещаются следующие вопросы: Астрофизические явления, в которых существенную роль играют столкновения электронов и протонов с ионами. Излагается плазмохимическая сторона вопроса об эволюции ранней Вселенной. Рассмотрены: процессы, происходящие в газовых туманностях, в горячей плазме звездных корон, в кометах, в межзвездных облаках, атмосферах планет и др.; роль атомных столкновений в термоядерной плазме, влияние примесей тяжелых атомов и ио-

нов на баланс энергии и характер нагрева плазмы в токамаках и др.; диссоциативная рекомбинация молекулярных ионов (основное внимание уделено обсуждению поведения термов молекулярного иона и квазимолекулы, участвующих в процессе); возбуждение ионов электронным ударом; экспериментальные исследования процессов электрон-ионной рекомбинации; изменение параметров неупругих электрон-ионных и ион-ионных соударений; удержание заряженных частиц в экспериментах по исследованию столкновений; исследование ион-ионной рекомбинации в плазме послесвечения.

Для исследователей, занимающихся физикой низко- и высокотемпературной плазмы, верхней атмосферы, газовых лазеров, а также атомной, молекулярной и химической физикой.

1986, 27 л. Цена 4 р. 10 к.





# Занимательный компьютер

## От шахматных программ к специализированным шахматным компьютерам

А. К. ДЬЮДНИ

**Е**СЛИ бы программа CRAY BLITZ могла запоминать не только шахматные ходы, она навечно сохранила бы в своей памяти события 15 октября 1985 г., когда состоялся последний тур шахматного чемпионата Северной Америки среди компьютеров, приуроченного к очередной конференции Ассоциации специалистов по вычислительной технике. Перед участниками на сцене зала заседаний отеля «Радиссон» в Денвере было установлено пять столов, отделенных от зрителей барьером. За каждым столом напротив друг друга сидели представители двух команд — программисты и консультанты. Иногда они шутили, а иногда их лица выражали ожидание и глубокие раздумья. Над каждым столом висели экраны, на которые проектировались позиции на шахматной доске.

В турнире принимали участие 10 программ — претендентов на звание чемпиона Северной Америки. Их названия звучат странно и непривычно, что свидетельствует о различном происхождении программ и о честолюбивых замыслах их создателей: AWIT, BEBE, CHAOS, CRAY BLITZ, NITECH, INTELLIGENT SOFTWARE, LACHEX, OSTRICH, PHOENIX и SPOC (см. таблицу на с. 95). В этом списке отсутствуют названия трех программ из числа тех, что имели наибольший успех на компьютерной шахматной арене в течение нескольких последних лет: BELLE, CHESS 4.7 и NUCHESS.

Самый большой интерес вызвала встреча между CRAY BLITZ и NITECH. Первую программу за столом соревнований представляют Р. Хятт из Южно-Миссисипского университета, А. Гауер, шахматный эксперт из того же университета и Х. Нельсон из Лоуренсовской национальной лаборатории в Ливерморе. Напротив: Х. Берлинер из Университета Карнеги — Меллона и М. Кемпбелл, один из аспирантов того же университета, шахматист высокого класса. Берлинер выступает сразу в двух лицах — и как шахматный консультант, и как программист в команде NITECH. По мере того как развива-

ются события на доске, напряжение возрастает. Берлинер часто встает из-за стола с усталой улыбкой. Как-то проходя мимо меня, он пробормотал: «Уж слишком это напоминает мне то время, когда я сам играл на чемпионатах США!» (В течение нескольких лет в конце 50-х — начале 60-х годов Берлинер входил в десятку лучших игроков США.)

В отличие от чемпионата страны, когда в игровом зале царит мертвая тишина, этот турнир протекает в оживленной атмосфере. Кругом слышатся разговоры, иногда даже смех, постукивают клавиши терминалов, игру постоянно комментирует в микрофон темпераментный по натуре судья М. Валво, консультант по вычислительной технике, мастер международного класса по шахматам из Седона (шт. Аризона): «Слабый ход черных. Король все еще находится в слишком уязвимом положении, а сдвоенные пешки на с5 и с6 затрудняют защиту». Рядом член команды CRAY BLITZ воскликнул, ни к кому конкретно не обращаясь: «Забавно! Я думал, она сыграет королем на f3». Шахматисты-профессионалы пока еще замечают погрешности в игре компьютера, а программисты в свою очередь все еще удивляются способностям своих творений.

На протяжении всего заключительного этапа игры было видно, что NITECH имеет преимущество над своим соперником. В начале игры CRAY BLITZ попала в трудное положение, выйти из которого можно было либо с материальными потерями, либо уступив инициативу. В сложившейся ситуации CRAY BLITZ была вынуждена неудачно расположить свои пешки. NITECH продолжала развивать преимущество.

К полуночи почти все было кончено. Большинство игр завершилось, и специалисты настаивали, чтобы победа была присуждена программе NITECH. Команда CRAY BLITZ просила судью Валво разрешить им сдать. Он предложил сделать еще два хода: если положение белых не улучшится, то они могут признать себя побежденными. Положение не

улучшилось, и они сдались. NITECH стала чемпионом Северной Америки, по существу королем компьютерных шахмат. И хотя CRAY BLITZ пока остается официальным чемпионом мира (этот титул был завоеван ею в 1983 г. и защищать его предстоит лишь в июне этого года), победа NITECH наряду с ее победами в трех других турнирах производит внушительное впечатление. На сегодняшний день NITECH почти наверняка является самой сильной в мире компьютерной программой, играющей в шахматы.

Представители соперничавших команд улыбаются, обмениваются мнениями о только что закончившемся турнире. Повлияло ли на его исход отсутствие программ BELLE, CHESS 4.7 и NUCHESS? «Конечно, было бы интересно посмотреть на игру BELLE и некоторых других программ, — сказал один из организаторов турнира, — но я не думаю, что исход соревнований был бы иным». Он отметил, что по составу программ и машин, принимавших участие в турнире, между чемпионатом Северной Америки и чемпионатом мира почти нет разницы. Разговор перешел к обсуждению поединка между Каспаровым и Карповым, затем шахматной теории. «Я не шучу, — говорит, очевидно, сведущий участник разговора, — программа, способная анализировать ситуации на 20 ходов вперед и оценивающая позиции лишь с точки зрения материального преимущества, может обыграть любого гроссмейстера». Возник спор, но ненадолго. Уже через несколько минут зал опустел. Чемпионат Северной Америки завершился.

Высказывание, касающееся способности программы, предвидящей развитие игры вперед на 20 ходов, заслуживает внимания. Графически шахматную игру можно представить в виде разветвленного дерева, состоящего из узлов и соединяющих их линий. При этом дерево как бы перевернуто — его корневой узел находится сверху. Каждый узел соответствует одной из возможных позиций, т. е. тому или иному расположению фигур на шахматной доске, которое может быть достигнуто после определенного числа ходов, дозволенных правилами. Узел соединяется со своим «потомком» линией в том случае, если позиция, представляемая последним, получается из той, которая ей предшествовала до того, как был сделан один ход фигурой или пешкой. На шахматном дереве всякую партию можно отождествить с каким-нибудь одним конкретным путем, ведущим из корневого узла (соответствующего исходной позиции, когда еще не было



сделано ни одного хода) к какому-то конечному узлу, представляющему, как правило, такую позицию, в которой на шахматной доске остается лишь несколько фигур и одна из сторон либо получает мат, либо вынуждена сдаться.

Программа, играющая в шахматы, должна исследовать по возможности лишь ту часть игрового дерева, которая оказывается необходимой. Исходя из узла, представляющего позицию, сложившуюся в игре на данный момент, она исследует все узлы — потомки данного (слой 1), затем все узлы — потомки этих потомков (слой 2) и т. д. Средняя глубина исследования дерева игры является мерой «интеллекта» программы, под которым понимается ее способность наперед видеть возможные позиции и производить их оценку на каждом уровне дерева. Программа анализирует позиции и каждой из них ставит в соответствие определенное числовое значение, которое отражает степень «выгодности» достижения этой позиции. Пользуясь так называемой мини-максной процедурой, программа возвращает некоторые из полученных значений вверх по дереву на слой 1. Узел, получивший наибольшее значение, и определяет следующий ход.

Существует довольно интересная связь между двумя упомянутыми составляющими, которые определяют интеллект программы: чем лучше механизм оценивания позиций, тем меньше необходимая глубина исследования дерева игры. На самом деле если бы программа обладала идеальной схемой оценивания, то ей никогда не потребовалось бы просматривать дерево глубже, чем на один слой. В то же время программа с очень простой схемой оценивания, чтобы продемонстрировать достаточно хорошую игру, должна просматривать дерево глубже. Возникает вопрос: насколько глубоко должен быть поиск при оценивании позиций только с точки зрения обеспечения материального преимущества, чтобы программа могла успешно соперничать с игроком гроссмейстерского класса? Достаточно ли будет 20 слоев?

Звание гроссмейстера присваивается международной шахматной федерацией игрокам, отличившимся в международных соревнованиях (федерация не рассматривает результаты, достигнутые компьютерами). Гроссмейстеры обычно имеют «рейтинг» выше 2400 баллов. К началу чемпионата Северной Америки по шахматам среди компьютеров NITECH сыграла 21 партию в турнирах с шахматистами высокого класса и набрала 2233 балла. Это самый высо-

кий в мире результат, достигнутый компьютером. По словам Берлинера, имевшего в свое время рейтинг 2443 балла, рейтинг NITECH возрастал в среднем на 8 баллов за игру на турнирах, проводившихся в США. Означает ли это, что через двадцать с лишним игр машина превзойдет своего создателя?

В связи с этим невольно задаешься вопросом, насколько хорошими игроками станут в конце концов компьютеры. Станет ли компьютер когда-либо лучшим в мире шахматистом? Д. Леви, в прошлом шахматист, а теперь бизнесмен и литератор, не раз заключал пари в спорах по данному вопросу. В 1968 г. он поспорил на 500 долл. с Дж. Маккарти из Стэнфордского университета, утверждая, что на протяжении следующих 10 лет ни одному компьютеру не удастся его обыграть. В августе 1978 г. на канадской выставке в Торонто Леви получил свои 500 долл. Там он выиграл соревнование с программой CHESS 4.5, созданной в Северо-Западном

университете. На следующие 6 лет Леви заключил пари уже на 6000 долл. В апреле 1984 г. Леви, находясь в Лондоне, сыграл по телефону матч с CRAY BLITZ и опять выиграл.

Удача воодушевила Леви до такой степени, что он предложил в Денвере новое пари на сумму 100 тыс. долл.: в течение следующих 10 лет любой компьютер будет побежден игроком — человеком, которого выберет Леви. Если кто-нибудь примет пари Леви, то, наверное, выставит против него не просто программу, а специализированный компьютер. Пока желающих заключить это пари не нашлось.

Два лучших участника Североамериканского турнира, NITECH и BEBE, по существу представляют собой такие шахматные машины. Интересно отметить, что программа, представленная самим Леви, INTELLIGENT SOFTWARE, заняла на турнире третье место. Она написана для компьютера Apple IIe, в котором нет

ПРОГРАММА	РАЗРАБОТЧИК	КОМПЬЮТЕР	ЯЗЫК	ПОЗИЦИЙ/С	ГЛУБИНА, ЧИСЛО СЛОЕВ
AWIT	Университет Альберта	Amdahl 5860	Алгол	10	3
BEBE (2-е место)	SYS-10, Inc. (Хоффман-Эстейтс, шт. Иллинойс)	Специализированная машина	Ассемблер	20 тыс.	7
CHAOS	Мичиганский университет	Amdahl 5860	Фортран	70	4
CRAY BLITZ	Южно-Миссисипский университет	CRAY X-MP 48	Фортран/Ассемблер	100 тыс.	8
NITECH (1-е место)	Университет Карнеги—Меллона	Sun (на спец. СБИС)	С	175 тыс.	8
INTELLIGENT SOFTWARE (3-е место)	Intelligent Software, Inc. (Лондон)	Apple IIe с акселератором	Ассемблер	500	7
LACHEX	Лос-Аламосская национальная лаборатория	CRAY X-MP 48	Фортран/Ассемблер	50 тыс.	7
OSTRICH	Университет Мак-Гилла	Сеть из 7 ЭВМ	Ассемблер Nova и Eclipse	1200	6
PHOENIX	Университет Альберта	Сеть из ЭВМ	С VAX 780 и 10-ти Sun	540	6
SPOC	Фирма SDI/Cypress Software (Сан-Хосе, Калифорния)	IBM PC	Ассемблер	300	5

Участники чемпионата Северной Америки 1985 г. по шахматам среди компьютеров



никаких изощренных аппаратных средств, за исключением платы акселератора, представляющей собой электронную схему, удваивающую быстродействие машины. Вероятно, Леви удалось разработать лучшую схему оценивания позиций.

Шахматные знатоки, присутствовавшие на чемпионате, сходятся на том, что лучшая партия на чемпионате была сыграна во втором туре между CRAY BLITZ и BEBE, продуктом коммерческого предпринимательства. Т. Шерцер из компании SYS-10, Inc., разработавший BEBE, возил свое изобретение на несколько турниров, состоявшихся в последние годы. BEBE — это не просто программа, а специализированная шахматная машина. Упомянутая партия имела важное значение не только потому, что была наиболее интересной на чемпионате, но и потому, что в ней CRAY BLITZ потерпела первое поражение за три года.

Читатели, располагающие шахматной доской, могут проследить за игрой между CRAY BLITZ и BEBE, рассмотрев 50 ходов, приведенных ниже. Фигуры обозначены заглавными буквами: Кр — король, Ф —

ферзь, С — слон, К — конь, Л — ладья. Клетки, или поля, шахматной доски обозначаются буквенными и цифровыми координатами. Если доска установлена перед вами так, что нижнее левое поле черное, то по горизонтали поля нумеруются слева направо латинскими буквами a, b, c, d, e, f, g, h, а по вертикали — цифрами от 1 до 8 снизу вверх. Обозначения, применяемые для записи ходов игры, как это приведено ниже, иногда совершенно однозначны, например Kpb1 (король ходит на поле b1), а иногда не совсем понятны, например Kf3 (конь ходит на f3). Какой из двух коней? В данном случае лишь один конь может ходить на поле f3. Ход пешки обозначается просто указанием поля, на которое она ходит, скажем e4. Партию записал Валво:

CRAY BLITZ (белые)	BEBE (черные)
1. e4	c5
2. Kf3	d6
3. d4	cd

(Обозначение cd означает, что пешка с поля c бьет пешку на поле d.)

4. K:d4	Kf6
---------	-----

(Знак «:» означает, что фигура бьет фигуру или пешку противника.)

5. Kc3	g6
6. Cg5	Cg7
7. Фd2	Kc6
8. 0—0—0	0—0

(Рокировка: у белых на ферзевом фланге, у черных на королевском.)

9. Kb3	Le8
10. Cc4	Kg4

Черные сыграли Kg4, готовясь к тому, чтобы затем сыграть 11...C:c3. Черные, наверное, считали, что после этого белые вынуждены будут сыграть 12.bc. Однако черные, должно быть, передумали, проанализировав другой возможный ход белых. Если C:c3, то Ф:c3! Ход K:f2 станет бессмысленным, если одна из ладей белых сыграет на f1, в то время как ход белых C:f7+ (шах) был бы для черных роковым.

11. h3	Kge5
12. Cb5	a6
13. Ce2	a5
14. Cb5	Ce6
15. Kd5	a4
16. Kd4	Cd7

Положение белых становится отчаянным. Пешка черных (a4) создает угрозу на королевском фланге белых.

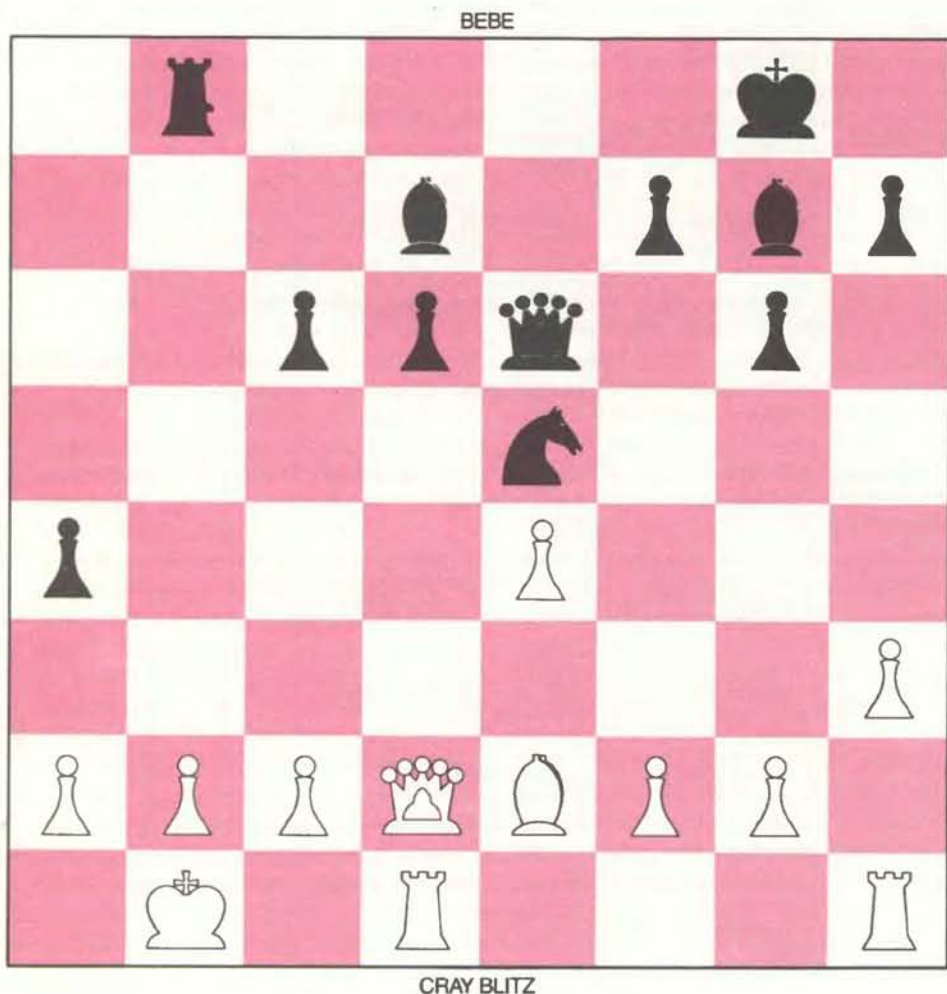
17. K:c6	bc
18. K:e7+	Л:e7
19. C:e7	Ф:e7
20. Ce2	Фe6
21. Kpb1	Лb8

(Положение фигур на доске после 21-го хода показано на рисунке слева.) Черные угрожают ходом 22...Лb2+, затем последует 23. Kpb2 Kc4, «вилка», в результате которой белые проигрывают ферзя.

22. b3	ab
23. cb	Ce8
24. Kpc2	Kd7
25. f3	Ла8
26. Kpc1	Kc5
27. Фc2	Фf6
28. Cc4	Фa1+
29. Kpd2	Ф:a2

Более сильный ход был бы 29...Cc3+, шах, за которым последовал бы 30. Кре2 Л:a2!

30. Ф:a2	Л:a2+
31. Kpc1	d5
32. ed	cd
33. C:d5	Cb5
34. Лhe1	Kd3+



Положение после 21-го хода



Материальный перевес черных на одну фигуру может стать ощутимее в результате очередного размена. В игре шахматистов в этой позиции белые, наверное, признали бы себя побежденными.

- |     |      |      |
|-----|------|------|
| 35. | L:d3 | C:d3 |
| 36. | Le8+ | Cf8  |
| 37. | g4   | Kpg7 |
| 38. | Le3  | Ca3+ |
| 39. | Kpd1 | La1+ |
| 40. | Kpd2 | Cf1  |
| 41. | Kpc3 | Lc1+ |
| 42. | Kpd2 | Lc5  |
| 43. | Kpe1 | C:h3 |
| 44. | Cc4  | h5   |
| 45. | gh   | gh   |
| 46. | Kpf2 | h4   |
| 47. | Ld3  | Cf5  |
| 48. | Ld4  | h3   |
| 49. | Lh4  | Lc7  |

Сделав ход 50. Lh5, белые сдались.

Программа CRAY BLITZ выполняется на компьютере CRAY XM-P 48. Славящийся своим быстродействием и большим числом процессоров CRAY тем не менее представляет собой универсальную ЭВМ, а не специализированную шахматную машину. Очевидно, система VEBE, аппаратные средства которой специально предназначены для игры в шахматы, превзошла комбинацию машины CRAY и программы CRAY BLITZ.

Система NITECH в определенном смысле еще более специализирована. Когда Университет Карнеги — Меллона был еще Технологическим институтом Карнеги, там была разработана программа TESH, играющая в шахматы. Имя NITECH отражает тот факт, что Берлинер, Кемпбелл и другие ее разработчики: К. Эбелинг, Г. Гетш, Э. Пэлей и Л. Сломер, приспособили заложенные в программе TESH принципы к новой технике на сверхбольших интегральных схемах (СБИС) и с параллельным режимом работы. Машина NITECH представляет собой компьютер Sun с процессором специальной конструкции, который Берлинер называет поисковым. Компьютер Sun выполняет три программы: интерфейс с пользователем, управляющую программу и программу «оракул». Последняя представляет собой то, что специалисты в области шахматных программ называют «книгой». Это обширный каталог известных в шахматной литературе дебютов и их вариаций. База данных оракула содержит также значительный объем других сведений из теории шахмат, которые нетрудно пополнять. Когда поисковый процессор исследует возможные варианты развития игры из заданной позиции, он

прибегает к этой информации и с помощью оракула выбирает ту, которая имеет отношение к данной позиции.

Сам же поисковый процессор состоит из микропроцессора и нескольких аппаратных модулей, которые генерируют ходы, оценивают их, проверяют, не повторяются ли ходы, и т. д. Микропроцессор координирует действия, выполняемые этими модулями. Генератор ходов состоит из 64 СБИС, по одной микросхеме на каждое поле шахматной доски. Каждая микросхема «просматривает» всю доску, чтобы определить, может ли какая-нибудь фигура или пешка пойти на контролируемое ею поле. Она определяет наилучший ход, пользуясь такими стандартными критериями, как возможность взятия фигуры или пешки противника или обеспечение господства в центре доски. Одновременно другие 63 микросхемы заняты той же работой (параллельный режим). Если на доске 10 фигур, то подобная архитектура аппаратных средств означает, что ходы генерируются в 10 раз быстрее при прочих равных условиях.

Процедура оценивания должна вовремя поспевать за генерацией ходов. На первой стадии оценивание производится самим генератором ходов. В нем содержится своего рода «эксперт», который оценивает все ходы, генерируемые каждой из 64 микросхем. Каждая такая микросхема вычисляет значение, характеризующее силу наилучшего из рассмотренных ею ходов и передает это значение выбирающему ход «эксперту». Числа, генерируемые микросхемами, дублируются привлекающими внимание звуковыми сигналами. «Эксперт» располагает их в порядке громкости (т. е. эффективности ходов).

Затем NITECH приступает к поиску на игровом дереве, следуя вариантам, выбранным «экспертом» из всех возможных в данной позиции. Затем производится еще одно оценивание, теперь уже для каждой новой позиции, генерируемой на дереве игры. Пользуясь познаниями шахматной теории (поставляемыми оракулом), применимыми к данной позиции, модуль оценивания рассматривает каждую из них независимо от того, находится ли эта позиция на горизонте средней глубины просмотра или нет. В этом заключаются преимущества и сама сущность параллелизма — дополнительная работа не требует дополнительного времени. Управляющая программа компьютера Sun сообщает поисковому процессору, на какую глубину следует исследовать дерево игры и нужно ли продолжить поиск на большую глубину, когда это



Как поставить мат, имея ладью и короля?

исследование закончено. Таким образом системе NITECH удастся достичь средней глубины просмотра, равной 8 слоям, а в отдельных случаях проводить исследование вплоть до 14 слоев. Все же эти цифры могут показаться еще далекими от 20 слоев, потребность в которых не исключена для победы над гроссмейстером. В то же время параллельный режим работы NITECH и довольно умелое использование теоретических положений о решении шахматных комбинаций в процессе исследования дерева игры могут компенсировать относительно небольшую глубину поиска. Во всяком случае, на следующем чемпионате мира по шахматам среди компьютеров, который состоится в Колоне (ФРГ) в июне этого года, NITECH, по-видимому, будет одной из сильнейших претенденток на звание чемпиона.

NITECH — новейшая в мире шахматная машина. А первая машина для игры в шахматы была изобретена в 1890 г. испанским инженером Л. Торресом-и-Кеведо. Используя механические рычаги, блоки и электромеханические переключатели, она играла ладьей и королем против короля. Сопернику отводилась роль манипулирования «голым» королем, чтобы избежать мата. Машина Торреса-и-Кеведо всегда выигрывала.

Предлагаем читателям самим построить алгоритм стратегии машины, играющей двумя указанными фигурами против короля противника. Естественно, следует предполагать, что король, которым играет человек, в исходной позиции не находится в положении «пат» (т. е. у него есть по крайней мере один ход, при котором он не попадает под шах). Задача, таким образом, заключается в том, чтобы указать, пользуясь как можно меньшим числом различных правил,



что должна делать машина, чтобы поставить мат из произвольного исходного положения. Позицию на доске, показанную на с. 97, можно принять за исходную.

Машина играет белыми и должна ходить первой. Как можно поставить мат черному королю, пользуясь ладьей и королем? Белые могли бы, например, начать с хода ладьей на поле d. После этого черный король не сможет уйти левее поля e. Маневр можно повторить, если король черных послушно уйдет вправо. Но что, если он останется на поле e, курсируя по нему то вверх, то вниз? Лучшее решение будет опубликовано независимо от того, будет ли оно алгоритмическим или описательным, т. е. выраженным на естественном языке.

**В** ЯНВАРСКОМ номере журнала в рубрике «Занимательный компьютер» речь шла о флибах — конечных «живых организмах», пытающихся предсказывать изменения в окружающей их среде. В первобытном компьютерном бульоне лучший представитель каждого поколения скрещивает свои хромосомы со случайно выбранным флибом. В результате эволюционного процесса возникают все более удачливые предсказатели, пока на свет не появляется организм, безошибочно предсказывающий изменения в среде.

По существу, флиб представляет собой конечный автомат. Другими словами, он обладает конечным числом состояний и для каждого принимаемого им сигнала (0 или 1) он вырабатывает ответный сигнал и переходит в новое состояние. Сигнал, генерируемый флибом на каждом цикле процесса, является предсказанием следующего сигнала, который должен быть им получен из внешней среды.

Некоторые читатели поставили перед своими флибами непосильные для них задачи. Никакая эволюция не породит флиба, способного предсказывать последовательности случайно генерируемых битов. Точно так же никогда не возникнут флибы, предсказывающие простые числа. От них можно требовать предсказания периодически повторяющихся двоичных последовательностей. Например, существует флиб с четырьмя состояниями, предсказывающий повторяющуюся восьмисимвольную последовательность 01100010. Однако даже повторяющаяся последовательность может выйти за пределы предсказательной способности флиба, если основная цепочка окажется слишком длинной по отношению к числу его состояний. На самом деле ни один

флиб с четырьмя состояниями не сможет предсказать повторяющуюся последовательность 010010111. Почему?

Простейший ответ на этот вопрос можно получить с помощью процедуры, которую я называю «ползучей индукцией». Представим себе флиб с одним состоянием. Он может предсказать бесконечно повторяющуюся основную последовательность 01. Для каждого из двух возможных сигналов, получаемых флибом, он вырабатывает один ответ: получив на входе 0, флиб отвечает 1 и переходит в то же самое состояние. Если он получает 1, то в ответ вырабатывает 0. Цепочка из трех символов, скажем 011, выходит за пределы возможностей флиба с одним состоянием просто потому, что автомат не имеет в своем наборе достаточного количества ответов. В то же время флиб с двумя состояниями располагает четырьмя возможными ответами, по два на каждое состояние. Таким образом, он может предсказать цепочку из четырех символов, но не справляется с цепочкой из пяти символов: когда дело доходит до пятого символа, флиб должен повторить один из своих предыдущих ответов. Принцип доказательства ясен. Флиб с  $n$  состояниями может предсказать последовательность, состоящую из  $2n$  символов, но не  $2n + 1$ . Можно найти приятное развлечение в том, чтобы составить последовательность из 8 бит, а затем сконструировать флиба, который ее предскажет. Совершенный предсказатель, полученный таким образом, будет единственным в своем роде. Об успехе программы AUTOSOUP можно судить, сравнивая совершенного предсказателя, порожденного программой в ходе эволюции, с флибом, который уже был построен «вручную».

Несколько читателей придумали, как можно ускорить работу программы AUTOSOUP. Например, практически не имеет смысла проверять существующую на данный момент популяцию флибов на последовательности из 100 символов, если основная цепочка содержит лишь 6 символов. В результате однократного повторения цепочки будет задана последовательность из 12 символов, которой оказывается вполне достаточно.

Ф. Каарет из Принстонского университета указал также на то, что количество команд в программе можно уменьшить, если оценивать показатели только двух флибов при каждом выполнении основного цикла, а не всей популяции. В конце концов, измениться могли лишь (самое большее) два флиба: флиб с наихудшим результатом был заменен новым гибри-

дом и еще один флиб, который, возможно, был поражен космическим лучом.

Ускорение, полученное путем сокращения тестовой последовательности символов окружающей среды и за счет устранения теста для старых флибов, приблизительно одно и то же. Теперь у нас должно хватить времени для того, чтобы получить в результате эволюции флибы с  $n$  состояниями, способные предсказать повторяющиеся цепочки символов длиной до  $2n$ .

Из письма Э. Кудала из Парк-Риджа (шт. Иллинойс) мы узнали, что ему неприятно было посылать последнего флиба прямо на тот свет. Вместо этого он стал скрещивать на каждом цикле худшего флиба с лучшим. Следуя этой схеме, Кудал смог менее чем за 40 поколений вывести флибов, способных предсказывать цепочки из шести символов.

## Издательство МИР предлагает:

### Ж.-П. Пету О ЧЕМ МЕЧТАЮТ РОБОТЫ?

Перевод с французского

Оригинальное изложение основных тенденций развития роботов с программным управлением, адаптацией и элементами искусственного интеллекта, построенное на многочисленных забавных иллюстрациях. Однако такая занимательность подачи материала не означает элементарности содержания. Например, автор вводит читателя в мир основополагающих идей Нойберта Винера и Дж. фон Неймана, на основе которых в ближайшие годы будут создаваться сложные робототехнические комплексы.

1986, 12 л. Цена 85 к.





## Планы и реальность

В ПОСЛЕДНИЕ несколько месяцев Организация стратегической оборонной инициативы (ОСОИ) усиленно стремится продемонстрировать достоинства средств слежения за целями и перехвата МБР противника, которые администрация Рейгана намерена развернуть в космосе. Луч лазера, расположенного на вершине горы на Гавайях, был отражен обратно с помощью лазерного отражателя, установленного на борту космического корабля многоцелевого использования «Дискавери»; экспериментальной ракетой был сбит рабочий спутник; химическим лазером и снарядом, подобным тем, которые будут использованы в электромагнитной пушке, разрушено несколько моделей ракет-носителей, причем одной из них предназначалось «телегенично» разлететься на куски. По словам генерал-лейтенанта Дж. Абрахамсона, директора программы «звездных войн», прогресс в этой области достиг невероятного уровня. Однако так ли это на самом деле?

Рассмотрим два вида оружия для разрушения МБР в полете: оружие направленной энергии и оружие прямого удара, основанные на использовании кинетической энергии. К первому виду относятся лазеры и пучки частиц, ко второму — химические и электромагнитные пушки. При каких условиях это оружие можно считать практически применимым?

Параметрами, которыми определяется эффективность лазера как оружия, являются длина волны и интенсивность излучения. Лазерное излучение типичных длин волн поглощается атмосферой; наиболее легко передается лазерное излучение в диапазоне длин волн от 0,3 до 1 мкм. Кроме того, чтобы уничтожить ракету, лазерное излучение должно иметь определенную интенсивность. По подсчетам экспертов ОСОИ, для того чтобы лазер смог в течение 1 с прочесть обшивку ракеты с расстояния 3000 км, плотность его излучения должна составлять  $10\ 000\ \text{Дж}/\text{см}^2$ , что соответствует интенсивности  $10^{21}\ \text{Вт}/\text{стер}$ . Мощность лазерного излучения с необходимой длиной волны и интенсивностью должна быть около 100 МВт. (Мощность обычной атомной электростанции составляет примерно 1000 МВт, а электростанции на твердом топливе — 700 МВт.)

В настоящее время ведутся работы по созданию лазеров четырех типов: химического, эксимерного, на свобод-

ных электронах и рентгеновского. В наибольшей степени разработана технология химических лазеров, генерирующих излучение в результате химического взаимодействия двух газов. Самый мощный из них является лазер на фтористом водороде с длиной волны в средней инфракрасной области. Этим лазером, который установлен на ракетном испытательном полигоне в Уайт-Сендз (шт. Нью-Мексико), была разрушена модель ракеты-носителя МБР, находившейся на земле на расстоянии примерно 850 м от лазера.

Интенсивность излучения самого мощного химического лазера пока равна  $10^{17}\ \text{Вт}/\text{стер}$ , т. е. в 10 000 раз меньше, чем необходимо для целей СОИ. Кроме того, длина волны этого лазера, равная 2,8 мкм, слишком велика, чтобы излучение распространялось на большие расстояния. Из-за больших длин волн (обычно от 1 до 4 мкм) пучки химических лазеров испытывают расхождение даже в условиях космического вакуума.

Большие надежды возлагаются на два типа лазеров, находящихся на относительно ранней стадии разработки: эксимерный лазер и лазер на свободных электронах. Слово *eximer* (эксимер) образовано от двух слов — *excited dimer*; возбужденный димер, представляющий собой неустойчивое соединение из двух молекул, образованное с помощью электрического разряда. При разрушении димеров происходит выделение энергии, порождающее лазерное излучение с длиной волны от 0,2 до 0,4 мкм. Самый мощный эксимерный лазер (на фтористом криптоне) находится в Лос-Аламосской национальной лаборатории (ЛАНЛ). Длина волны излучения составляет 0,25 мкм, а энергия импульса длительностью 380 нс — 10 000 Дж. Хотя такая энергия удовлетворяет целям СОИ, длительность импульса должна быть увеличена в 3 млн. раз.

В лазере на свободных электронах пучок отрицательных частиц проходит через последовательность «раскачивающих» магнитов, заставляющих электроны колебаться и испускать излучение. Изменяя расстояние между магнитами, можно настроить лазер теоретически на любую длину волны в диапазоне от 0,1 до 20 мкм. Самый большой лазер на свободных электронах, находящийся в ЛАНЛ, имеет длину волны до 10 мкм. Его создатели надеются уменьшить ее до 1 мкм при длительности импульсов 100 мс и мощности 30 кВт.

Серьезным недостатком как эксимерных лазеров, так и лазеров на свободных электронах является их относительно малый КПД преобразования электрической энергии в энергию излучения, который обычно равен 2—3% (для сравнения укажем, что КПД химических лазеров равен 10%). В результате первые два типа лазеров требуют больших подводимых мощностей и громоздких источников питания, что препятствует их размещению в космосе. Однако излучение лазеров наземного базирования искажается атмосферными возмущениями — явлением, которым объясняется мерцание звезд. Хотя искажения излучений обоих типов лазеров могут быть устранены с помощью так называемых модульных зеркал или обращением волнового фронта, конструкция этих лазеров нуждается в дальнейшем совершенствовании.

Возможно, наибольший интерес представляет рентгеновский лазер, находящийся в стадии разработки. Этот лазер состоит из ядерного взрывчатого вещества, окруженного цилиндрической системой тонких металлических волокон. Рентгеновские лучи, испущенные во время ядерного взрыва, порождают рентгеновский пучок лучей, исходящих из волокон в течение микросекунды перед тем, как все устройство полностью разрушается. Несколько месяцев назад «просочились» новости, что создателям рентгеновского лазера удалось увеличить его мощность и сфокусировать излучение во время подземных испытаний. Однако потом появились сообщения, что устройства управления были неправильно калиброваны и полученные результаты оказались неопределенными.

Другой класс оружия направленной энергии включает в себя генераторы пучков частиц как заряженных, так и нейтральных. По словам С. Роквуда, возглавляющего в ЛАНЛ работы по программе СОИ, для создания эффективного оружия пучок частиц должен иметь энергию 250 МэВ. Если предположить, отмечает Роквуд, что градиент ускорения составляет 10 МэВ/м, то потребуется сооружение длиной по крайней мере 25 м. Если подсчитать массу такого оружия с учетом массы источника питания и топлива для него, то она окажется равной 50—100 т. Размещение такого оружия в космосе окажется слишком дорогим; в настоящее время масса обычного полезного груза составляет всего несколько тонн.

Значительные трудности также предвидятся при размещении этого класса оружия на земле. Как считает большинство специалистов, пучок ча-





*ИЗОБРАЖЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ПЯТНА, заснятое с борта космического корабля многогодового использования «Дискавери» во время проведения эксперимента в июне 1985 г. Луч лазера с вершины горы на Гавайях был послан к отражателю на борту «Дискавери» и удерживался на нем более двух минут. Корабль в это время пролетал над Гавайями на высоте примерно 400 км. При прохождении через атмосферу диаметр луча, первоначально равный диаметру карандаша, увеличился до 457 см.*

стиц не сможет проникнуть через атмосферу. Кроме того, если это пучок заряженных частиц, то он будет отклоняться магнитным полем Земли. В настоящее время проводятся эксперименты по использованию лазерных лучей в качестве направляющих «каналов» в атмосфере для пропускания вдоль них пучков заряженных частиц. (Этот метод, по-видимому, также позволит повысить стабильность пучка, которая нарушается из-за сил отталкивания между частицами, имеющими одинаковый знак заряда.) Идея метода состоит в создании в газе ионизованного канала, по которому распространяется пучок электронов высокой энергии. Такой канал образуется при распространении лазерного излучения в газе, которое «сдирает» электроны с атомов этого газа. Используя вариации этого метода, исследователи Сандийских национальных лабораторий в Ливерморской национальной лаборатории направляют пучки электронов высокой энергии по каналам длиной в несколько метров. Такой метод, однако, вряд ли

будет эффективным в условиях космоса, где ионизация газа невозможна ввиду его отсутствия и где влияние магнитного поля Земли все равно будет значительным.

Внимание исследователей привлекает возможность использования пучков нейтральных частиц, на которые магнитные поля не влияют. Крупнейшей программой в этом направлении является создание и совершенствование опытной установки в ЛАНЛ. По имеющимся данным, на этой установке уже достигнута энергия 3 МэВ; в этом году планируется достичь уровня 7 МэВ, что на несколько порядков величины меньше, чем запланировано в Роквуде, — 2500 МэВ. Пучки нейтральных частиц, однако, имеют тот недостаток, что они быстро ионизируются: атмосфера «сдирает» с них внешние электроны. Поэтому такие пучки превращаются в пучки заряженных частиц, о которых говорилось выше.

Каковы прогнозы в отношении оружия прямого удара (электромагнитных и химических пушек)? В элек-

тромагнитной пушке снаряд ускоряется по параболической траектории за счет взаимодействия электрического тока и магнитного поля. В рамках СОИ предусматривается создание электромагнитной пушки, выстреливающей снаряд массой 3 кг со скоростью 15 — 30 км/с; в настоящее время достигнута скорость выстреливания пластмассовой пули массой 3 г, равная 11 км/с. Хотя работы по созданию химических пушек намного опережают разработку электромагнитных пушек, остается множество серьезных проблем, относящихся к каждому типу оружия прямого удара. Как отметил в журнале «*Physics Today*» Дж. Йонас, главный эксперт ОСОИ по вопросам научных исследований: «Несомненно, что 8-килограммовый снаряд, движущийся со скоростью 10 км/с, поразит цель... Однако разработка легковесной системы самонаведения для такого снаряда, способной выдерживать стартовые перегрузки, а также дешевых химических ракет или размещаемых в космосе источников питания мощностью сотни мегаватт для электромагнитных пушек, возможно, окажется более сложной задачей».

Руководителям ОСОИ, видимо, придется проявлять гибкость в выборе путей решения наиболее сложных проблем, связанных с созданием противоракетного щита. Когда стало известно об урезывании бюджета СОИ (вместо 3,7 млрд. долл., которые администрация Рейгана запросила выделить на программу СОИ в текущем финансовом году, конгресс одобрил 2,7 млрд. долл.), Абрахамсон заявил, что разработке лазеров космического базирования и электромагнитных пушек будет уделено меньше внимания. Вместо этого работы будут сконцентрированы на создании лазеров наземного базирования и самонаводящихся ракет, поскольку, как заметил Абрахамсон, «этот путь в настоящее время представляется наиболее простым».

### Неясные перспективы

**П**РЕПОДАВАТЕЛИ колледжей в США настолько неудовлетворены своей зарплатой и возможностями продвижения по службе, что почти 40% из них намерены в ближайшие пять лет заняться поисками другой работы. Этот вывод следует из опроса, проведенного «Фондом Карнеги на совершенствование обучения» среди 5000 штатных преподавателей четырех- и двухгодичных колледжей.

Опрос показал, что 60% преподавателей считают свою зарплату сно-



ной или низкой. Около 75% говорят, что рост их заработной платы не поспевает за инфляцией.

Причиной неудовольствия служит также неравенство реальных заработков преподавателей естественных и технических наук и преподавателей гуманитарных дисциплин, обусловленное тем, что первые могут иметь дополнительные доходы за счет разного рода деятельности вне стен колледжа, например в качестве консультантов. Хотя при опросе этот факт не затрагивался, авторы проведенного исследования утверждают, что эта проблема «лежит на виду».

Чувство неудовольствия обусловлено и ненадежными перспективами в продвижении по служебной лестнице. Две трети опрошенных преподавателей заявили, что получить ту или иную должность сейчас стало труднее, чем пять лет назад. Около 30% чувствуют себя «прикованными» к своей работе, поскольку возможности для продвижения или перехода на другую работу ограничены.

### Сверхпроводник с аномальными магнитными свойствами

НЕКОТОРЫЕ материалы, такие, например, как ртуть и алюминий, при охлаждении до очень низких температур становятся сверхпроводниками: их электрическое сопротивление обращается в нуль. Недавно группа ученых синтезировала новый материал, который переходит в сверхпроводящее состояние под действием сильного магнитного поля.

Этот материал, известный под названием церий—свинец-3 ( $\text{CePb}_3$ ), является представителем немногочисленного класса так называемых тяжелофермионных сверхпроводников. Термин «тяжелофермионные» отражает тот факт, что электроны в этих сверхпроводниках ведут себя так, как если бы они были в 100—1000 раз тяжелее обычных электронов. (Хотя электрон и является представителем фермионов — элементарных частиц, подчиняющихся статистике Ферми, возможно, было бы более верно называть такие сверхпроводники «тяжелозлектронными».) «Тяжелые» электроны, конечно, имеют ту же массу, что и обычные. Такое название объясняется тем, что электроны в этих сверхпроводниках ведут себя так, как будто их масса и в самом деле больше обычной; эти свойства вызваны тем, что электроны сильно связа-

ны с атомными ядрами и поэтому они движутся так, будто имеют большую массу.

Это открытие сделано группой исследователей в составе К. Лина, Дж. Титера, Дж. Кроу и Т. Михализина из Темплского университета, Дж. Брукса и А. Абу-Али из Бостонского университета и Г. Стюарта из Лос-Аламосской национальной лаборатории. Свои результаты они опубликовали в журнале «*Physical Review Letters*».

Исследователи обнаружили, что новый материал обладает еще одним интересным свойством. При охлаждении до температур, близких к абсолютному нулю ( $-273^\circ$  Цельсия), он становится антиферромагнетиком. У таких веществ магнитные моменты атомов в соседних узлах кристаллической решетки ориентированы в противоположных направлениях, поэтому намагниченность таких веществ очень мала. Как выяснилось в ходе

экспериментов, при помещении образцов нового материала (некоторые из них были достаточно крупными: их длина составляла 1 см, а сечение —  $1 \times 1$  мм) в сильные магнитные поля одновременно разрушается антиферромагнитное состояние и наступает сверхпроводящее. В частности, при температуре ниже  $0,5$  К церий—свинец-3 переходит в сверхпроводящее состояние под действием магнитного поля напряженностью около 15 тесла. (Величина магнитного поля Земли составляет примерно одну десятитысячную тесла.)

Хотя практические применения тяжелофермионного сверхпроводника в ближайшем будущем вряд ли возможны, Михализин отмечает, что дальнейшие исследования помогут понять связь между сверхпроводимостью и магнитными свойствами этого вещества. Возможно, они приведут к созданию новых магнитных материалов.

## Издательство МИР предлагает:

### С. Мьюрарка СИЛИЦИДЫ ДЛЯ СБИС

Перевод с английского

В книге рассмотрены и обобщены результаты исследований электрических, термодинамических, механических свойств силицидов — соединений кремния с переходными металлами. Дано описание методов использования силицидов в технологии СБИС, приведены конкретные примеры использования силицидной технологии при создании полупроводниковых электронных приборов. В книге содержится большой объем тщательно систематизированного экспериментального материала.

Из рецензии доктора техн. на-

ук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР Ю.Д. Чистякова: «В книге подводятся итоги за последние 10—15 лет и высказываются конкретные предложения по использованию силицидных пленок в технологии электроники, что особенно важно в связи с переходом технологии микроэлектроники на субмикронные размеры при изготовлении СБИС».

Для широкого круга специалистов в области полупроводниковой техники и материаловедения, а также для студентов и аспирантов.

1986, 12 л. Цена 2 р. 60 к.

Заказы на книги выпуска 1986 г.

принимаются магазинами — опорными пунктами издательства «Мир».

Издательство заказов не принимает.





Издательство МИР предлагает:

М. Хираока

## КРАУН-СОЕДИНЕНИЯ

Перевод с английского



Книга из серии монографий по теоретической органической химии. В ней дано полное и всестороннее освещение различных аспектов быстро развивающейся области — химии макроскопических эфиров («краун-соединений»). По мнению многих ученых, в том числе и автора книги — известного японского исследователя, профессора М. Хираоки, уникальные свойства краун-соединений могут оказать существенное влияние на основы некоторых научных областей, в частности находящихся на стыке химии и биохимии, а также

современной технологии.

Для химиков-органиков, биооргаников, биохимиков.

Из отзыва академика Н.М. Эмануэля: «Уникальные свойства краун-соединений являются главной причиной быстрого развития исследований по химии и применению этих соединений. Книга будет способствовать более широкому ознакомлению исследователей и практиков с возможностями химии краун-соединений, а также стимулирует дальнейшие изыскания и прикладные работы в данной области».

1986, 24 л. Цена 3 р.90 к.





# Издательство МИР предлагает:

Г. Реклейтис,  
А. Рейвиндран,  
К. Рэгсдел  
**ОПТИМИЗАЦИЯ В  
ТЕХНИКЕ**

В двух книгах  
Перевод с английского

Систематическое и доступное изложение существующих методов оптимизации. Строгие доказательства, как правило, заменяются графиками и таблицами, позволяющими читателю, не имеющему специальной подготовки, решать прикладные задачи. Основное внимание уделено рассмотрению методов оптимизации применительно к стационарным детерминированным моделям систем с непрерывно изменяющимися параметрами, когда принятому критерию оптимальности соответствует единственная целевая функция. Обсуждаются также многокритериальные задачи оптимизации с привлечением математического аппарата целочисленного и дискретного программирования. Приводятся классические методы прямого поиска минимума и градиентные. Много места уделено задачам линейного и нелинейного программирования. Для решения задач нелинейного программирования предложены процедуры линейной квадратичной аппроксимации целевой функции и ограничений в сочетании с методами множителей Лагранжа и переменной метрики. К большому достоинству книги можно отнести наличие 260 примеров решения задач оптимизации. При этом 60 из них представлено в виде рабочих программ для ЭВМ.

Для инженеров, специализирующихся в области проектирования технических устройств и систем, а также для аспирантов и студентов инженерных вузов.

1986, 21 л. Цена 1 р.20 к.



## Т-КЛЕТКА И ЕЕ РЕЦЕПТОР

*H-2* COMPATIBILITY REQUIREMENT FOR T-CELL-MEDIATED LYSIS OF TARGET CELLS INFECTED WITH LYMPHOCYTIC CHORIOMENINGITIS VIRUS: DIFFERENT CYTOTOXIC T-CELL SPECIFICITIES ARE ASSOCIATED WITH STRUCTURES CODED FROM *H-2K* OR *H-2D*. Rolf M. Zinkernagel and Peter C. Doherty in *The Journal of Experimental Medicine*, Vol. 141, No. 6, pages 1427-1436; June 1, 1975.

ANTIGEN-INDUCIBLE, *H-2*-RESTRICTED, INTERLEUKIN-2-PRODUCING T CELL HYBRIDOMAS. LACK OF INDEPENDENT ANTIGEN AND *H-2* RECOGNITION. John W. Kappler, Barry Skidmore, Janice White and Philippa Marrack in *The Journal of Experimental Medicine*, Vol. 153, No. 5, pages 1198-1214; May 1, 1981.

BINDING OF IMMUNOGENIC PEPTIDES TO IA HISTOCOMPATIBILITY MOLECULES. Bruce P. Babbitt, Paul M. Allen, Gary Matsueda, Edgar Haber and Emil R. Unanue in *Nature*, Vol. 317, No. 6035, pages 359-361; September 26, 1985.

## СРЕДНЕВЕКОВАЯ АСТРОНОМИЯ В СТРАНАХ ИСЛАМА

HOW GREEK SCIENCE PASSED TO THE ARABS. De Lacy O'Leary. Routledge & Kegan Paul, 1949.

THE OBSERVATORY IN ISLAM AND ITS PLACE IN THE GENERAL HISTORY OF THE OBSERVATORY. Aydin Sayilli. Publications of the Turkish Historical Society, 1960.

DICTIONARY OF SCIENTIFIC BIOGRAPHY. Edited by Charles Coulston Gillespie. Charles Scribner's Sons, 1962.

THE SCIENTIFIC ENTERPRISE. A. I. Sabra in THE WORLD OF ISLAM: FAITH, PEOPLE, CULTURE, edited by Bernard Lewis. Alfred A. Knopf, 1976.

STUDIES IN THE ISLAMIC EXACT SCIENCES. E. S. Kennedy. American University of Beirut, 1983.

Григорьян А. Т., Рожанская М. М. МЕХАНИКА И АСТРОНОМИЯ НА СРЕДНЕВЕКОВОМ ВОСТОКЕ. — М.: Наука, 1980.

Рожанская М. М. МЕХАНИКА НА СРЕДНЕВЕКОВОМ ВОСТОКЕ. — М.: Наука, 1976.

Розенфельд Б. А. АСТРОНОМИЯ СТРАН ИСЛАМА. В сб. «Историко-астрономические исследования», вып. 17. — М.: Наука, 1984, с. 67-122.

Таги-заде А. К., Вахабов С. А. АСТРОЛАБИИ СРЕДНЕВЕКОВОГО ВОС-

ТОКА. В сб. «Историко-астрономические исследования», вып. 12. — М.: Наука, 1975, с. 169-225.

## СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ГРАНИЦ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ

SEISMIC MULTICHANNEL TOWED ARRAYS IN THE EXPLORATION OF THE OCEANIC CRUST. Manik Talwani, Paul L. Stoffa, Peter Buhl, Charles Windisch and John B. Diebold in *Tectonophysics*, Vol. 81, No. 3-4, pages 273-300, January 20, 1982.

ORIGIN OF SEAWARD-DIPPING REFLECTORS ON OCEANIC CRUST OFF THE NORWEGIAN MARGIN BY "SUBAERIAL SEA-FLOOR SPREADING". John C. Mutter, Manik Talwani and Paul L. Stoffa in *Geology*, Vol. 10, No. 7, pages 353-357; July, 1982.

MULTICHANNEL SEISMIC IMAGES OF THE OCEANIC CRUST'S INTERNAL STRUCTURE: EVIDENCE FOR A MAGMA CHAMBER BENEATH THE MESOZOIC MID-ATLANTIC RIDGE. John C. Mutter and North Atlantic Transect (NAT) Study Group in *Geology*, Vol. 13, No. 9, pages 629-632; September, 1985.

СТРОЕНИЕ ДНА СЕВЕРО-ЗАПАДА ТИХОГО ОКЕАНА. Под ред. Ю. М. Пушаровского, Ю. П. Непрочнова. — М.: Наука, 1984.

## СЕРДЦЕ КАК ЭНДОКРИННАЯ ЖЕЛЕЗА

LE DEGRÉ DE GRANULATION DES CARDIOCYTES AURICULAIRES. ETUDE PLANIMÉTRIQUE AU COURS DE DIFFÉRENTS APPORTS D'EAU ET DE SODIUM CHEZ LE RAT. J. P. Marie, H. Guillemot and P. Y. Hatt in *Pathologie Biologie*, Vol. 24, No. 8, pages 549-554; October, 1976.

THE NATRIURETIC HORMONE AND ITS POSSIBLE RELATIONSHIP TO HYPERTENSION. H. E. de Wardener and G. A. MacGregor in *Hypertension: Physiopathology and Treatment*, edited by J. Genest, O. Kuchel, P. Hamet and M. Cantin, McGraw-Hill Book Company, 1983.

EFFECTS OF SYNTHETIC ATRIAL NATRIURETIC FACTOR ON RENAL FUNCTION AND RENIN RELEASE. John C. Burnett, Jr., Joey P. Granger and Terry J. Opgenorth in *American Journal of Physiology*, Vol. 247; *Renal, Fluid and Electrolyte Physiology*, Vol. 16, No. 5, pages F863-F866; November, 1984.

THE HEART AND THE ATRIAL



NATRIURETIC FACTOR. M. Cantin and J. Genest in *Endocrine Reviews*, Vol. 6, No. 2, pages 107-127; Spring, 1985.

### ВОССОЗДАНИЕ ФИЛОГЕНЕЗА ПТИЦ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СОПОСТАВЛЕНИЯ ДНК

THE PHYLOGENY AND CLASSIFICATION OF BIRDS BASED ON THE DATA OF DNA-DNA HYBRIDIZATION. Charles G. Sibley and Jon E. Ahlquist in *Current Ornithology*, Vol. 1, pages 245-292; 1983.

THE PHYLOGENY AND CLASSIFICATION OF THE NEW WORLD SUBOSCINE PASSERINE BIRDS (PASSERIFORMES: OLOGOMYODI; TYRANNI). Charles G. Sibley and Jon E. Ahlquist in *Neotropical Ornithology*, edited by P. A. Buckley, Mercedes S. Foster, Eugene S. Morton, Robert S. Ridgely and Francine G. Buckley, American Ornithologists' Union Monograph No. 36, 1985.

### ИСКУССТВО КАМЕННОЙ КЛАДКИ

INCA CULTURE AT THE TIME OF THE SPANISH CONQUEST. John Howland Rowe in *Handbook of South American Indians*, edited by Julian H. Steward. Bureau of American Ethnology Bulletin 143, Vol. 2, Smithsonian Institution, 1946.

INCA ARCHITECTURE. Graziano Gasparini and Luise Margolies, translated by Patricia J. Lyon. Indiana University Press, 1980.

INCA QUARRYING AND STONECUTTING. Jean-Pierre Protzen in *Journal of the Society of Architectural Historians*, Vol. 44, No. 2, pages 161-182; May, 1985.

### ВИЛЬЯМ ГЕРШЕЛЬ И СТАНОВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ АСТРОНОМИИ

ON THE POWER OF PENETRATING INTO SPACE: THE TELESCOPES OF WILLIAM HERSCHEL. J. A. Bennett in *Journal for the History of Astronomy*, Vol. 7, Part 2, No. 19, pages 75-108; June, 1976.

HERSCHEL'S SCIENTIFIC APPRENTICESHIP AND THE DISCOVERY OF URANUS. J. A. Bennett in *Uranus and the Outer Planets*, edited by Garry E. Hunt. Cambridge University Press, 1982.

WILLIAM HERSCHEL, BATH, AND THE PHILOSOPHICAL SOCIETY. Roy Porter in *Uranus and the Outer Planets*, edited by Garry E. Hunt. Cambridge University Press, 1982.

Еремеева А. И. ВСЕЛЕННАЯ ГЕРШЕЛЯ. — М.: Наука, 1966.

Еремеева А. И. АСТРОНОМИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА И ЕЕ ТВОРЦЫ. — М.: Наука, 1984, с. 123-131.

Еремеева А. И. ВИЛЬЯМ ГЕРШЕЛЬ И СОВРЕМЕННАЯ КОСМОЛОГИЯ. В сб. «Историко-астрономические исследования», вып. 17. — М.: Наука, 1984, с. 45-66.

Еремеева А. И. ВИЛЬЯМ ГЕРШЕЛЬ И КРУПНОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА ВСЕЛЕННОЙ. — Земля и Вселенная, 1984, № 5, с. 81-84.

### СОЛНЕЧНЫЕ ПРОТУБЕРАНЦЫ

EINE THEORIE DER SOLAREN FILAMENTE. R. Kippenhahn, A. Schluter in *Zeitschrift für Astrophysik*, vol. 43, págs. 36-62; 1957.

SOLAR PROMINENCES. E. Tandberg-Hanssen. D. Reidel; 1974.

THE SUPPORT OF PROMINENCES FORMED IN NEUTRAL SHEETS. M. Kuiperus y M. Raadu in *Astronomy and Astrophysics*, vol. 31, págs. 189-193; 1974.

PHYSICS OF SOLAR PROMINENCES. Dirigido por E. Jensen, P. Maltby y F. Q. Orrall. IAU Coll, n.º 44, Oslo, 1979.

SOLAR MAGNETOHYDRODYNAMICS. E. Priest. D. Reidel; 1983.

CURRENT SHEET MODELS FOR SOLAR PROMINENCES. J. M. Malherbe y E. R. Priest in *Astronomy and Astrophysics*, vol. 123, págs. 80-88 y vol. 127, págs. 153-160; 1983.

Пикельнер С. Б. ПРОТУБЕРАНЦЫ. — Земля и вселенная, 1971, № 5, 13-19.

Прист Э. Р. СОЛНЕЧНАЯ МАГНИТОГИДРОДИНАМИКА. — М.: Мир, 1985.

СОЛНЕЧНАЯ И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНАЯ ФИЗИКА. Иллюстрированный словарь терминов. — М.: Мир, 1980.

### НАУКА ВОКРУГ НАС

THE DISCOVERY OF SUBATOMIC PARTICLES. Steven Weinberg. W. H. Freeman and Company, 1983.

### ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

CLASSIC CHESS PROBLEMS. Kenneth S. Howard. Dover Publications, Inc., 1970.

COMPUTER GAMESMANSHIP. David Levy. Simon and Schuster, 1984.

Ботвинник М. М. АЛГОРИТМ ИГРЫ В ШАХМАТЫ. — М.: Наука, 1968.

Ботвинник М. М. О КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ ЦЕЛИ ИГРЫ. — М.: «Советское радио», 1975.

Ботвинник М. М. О РЕШЕНИИ НЕТОЧНЫХ ПЕРЕБОРНЫХ ЗАДАЧ. — М.: «Советское радио», 1979.

## Издательство МИР предлагает:

К. Хейниг  
КАРЛ ШОРЛЕММЕР

Перевод с немецкого

Книга представляет собой очерк жизни и деятельности одного из видных химиков-органиков второй половины XIX века, ученого-коммуниста, друга Маркса и Энгельса. Историческая обстановка, общая характеристика научной и общественно-политической деятельности — это фон и основа, на которых развивается повествование о жизни ученого. Автор рассказывает о его экспериментальных работах в области парафиновых углеродов, педагогической и литературной деятельности, в частности, о создании учебника химии, по которому училось не одно поколение химиков.

1978, 5 л. Цена 30 к.



## В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 21.03.86.  
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,50 бум. л.

Усл.-печ. л. 13,00.

Уч.-изд. л. 16,51.

Усл. кр.-отт. 51,36.

Изд. № 25/4847. Заказ 188.

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



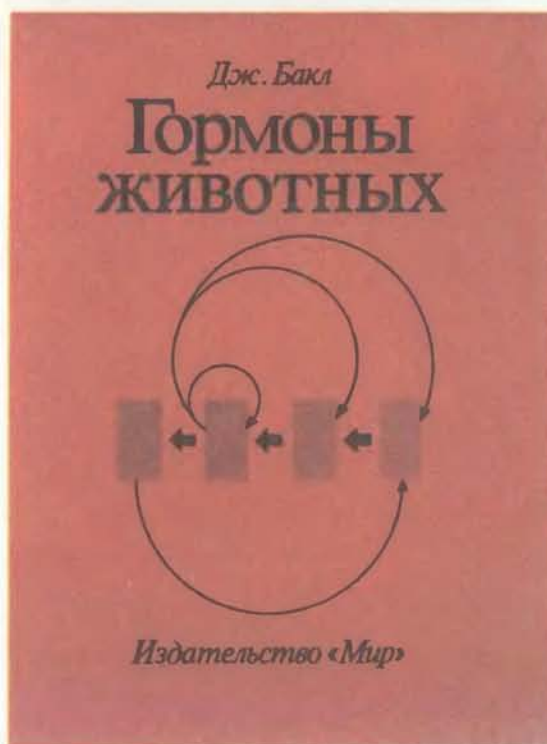


Издательство МИР предлагает:

Дж. Бакл

## ГОРМОНЫ ЖИВОТНЫХ

Перевод с английского



В книге английского автора довольно популярно и схематично, но на современном уровне изложены основные принципы гормональной регуляции как у беспозвоночных, так и у высших позвоночных животных.

Содержание: Основные представления о гормонах и методах их исследования. Нейросекреция и нейрогормоны. Аденогипофиз и гипоталамус. Щитовидная железа. Надпочечники. Половые железы, роль гормонов в репро-

дуктивном цикле. Гормоны пищеварительного тракта. Эндокринная функция поджелудочной железы и сахарный диабет. Роль гормонов в регуляции метаболизма. Другие эндокринные железы и тканевые гормоны. Гормоны беспозвоночных животных.

Для физиологов, биохимиков, фармакологов и врачей, для студентов и преподавателей институтов биологического и медицинского профиля.

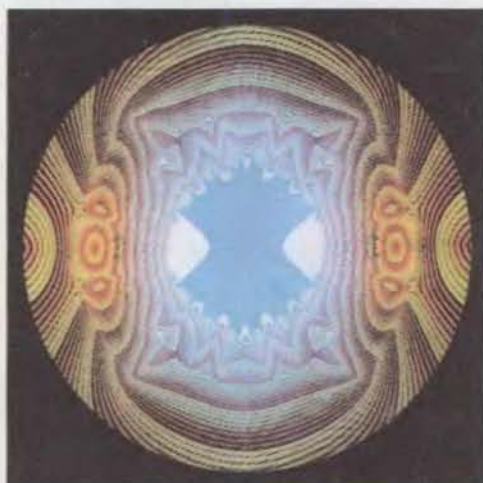
1986, 5 л. Цена 70 к.





# *В следующем номере:*

---



О ПРОЕКТЕ НОВОГО МОЩНОГО УСКОРИТЕЛЯ  
SSC — СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СУПЕРКОЛЛАЙДЕРА

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ США

ХВОСТ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГЕНЕТИКА ГЕМОФИЛИИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ РАСТЕНИЙ  
С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРА

ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ И ВООБРАЖЕНИЕ

ДРЕВНЕЕ ЗЕРНОХРАНИЛИЩЕ В АССИРОСЕ

СОВРЕМЕННАЯ СПОРТИВНАЯ ОДЕЖДА И ОБУВЬ

ПРОВЕРКА СПОСОБНОСТЕЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ  
С ПОМОЩЬЮ ТЕСТОВ НА УМСТВЕННОЕ РАЗВИТИЕ

ЗРИТЕЛЬНЫЕ ИЛЛЮЗИИ: ПОЯВЛЕНИЕ ОКРАСКИ  
У ЧЕРНО-БЕЛЫХ КАРТИНОК