

ISSN 0208-0621

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Октябрь **10** 1989

ГРАНДИОЗНАЯ СВЕРХНОВАЯ
1987 ГОДА

В МИРЕ НАУКИ · 1989 / № 10

Углеродный градиент

Полые углеродные мононити, каталитически выращенные на субмикронных частицах железа, могут служить в качестве подложки для получения углеродных волокон большего размера, используемых в производстве композитов. Один из ученых научно-исследовательских лабораторий фирмы General Motors установил механизм роста таких нитей и выяснил, почему они приобретают характерную форму.

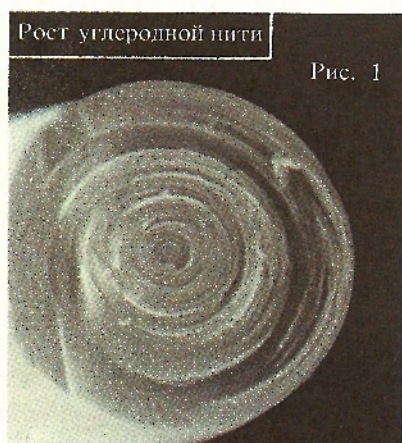


Рис. 1. Микроэлектронное изображение поперечного сечения углеродного волокна, выращенного методом осаждения.

Рис. 2. Типичная углеродная мононить, выращенная из природного газа на железной частице-катализаторе.

Рис. 3. Схематическое изображение нити с внутренним и внешним радиусами, зоной осаждения и базисными плоскостями графита на ее внешней поверхности.

Когда д-р Гари Тиббеттс, физик из научно-исследовательских лабораторий фирмы General Motors, измерял скорость диффузии углерода в железе, его тщательно спланированный эксперимент вдруг повел себя неожиданно. Он вводил углерод через внутреннюю поверхность горячей трубки из нержавеющей стали и одновременно удалял углерод с ее внешней поверхности.

В конце одного из экспериментов Тиббеттс обнаружил, что внутренняя поверхность трубки была покрыта массой черных «ресничек». Сразу же удалось установить, что это графитовые нити со всеми присущими кристаллическому графиту свойствами. Ответить же на вопрос о том, как они образовались, было не просто. Ученому пришлось изменить направление своих исследований и десять лет всецело посвятить этому вопросу.

Нити, вызвавшие интерес у д-ра Тиббеттса, состояли из концентриче-

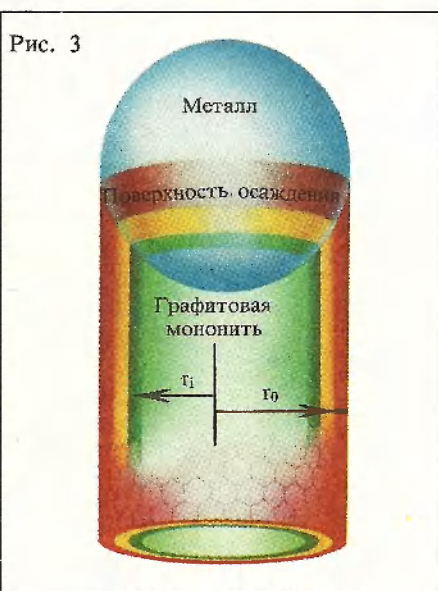
ских слоев, образуемых в основном базисными плоскостями (0001) решетки графита, и в поперечном сечении напоминали годовые кольца на срезе дерева (рис. 1). Исследования показали, что эти слои формируются в результате осаждения углерода на пустотелой центральной нити. Нить на частице металла образуется за счет каталитического действия последнего (рис. 2).

Эти длинные, тонкие и совершенно одинаковые нити стали наблюдать как только появился электронный микроскоп. Дать же убедительное объяснение механизма образования их полых структуры никто не мог. Многие считали, что такая структура связана с поверхностной диффузией углеродсодержащих молекул вокруг частицы-катализатора.

Тиббеттс предложил иную модель, согласно которой атомы углерода, образующиеся при разложении углеводородов, диффундируют через частицу-катализатор и, осаждаясь в виде графита, вызывают рост мононити. Процесс диффузии обусловлен градиентом углерода — неодинаковой его концентрацией на адсорбирующей поверхности, где углерод осаждается (рис. 3).

Внешние поверхности этих углеродных полых цилиндров образуются базисными плоскостями графита, поскольку при температуре 970 °С эти плоскости (0001) имеют поверхностную свободную энергию, равную примерно 77 эрг/см², а типичные поверхности, перпендикулярные базисным плоскостям, имеют поверхностную энергию выше 4000 эрг/см². Поэтому свободная энергия, необходимая для роста нити, минимальна, когда внешняя поверхность создается базисными плоскостями, как и наблюдалось в экспериментах.

Вся нить, таким образом, должна состоять из скрученных, вставленных



друг в друга базисных плоскостей графита. Однако для скручивания этих плоскостей в цилиндры в процессе осаждения необходима дополнительная упругая энергия. Нить остается полой, поскольку для скручивания плоскостей вблизи ее оси в цилиндр очень малого диаметра потребовалась бы слишком большая энергия.

В модели д-ра Тиббеттса математическое описание общей энергии, необходимой для формирования монокристалла, учитывает изменения химического потенциала ($\Delta\mu_0$) в процессе осаждения атома углерода из растворенной фазы, энергию, расходуемую на образование поверхности, и энергию, затрачиваемую на скручивание главных плоскостей в цилиндры.

Изменение химического потенциала ($\Delta\mu$), сопровождающее осаждение, выражается формулой:

$$\Delta\mu = \Delta\mu_0 - \frac{2\sigma\Omega}{r_0 - r_i} - \frac{Ea^2\Omega}{12(r_0^2 - r_i^2)} \ln(r_0/r_i),$$

где σ — энергия, затрачиваемая на образование единицы площади плоскости (0001) графита; Ω — объем атома углерода в кристаллической решетке графита; r_0 и r_i — внешний и внутренний радиусы нити; E — модуль нити; a — расстояние между плоскостями.

Нить, сформированная на частице-катализаторе радиуса r_0 , будет иметь такой радиус r_i , при котором $\Delta\mu$ максимально; фактически r_i можно рассчитать путем максимизации $\Delta\mu$. Расчет дает результаты, хорошо совпадающие с экспериментальными данными.

Понимание механизма роста полых нитей явилось ключом к получению их в большом количестве. «Теперь, — говорит Г. Тиббеттс, — нетрудно перейти к утолщению нити путем осажде-

ния углерода на ее внешней поверхности и получению макроскопического волокна. Осажденный углерод имеет высокую степень ориентации параллельно оси трубки, и это придает волокну исключительную жесткость.

Полученные таким способом волокна могут оказаться незаменимыми для производства композитов из «рубленых» волокон и пластика, керамики, металла или цемента в качестве связующего вещества. Отделение Delco Products фирмы General Motors уже приступило к строительству опытного завода для отработки технологии получения дешевых волокон для различных целей методом осаждения».

General Motors



MARK OF EXCELLENCE

КТО ЕСТЬ КТО



Д-р Гари Г. Тиббеттс — старший научный сотрудник физического отдела научно-исследовательских лабораторий фирмы General Motors. Закончил физический факультет Калифорнийского технологического института, получил степени магистра и доктора философии в области физики в Иллинойском университете.

Сотрудником фирмы Тиббеттс стал после двух лет постдокторантуры в Техническом университете г. Мюнхена. За время работы в научно-исследовательских лабораториях GM с 1969 г. он занимался различными научными проблемами — от изучения механизма образования углеродных нитей до физики поверхностей и исследования химических процессов осаждения из паровой фазы. По результатам собственных исследований им написано около 40 научных статей.

Тиббеттс — член Американского физического общества, Американского общества по исследованию углерода, а также Общества по исследованию материалов. В 1988 г. был удостоен премии Кэмбелла фирмы GM. Живет в Бирмингеме (шт. Мичиган), женат, имеет трех дочерей.

В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

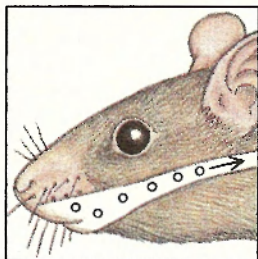
ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО · ВЫХОДИТ 12 РАЗ В ГОД · ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1983 ГОДА

МОСКВА «МИР»

№ 10 - ОКТЯБРЬ 1989

В номере:

СТАТЬИ



(Scientific American, August 1989, Vol. 261, No. 2)

- 6** Испытания химических препаратов на токсичность: эксперименты на животных и их альтернатива
Алан М. Голдберг, Джон М. Фрзьер

Использование животных для оценки безопасности химических веществ дорого, требует большой затраты времени и все больше подвергается критике обществами защиты прав животных. Применение альтернативных методов позволит обойти эти проблемы



- 14** Грандиозная Сверхновая 1987 года
Стен Вусли, Том Уивер

23 февраля 1987 г. астрономы увидели крупным планом катастрофическую гибель массивной звезды. Разносторонние наблюдения этого события позволили проверить существующую теорию и преподнесли новые загадки

- 23** Жесткое рентгеновское излучение Сверхновой 1987 А
Р.А. Сюняев



- 28** Как вирусы влияют на функционирование клеток
Майкл Б. А. Олдстоун

Некоторые вирусы влияют на способность определенных клеток производить гормоны и нейромедиаторы. Причиной многих нарушений деятельности различных желез и других органов могут быть персистентные инфекции, вызываемые такими вирусами



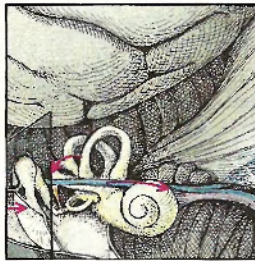
- 36** Спаривание у древесных сверчков
Дейвид Х. Фанк

У сверчков пение — это прелюдия к удивительному комплексу поведенческих реакций, связанных с размножением



44 **Метаморфоза обработки информации**
Дейвид Гелернтер

Процессы преобразования отдельных фактов в систему знания все больше опираются на эффективные и нетривиальные средства параллельного программирования



54 **Мышцы среднего уха**
Эрик Борг, С. Аллен Каунтер

Когда человек говорит или поет, а также когда на него воздействует громкий шум, крохотные мышцы за барабанной перепонкой непроизвольно сокращаются. Эта нервно-мышечная «контрольная система» защищает слуховой аппарат от перегрузок и позволяет лучше распознавать звуки



62 **Письменность майя**
Дейвид Стюарт, Стивен Д. Хьюстон

Индейцы майя имели самую развитую систему письма в доколумбовой Америке. В последнее десятилетие ученые наконец смогли прочесть тексты майя, что позволило заполнить значительные пробелы в наших знаниях об этой цивилизации



70 **Долгие дебаты о возрасте Земли**
Лоуренс Бадаш

За последние три столетия в ходе спора, в который были вовлечены архиепископ Ашер, Джеймс Хаттон, лорд Кельвин, Эрнест Резерфорд, Бертрам Болтвуд и Артур Холмс, возраст Земли увеличился до 4,6 млрд. лет

- РУБРИКИ**
- 5** Об авторах
 - 27** 50 и 100 лет назад
 - 13, 35, 52,**
 - 76, 82, 88, 94** Наука и общество
 - 78** Наука вокруг нас
 - 84** Занимательный компьютер
 - 90** Книги
 - 102** Эссе
 - 103** Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

Harry Myers
PRESIDENT AND PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Armand Schwab, Jr.
Timothy Appenzeller
Timothy M. Beardsley
John M. Benditt, Laurie Burnham
Elizabeth Corcoran
Gregory R. Greenwell
John Horgan, June Kinoshita
Philip Morrison (BOOK EDITOR)
Tony Rothman, Ricki L. Rusting
Russel Ruthen, Paul Wallich
Karen Wright

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
DIRECTOR OF PRODUCTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Georg-Dieter von Holtzbrinck
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel
CHAIRMAN EMERITUS

© 1989 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. Смолтров,
А. Ю. Краснопецев

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

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. К. Аносов

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА
В. С. Галкин

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
А. В. Лыткина

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ РУССКОГО ИЗДАНИЯ
М. Г. Жуков

ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ
В. В. Ефимов

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

© перевод на русский язык и оформление, «Мир», 1989

На обложке



ГРАНДИОЗНАЯ СВЕРХНОВАЯ 1987 ГОДА

На обложке изображены стадии эволюции Сверхновой 1987А, самой яркой за 383 года (см. статью: С. Вусли и Т. Уивера «Грандиозная Сверхновая 1987 года» на с. 14). Вспышка этой звезды показана с момента, когда ядро голубой звезды-предшественницы взорвалось, генерируя импульс высокоэнергичных частиц и ударную волну, которые разрушили звезду. Через несколько недель нагретое ударной волной вещество ее оболочки расширилось и охладилось, приобретая красный оттенок; в течение месяца оболочка превратилась в разреженное облако, «подсвечиваемое» радиоактивным распадом.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: George V. Kelvin

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК

7	S. Varnedoe	Newsphotos	69	Michael Goodman
8	Patricia J. Wynne	30 Tom Prentiss (<i>вверху</i>), Michael B.A. Oldstone (<i>внизу</i>)	71	Director of the British Geological Survey
9	Clonetics Corporation (<i>вверху слева</i>), Joseph Leighton, Medical College of Pennsylvania (<i>вверху справа</i>), S. Varnedoe (<i>внизу</i>)	31—32 Tom Prentiss 33 Michael B.A. Oldstone	72	Johnny Johnson
10—12	Patricia J. Wynne	38—43 David H. Funk 45 The Bettmann Archive	73	S. P. Thompson (<i>вверху слева</i>), Otto Hahn (<i>вверху справа</i>), Yale University Library (<i>внизу слева</i>), Mrs. Arthur Holmes (<i>внизу справа</i>)
15	David F. Malin, Anglo-Australian Observatory	46—50 Andrew Christie 55 Carol Donner	74	Quesada/Burke (<i>слева</i>), Bruce Coleman Inc. (<i>справа</i>)
17	John Maduell, Lawrence Livermore National Laboratory	56 S. Allen Counter (<i>вверху</i>), Gabor Kiss (<i>внизу</i>)	79—81	Michael Goodman
18—20	George V. Kelvin	57 Gabor Kiss	84	David Griffeth, University of Wisconsin at Madison
21	Arthur Franceschi, Lawrence Livermore National Laboratory; George V. Kelvin (<i>справа вверху</i>)	58 Cherly A. Swindoll (<i>вверху</i>); Berit Engström, Agneta Viberg, Karolinska Institute (<i>внизу</i>) 59, 60 Carol Donner	85	Edward Bell (<i>вверху</i>), David Griffeth (<i>внизу</i>)
22	George V. Kelvin	63 Museo Nacional de Antropología, Mexico City	86	David Griffeth
29	UPI/Bettmann	64—67 Michael Goodman 68 George Stuart		

Об авторах

Alan M. Goldberg, John M. Frasier "Alternatives to Animals in Toxicity Testing" (АЛАН М. ГОЛДБЕРГ, ДЖОН М. ФРЭЗЬЕР «Испытания химических препаратов на токсичность: эксперименты на животных и их альтернатива») ведут совместную работу в Центре по изучению возможностей замены экспериментов на животных при Университете Джона Гопкинса. Голдберг — директор этого центра. Ранее работал в комиссии по изучению возможностей замены экспериментов на животных Бюро по оценке технологических разработок при конгрессе США; недавно стал членом совета Института по разведению лабораторных животных Национальной академии наук США. Фрезьер — директор лаборатории токсикологических исследований *in vitro*; последнее время занимается разработкой методов количественного определения гибели клеток в культуре.

Stan Woosley, Tom Weaver "The Great Supernova of 1987" (СТЕН ВУСЛИ, ТОМ УИВЕР «Грандиозная Сверхновая 1987 года») сотрудничают более 15 лет в области исследований эволюции и взрывов звезд, а также происхождения химических элементов. Вусли — профессор астрономии и астрофизики Калифорнийского университета в Санта-Крус, декан факультета астрономии и астрофизики; является также членом Группы общих исследований физического отдела Лоренсовской национальной лаборатории в Ливерморе. Интересуется всем, что взрывается. Уивер возглавляет Группу общих исследований в Ливерморе и является главным специалистом по Программе рентгеновского лазера. Кроме астрофизики и коротковолновых лазеров он изучает управляемый термоядерный синтез и нелинейную динамику. Другие занятия Уивера включают йогу, айкидо и бег по пересеченной местности.

Michael B.A. Oldstone "Viral Alteration of Cell Function" (МАЙКЛ Б. А. ОЛДСТОУН «Как вирусы влияют на функционирование клеток») возглавляет лабораторию вирусной иммунологии на кафедре иммунологии и нейрофармакологии Скриппсовского клинического и научно-исследовательского фонда в Ла-Холья (шт. Калифорния). Получил степень бакалавра в Университете шт. Алабама в 1954 г., степень доктора медицины в Медицинской школе Мэрилендского университета в 1961 г. С 1969 г. работает в Скриппсовском фонде; кроме того, с 1972 г. является доцентом па-

тологии и нейробиологии в Калифорнийском университете в Сан-Диего.

David H. Funk "The Mating of Tree Crickets" (ДЕЙВИД Х. ФАНК «Спаривание у древесных сверчков») интересуется насекомыми еще с третьего класса школы, когда начал собирать свою первую коллекцию, путешествуя с родителями по шт. Джорджия. Продолжая коллекционировать насекомых, основную часть своего досуга на протяжении последних 10 лет он посвящает фотографированию насекомых и наблюдениям за ними в ночное время в окрестностях своего дома на юго-востоке шт. Пенсильвания. Фанк получил степень бакалавра в области энтомологии в Делавэрском университете и работает в качестве энтомолога в Центре по изучению водных ресурсов в Страуде при Академии естественных наук в Филадельфии.

David Gelernter "The Metamorphosis of Information Management" (ДЕЙВИД ГЕЛЕРНТЕР «Метаморфоза обработки информации») — профессор информатики в Йельском университете. Потребность в дополнительных вычислительных мощностях, необходимых для реализации сложных программных систем, привела его к идее о параллельных вычислениях. Вместе со своими коллегами он разработал систему параллельного программирования «Линда», которая, по мнению разработчиков, будет удачным средством для создания сложного программного обеспечения. В настоящее время Гелернтер занимается конкретными приложениями параллельных систем. Он закончил Йельский университет, а докторскую диссертацию по информатике защитил в Университете шт. Нью-Йорк в Стоуни-Брук. Статья Д. Гелернтера «Современное программирование» была опубликована в журнале «В мире науки» в № 12 за 1987 г.

Erik Borg, S. Allen Counter "The Middle-Ear Muscles" (ЭРИК БОРГ, С. АЛЛЕН КАУНТЕР «Мышцы среднего уха») с давних пор сотрудничают в изучении роли мышц среднего уха и физиологии ствола мозга. Борг возглавляет Отдел аудиологии и отологии Королевской клиники в Стокгольме, а также лабораторию по экспериментальным и клиническим исследованиям нарушений слуха в Королевском институте. Магистерскую степень получил в Королевском медицинском институте в 1973 г. Каунтер — нейрофизиолог, работает в Массачусетской больнице общего ти-

па. Докторскую степень получил в Университете Кейса в 1970 г. В настоящее время изучает возможность диагностического использования электрофизиологических тестов — потенциалов, возникающих в стволе мозга, а также акустического рефлекса стременной мышцы для выявления неврологических расстройств. Кроме всего, Каунтер занимает пост директора-распорядителя Гарвардского фонда.

David Stuart, Stephen D. Houston "Maya Writing" (ДЕЙВИД СТЮАРТ, СТИВЕН Д. ХЬЮСТОН «Письменность майя») — проводят совместные исследования майяской письменности. Дейвид Стюарт окончил в этом году Принстонский университет и намерен приступить к работе на соискание ученой степени в Университете Вандербилта. В течение нескольких последних сезонов археологических раскопок исследовал надписи в Копане (Гондурас). В 1984 г. за свою работу по расшифровке майяской иероглифики был награжден пятигодичной премией-стипендией Макартура. Стивен Хьюстон — ассистент на кафедре антропологии в Университете Вандербилта. Защитил докторскую диссертацию по антропологии в Йельском университете в 1987 г., посвященную политике Петешбатуну в Гватемале. Некоторые проблемы, поднятые в его диссертации, будут исследованы в последующие пять лет в ходе раскопок четырех или пяти классических городов майя в районе Петешбатуну, которые Хьюстон проводит вместе со своими коллегами.

Lawrence Badash "The Age-of-the-Earth Debate" (ЛОУРЕНС БАДАШ «Долгие дебаты о возрасте Земли») — профессор истории естествознания Калифорнийского университета в Санта-Барбаре. Получил образование в Политическом институте в Ренселере и Йельском университете, где в 1964 г. ему была присуждена докторская степень. Основные научные интересы связаны с выявлением роли ученых в создании атомного оружия, а также с историей изучения радиоактивности и развития ядерной физики. В свободное время Бадаш с рюкзаком за спиной совершил путешествие по высокогорьям Калифорнии, Гималаям и Альпам; он входит в состав поисковой горно-спасательной команды.

Продолжение см. на с. 104.

Испытания химических препаратов на токсичность: эксперименты на животных и их альтернатива

Использование животных для оценки безопасности химических веществ дорого, требует большой затраты времени и все больше подвергается критике обществами защиты прав животных.

Применение альтернативных методов позволит обойти эти проблемы

АЛАН М. ГОЛДБЕРГ, ДЖОН М. ФРЭЗЬЕР

КАЖДЫЙ год тысячи химических веществ подвергаются строгой проверке на токсичность. Почти все такие испытания проводят на животных, поскольку по реакции крыс, кроликов и мышей на химические агенты обычно можно весьма точно предсказывать их воздействие на организм человека. Введение в США в 1920-х годах проверки на животных было большим достижением в испытаниях препаратов на токсичность, а последовавшие за этим дебаты об использовании животных ограничивались отсутствием иных возможностей.

В последнее десятилетие споры относительно проверки токсичности целиком на животных очень обострились. Поскольку защитники животных осудили то, что миллионы животных подвергаются страданиям, производители химических веществ стали проявлять беспокойство по поводу затрат и трудностей, связанных с испытаниями на животных. Между тем случаи заболеваний, которые имели место при употреблении, например, талидомида, послужили напоминанием общественности и контрольным органам о риске поступления в продажу опасных химических веществ. В ответ на эту озабоченность токсикологи начали поиски иных путей испытания препаратов.

Их исследования дали новую методологию — проверку на токсичность *in vitro*. В буквальном смысле *in vitro* значит “в стекле”, т. е. “в пробирке”, но в биологии этот термин имеет более широкий смысл, обозначая исследования, в которых не используются интактные высшие животные. Иссле-

дование *in vitro* включает применение набора живых систем — бактерий, культур животных клеток, оплодотворенных куриных яйцеклеток, эмбрионов лягушки, — которые могут служить для оценки токсичности химических веществ в организме человека. Есть надежда, что в конце концов появится возможность проводить испытания на культурах человеческих клеток из различных органов и тканей, что в лучшей степени имитировало бы воздействие химического вещества на человека.

Введению испытаний *in vitro* способствовало несколько факторов. Один из них — развитие самой токсикологии. Сегодня исследователи гораздо лучше понимают, как начинаются токсикологические процессы и как проявляется токсическое действие, и для завершения эксперимента необязательно, чтобы животное непременно заболело или умирало. Другой фактор — технологические достижения последних нескольких лет. Новые возможности в культивировании клеток и тканей, в методах и средствах их анализа позволяют изучать токсичность с высокой тщательностью и точностью на клеточном уровне, а не на уровне организма.

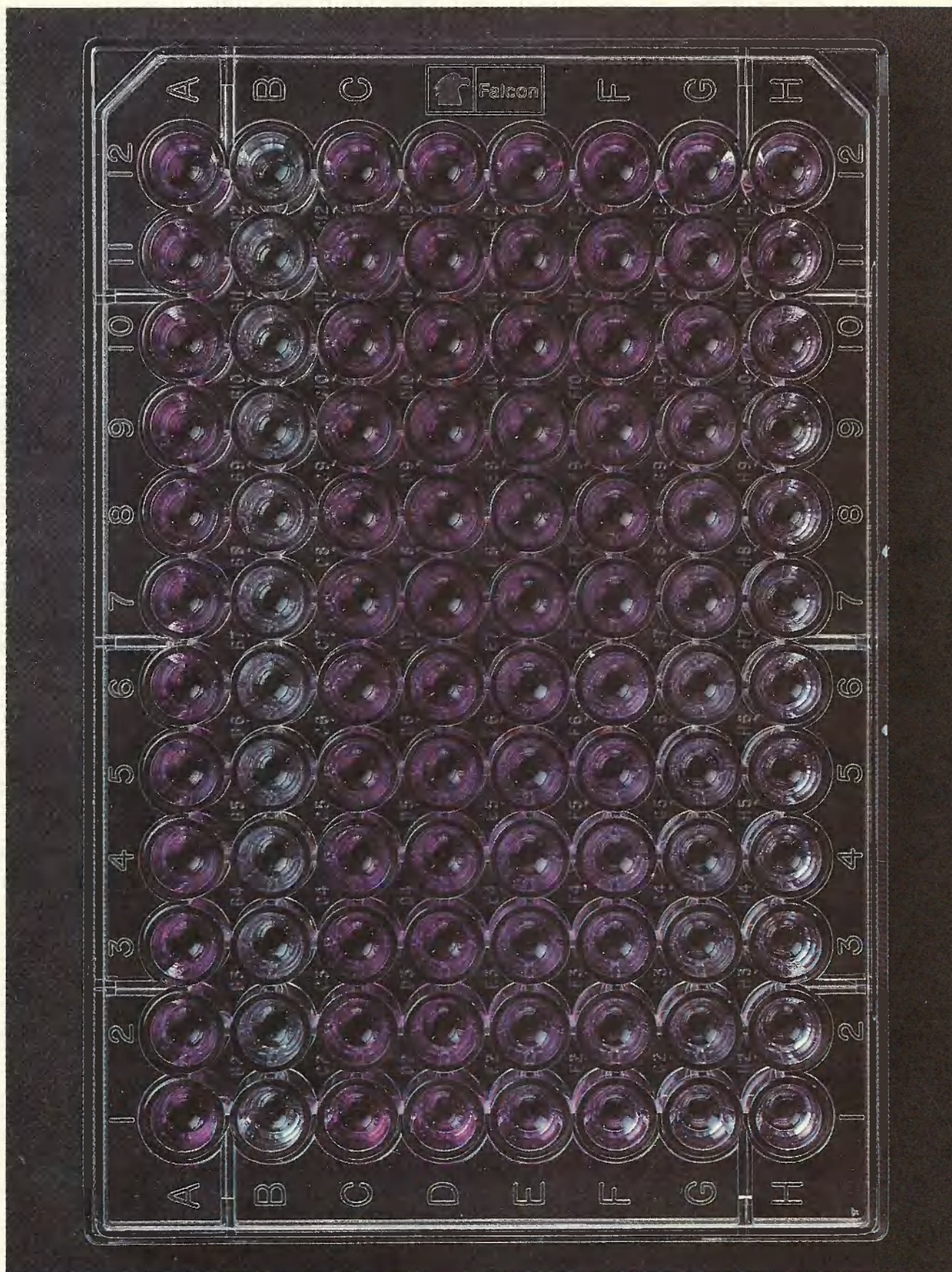
Однако на пути токсикологических исследований немало существенных препятствий. Во-первых, есть чисто технические трудности: ни единичное, ни комбинированное испытание *in vitro* пока не может достичь той комплексности взаимодействий, которая свойственна организму животного. Некоторые из препятствий обусловлены бюрократическими причинами: не установлено критериев для

утверждения методов испытаний *in vitro* или для применения результатов этих испытаний в оценке испытаний *in vivo*, т. е. на животных.

Мы полагаем, что испытания *in vitro* со временем преодолеют эти трудности. Уже имеются протоколы испытаний *in vitro*, которые могут дополнить распространенные в настоящее время методы и таким образом уменьшить количество испытаний на животных. Уже пора начать планировать пути введения методов *in vitro* в проверку токсичности химических препаратов в целом.

ПРОВЕРКА токсичности — один из двух главных элементов оценки риска, заключающейся в том, что новые вещества оцениваются по их потенциальному влиянию на здоровье и благополучие человека. Другой элемент — оценка воздействия, т. е. того, какое количество людей подвергается действию данного химического агента, в каких концентрациях, в течение какого времени и в каких условиях. Химическое вещество представляет значительный риск, если существует вероятность его воздействия на человека в количествах, достаточных для неблагоприятного эффекта.

Проверять на токсичность необходимо новые химические вещества, поступающие в продажу; известные вещества, если они предлагаются для использования в новом качестве; новые смеси из известных или новых компонентов. Такие испытания имеют двойную цель. Во-первых, идентифицируется риск, т. е. определяются потенциальные неблагоприятные эф-



ОКРАШИВАНИЕ нейтральным красным позволяет определить влияние химического агента на клетки в культуре. Клетки и испытываемое вещество в различных концентрациях помещают в ячейки пластины вместе с красителем.

Его поглощают только живые клетки, поэтому те образцы, в которых проверяемое соединение не причинило вреда, окрашиваются в розовый цвет, а те, в которых клетки погибли, остаются светлыми.

факты воздействия данного химического агента на организм человека (рак, поражение почек, нарушение репродуктивной функции и т. д.). Во-вторых, получают данные для количественной оценки — определяют зависимость “воздействие — ответ” у человека и других организмов.

Зависимость “воздействие — ответ” описывает вероятность развития специфической неблагоприятной реакции организма как функции воздействия химического вещества. Считается, что такая зависимость существует для каждого потенциально неблагоприятного эффекта, установленного при идентификации

риска, связанного с данным веществом. Однако эта зависимость может изменяться; на нее влияют способ введения химического вещества (через пищеварительный тракт, при дыхании или контакте с кожей), возраст, наследственные факторы и характер питания человека, подвергнувшегося воздействию. Примером определения зависимости “воздействие — ответ” может служить определение LD50 (от англ. lethal dose — летальная доза). Этот метод оценки острого поражающего действия химического агента был разработан в 1920-х годах для определения активности наперстянки и других лекарственных препаратов,

получаемых из биологических объектов. Он дает статистическую величину дозы вещества, вызывающей гибель 50% подопытных животных (см. иллюстрацию на с.10). Сравнение значений LD50 для различных веществ дает величину относительной токсичности. Разновидностью показателя LD50 является ED50 (от англ. effective dose — эффективная доза), в котором определяется доза вещества, вызывающая не смерть, а неблагоприятный эффект у 50% подопытных особей.

В настоящее время широко используются другие классические показатели, в частности показатели Дрейза раздражения глаза и кожи. Дж. Дрейз из Управления по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США в 1940-х годах разработал стандартную процедуру оценки раздражающего действия химического агента на кролика. Установленную дозу испытываемого вещества (0,1 мл жидкости или 0,1 г твердого вещества) вводят в один глаз животного и по определенной методике измеряют его раздражение; другой глаз служит контролем. Для измерения раздражения кожи участок кожи кролика выбривают и наносят на него испытываемое вещество. В обоих методах оценка степени раздражения и воспаления производится по специфическим критериям.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ величины LD50 и показателей Дрейза — наиболее известные общественности методы проверки токсичности и о них-то чаще всего говорят защитники прав животных. Но действие химических веществ на живой организм изучается обычно путем многих различных испытаний *in vivo*, в число которых входят не только проверка острого поражающего действия, какой является определение LD50, но также наблюдение хронического и субхронического эффектов, которое может продолжаться от двух недель до двух лет. Такие наблюдения дают информацию о механизме действия, поражаемых органах, симптоматике и канцерогенности (способности вызывать рак), а также летальности.

Другие методы позволяют установить характеристики токсического действия вещества. В частности, проверяется влияние химического агента на репродуктивную функцию и рост: не обладает ли он тератогенными свойствами, т. е. не вызывает ли нарушений процесса индивидуального развития. Анализируются аллергенные свойства, поскольку химическое вещество может, не повреждая кожу непосредственно, вызывать иммунный ответ, наподобие реакции на ядовитое растение сумач. Исследуется

СТАНДАРТНЫЕ МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ ТОКСИЧНОСТИ НА ЖИВОТНЫХ

	<p>ОСТРЫЕ, ХРОНИЧЕСКИЕ И СУБХРОНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ</p> <p>Определяется влияние испытываемого препарата на состояние здоровья и смертность в подопытной группе особей, подвергающихся его воздействию в течение различных периодов времени</p>
	<p>ПРОВЕРКА ВЛИЯНИЯ НА РАЗМНОЖЕНИЕ</p> <p>Оцениваются изменения фертильности и плодовитости в результате воздействия испытываемого вещества</p>
	<p>ПРОВЕРКА ВЛИЯНИЯ НА РАЗВИТИЕ</p> <p>Анализируются аномалии плода или новорожденного, развивающиеся в результате воздействия испытываемого вещества</p>
	<p>ПРОВЕРКА НА СПОСОБНОСТЬ ВЫЗЫВАТЬ ВОСПАЛЕНИЕ, РАЗДРАЖЕНИЕ КОЖИ ИЛИ ГЛАЗ</p> <p>Определяется воспалительная реакция и степень раздражения, возникающие в результате воздействия испытываемого вещества</p>
	<p>ПРОВЕРКА НА СПОСОБНОСТЬ ВЫЗЫВАТЬ ИММУНОЛОГИЧЕСКУЮ СВЕРХЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ</p> <p>Анализируется аллергическая реакция (сыпь и др. явления), развивающаяся в результате воздействия испытываемого вещества</p>
	<p>ПРОВЕРКА ФОТОТОКСИЧНОСТИ</p> <p>Определяется степень активации (усиления токсичности) испытываемого вещества под влиянием солнечного света</p>
	<p>ТОКСИКОКИНЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ</p> <p>Изучаются поглощение испытываемого вещества, его распределение в тканях, метаболизм, накопление и выведение из организма</p>
	<p>ПРОВЕРКА ВЛИЯНИЯ НА ПОВЕДЕНИЕ</p> <p>Изучается влияние испытываемого вещества на память, способность к научению и др. когнитивные функции в процессе развития и у взрослых особей</p>

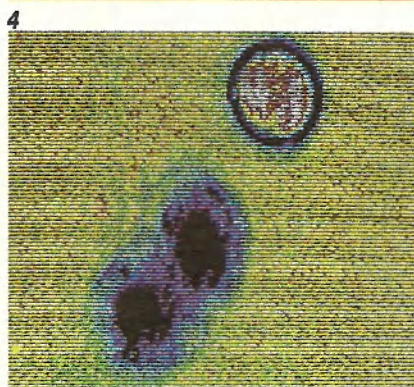
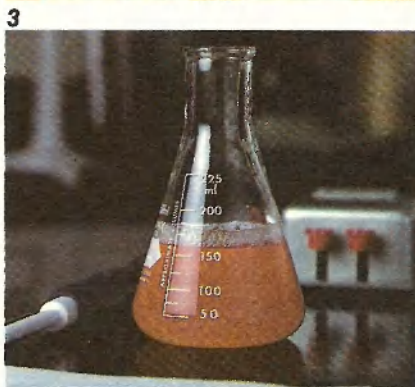
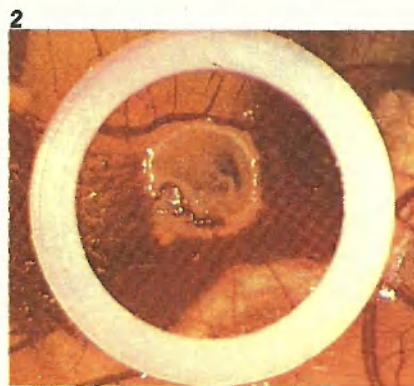
также фототоксичность, т. е. возможность активации химического вещества светом, усиливающей его раздражающее действие на кожу.

Иногда проводят токсикокинетические исследования, т. е. выясняют, как вещество всасывается и распределяется в организме, каков его метаболизм, накапливается ли оно и как выводится. Такие исследования особенно ценны, когда один и тот же химический агент обладает различными токсикокинетическими характеристиками у разных видов животных. Наконец, контролируют неврологические эффекты и влияние на поведение, измеряя когнитивные функции (память, способность к научению и проч.) у взрослого животного, а также у развивающегося организма.

Из этого перечисления ясно, что полная токсикологическая оценка даже одного химического вещества представляет собой весьма сложное, длительное и дорогостоящее дело. В типичном случае проверка нового химического вещества стоит 500 тыс. — 1,5 млн. долл., длится 2—3 года и требует принесения в жертву тысяч животных. Более того, десятки тысяч препаратов, уже имеющих в продаже, никогда не подвергались должному тщательному исследованию. Национальная академия наук США недавно отметила, что многие из этих веществ, возможно, вообще никак не проверялись.

Очевидно, что огромные преимущества имели бы методы проверки токсичности, не столь длительные и дорогие, как испытания *in vivo*. Несомненно, исследователям придется перейти на испытания *in vitro*, адекватно заменяющие опыты на животных. В настоящее время успешно разрабатываются несколько категорий методик.

СРЕДИ испытаний *in vitro* больше всего времени и средств затрачено на исследования генотоксичности, т. е. способности химического вещества повреждать генетический материал. Генотоксичностью обладают вещества, вызывающие рак, генные мутации и хромосомные аномалии. Исследования канцерогенности на животных относятся к числу наиболее дорогих и длительных испытаний на токсичность; вероятно, поэтому в США за последние десять лет истрачено более 70 млн. долл. на поиски заменяющих их методов *in vitro*. Сейчас уже используется ряд таких методов. Например, стандартный бактериологический метод Эймса широко применяется в испытаниях на потенциальную генотоксичность. Но вряд ли эти методы могут заменить опыты



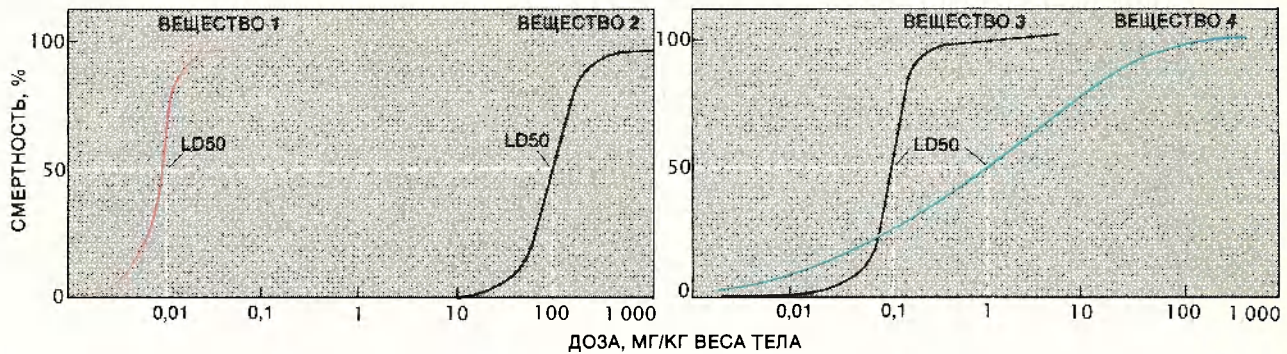
МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ ТОКСИЧНОСТИ *in vitro* сейчас успешно разрабатываются и входят в практику. Анализ с нейтральным красным (см. иллюстрацию на с. 7) применим к культивируемым клеткам кожи человека; он дает информацию о воспалении и раздражении, вызываемых химическим агентом (а). Для той же цели используется хориоаллантоис куриного эмбриона; на этом снимке испытываемое вещество внутри белого тefлонового кольца вызвало слабое поражение (b). Культура клеток печени может служить для изучения превращений вещества в организме, а также для определения поражения печени (с). Компьютерный анализ помогает интерпретировать данные, полученные *in vitro* (d); темные пятна представляют мертвые клетки; красный и белый цвета соответствуют живым клеткам (цвета условные).

на животных в испытаниях с хроническим воздействием, таких как биологическое определение продолжительности жизни грызунов.

Довольно давно существует также другая область исследований *in vitro* — изучение цитотоксичности. Определить цитотоксичность химического агента значит оценить его способность убивать клетки. Ряд методов определения цитотоксичности был разработан для специальных целей, в частности для отбора лекарственных препаратов, способных убивать раковые клетки; другие методы предназначались для более общего использования. В последние годы появилось много новых методов для различия мертвых и живых клеток. Лимитирующим фактором в испытаниях на цитотоксичность является число типов клеток, которые могут культивироваться *in vitro*.

В испытаниях на цитотоксичность *in vitro* широко используются две системы анализа: определение общего содержания белка в клетках и определение

поглощения клетками красителя нейтрального красного. И в том и в другом случае клетки, культивируемые в пластмассовых чашках Петри, обрабатывают различными концентрациями испытываемого вещества, которое добавляется в культуральную среду. Через 24 ч испытываемое вещество отмывают и в среду вводят аналитический реагент. При определении общего содержания белка в клетках таким реагентом служит ке-нацидовый синий; этот краситель, реагируя с клеточными белками, дает синюю окраску, плотность которой может быть измерена. Нормальные быстрорастущие клетки содержат больше белка, чем мертвые. Поэтому контрольные культуры окрашиваются в темно-синий цвет, а в тех чашках, где клетки убиты испытываемым веществом, окраска тем светлее, чем выше концентрация цитотоксического агента. По окраске клеточных культур определяют концентрацию испытываемого вещества, вызывающую 50%-ное снижение содержания белка (IC50, от англ. inhibition concentration — ингибирую-



ЗАВИСИМОСТЬ «ДОЗА—ОТВЕТ» позволяет определить показатель токсичности химического агента LD50 — концентрацию вещества, вызывающую смерть 50% особей, испытывавших его воздействие (слева). Однако для оценки ток-

сичности важна вся кривая, так как вещество с низким LD50 может быть при низких концентрациях менее токсичным, чем вещество с высоким LD50 (справа).

шая концентрация), и сравнивают со значением IC50 для известных химических токсинов, устанавливая таким образом относительную токсичность испытываемого вещества. Этот метод может быть автоматизирован, что значительно ускоряет испытания. Кроме того, анализ можно проводить в присутствии ферментов, расщепляющих проверяемое вещество (или как-либо модифицирующих его), что дает возможность также выявить эффект промежуточных химических соединений, которые могут возникнуть при превращениях данного вещества в организме.

Метод количественного определения поглощения клетками красителя нейтрального красного в принципе не отличается от предыдущего. Он основан на способности живых клеток поглощать из окружающей среды и накапливать краситель; мертвые же клетки к этому не способны. Количество поглощенного красителя является показателем числа живых клеток. Значение IC50 определяют, устанавливая зависимость числа убитых клеток от концентрации испытываемого химического вещества в культуре клеток. Сравнивая полученную величину со значениями IC50 для известных токсинов, оценивают относительную цитотоксичность.

ХОТЯ методы испытаний на цитотоксичность обладают ограниченными возможностями для прогнозирования тканеспецифического эффекта химического агента и его влияния на взаимодействие тканей или органов, они дают существенную информацию о собственной токсичности чистых химических веществ, смесей и лекарственных форм. Они также могут быть довольно хорошими индикаторами раздражения глаза, которое в большинстве случаев обусловлено гибелью клеток. Для оценки раздражения глаза воздействию подвергают

эпителиальные клетки роговицы; такой подход уже используется для оценки безопасности препаратов.

В Центре по изучению возможностей замены экспериментов на животных при Университете Джона Гопкинса найдено более 30 других методов *in vitro*, подходящих для оценки раздражения глаз. Некоторые из них позволяют также оценивать цитотоксичность, у других иная конечная цель. Например, Р. Тхао из Филадельфийского фармацевтического колледжа разработал методику обнаружения нарушений так называемых плотных межклеточных контактов, которые имеют важное значение в регуляции проникновения веществ через слой эпителиальных клеток роговицы.

Дж. Лейтон из Пенсильванского медицинского колледжа и Н. Лупке из Мюнстерского университета разработали метод, известный под аббревиатурой САМ (от англ. chorioallantoic membrane), в котором используется иной способ определения воспаления *in vitro*. Анализ этим методом состоит в следующем. Часть скорлупы оплодотворенного куриного яйца осторожно удаляют, обнажая тонкую оболочку — хориоаллантаис — и наносят на нее испытываемое вещество; иногда на хориоаллантаис помещают тефлоновое кольцо, которое ограничивает место нанесения химического вещества. Через 5 мин и через 24 ч после нанесения химического агента наблюдают воспаление.

В нескольких лабораториях использовали культуру клеток эпидермиса человека в качестве модели человеческой кожи. Некоторые методы культивирования клеток кожи были разработаны для регенерации кожи при ожогах. На культурах клеток кожи можно наблюдать воспаление под действием химических агентов точно так же, как и методом САМ, однако измерять биологический ответ на та-

ких культурах легче, чем на хориоаллантаисе.

Методы *in vitro* разработаны также для контроля токсичности в определенных органах-мишенях. При проверке токсического действия на органы-мишени *in vivo* изучают патологические изменения органов подопытного животного. При испытаниях *in vitro* культивируют и изучают клетки определенных органов. Значительные успехи достигнуты при испытаниях *in vitro* химических веществ, оказывающих токсическое действие на печень, кровь, сердце, почки, легкие и на нервную систему.

Особенно хорошо разработаны методики культивирования гепатоцитов (клеток печени). В различных экспериментах, в которых объектом исследования служила печень, сложились основы для испытаний на гепатотоксичность *in vitro*. Их проводят на выделенных гепатоцитах, срезах печеночной ткани и на цельной перфузируемой печени. В ряде методов используются гепатоциты человека. Но даже если вместо них берутся клетки животных, все равно значительно снижается число животных, нужное для получения надежных результатов. Достаточное для проведения испытаний количество ткани можно получить от 2—3 животных, тогда как при подходе *in vivo* для получения тех же результатов требуется 20—40 животных.

Эти системы *in vitro* могут служить как для идентификации химических агентов, оказывающих специфическое токсическое действие на печень, так и для определения кинетики их метаболизма и путей выведения из организма. При помощи систем, в которых используют крысинные гепатоциты, можно оценивать клеточные маркеры потенциальной токсичности. По мере накопления знаний о механизмах токсического действия раз-

личных веществ в системах органов будут, несомненно, появляться новые методы *in vitro*.

ЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ успехи достигнуты также в разработке систем *in vitro* для определения тератогенности химических агентов. Испытания на тератогенность основаны на установлении связи между показателями токсикологического ответа на данное вещество *in vitro* и сложными процессами различных проявлений его токсического действия в развивающемся организме, в частности в человеческом зародыше. Хотя многие из предложенных систем анализа включают целых животных — от гидры или плодовой мушки до эмбрионов лягушки или грызунов, — так что отпада-

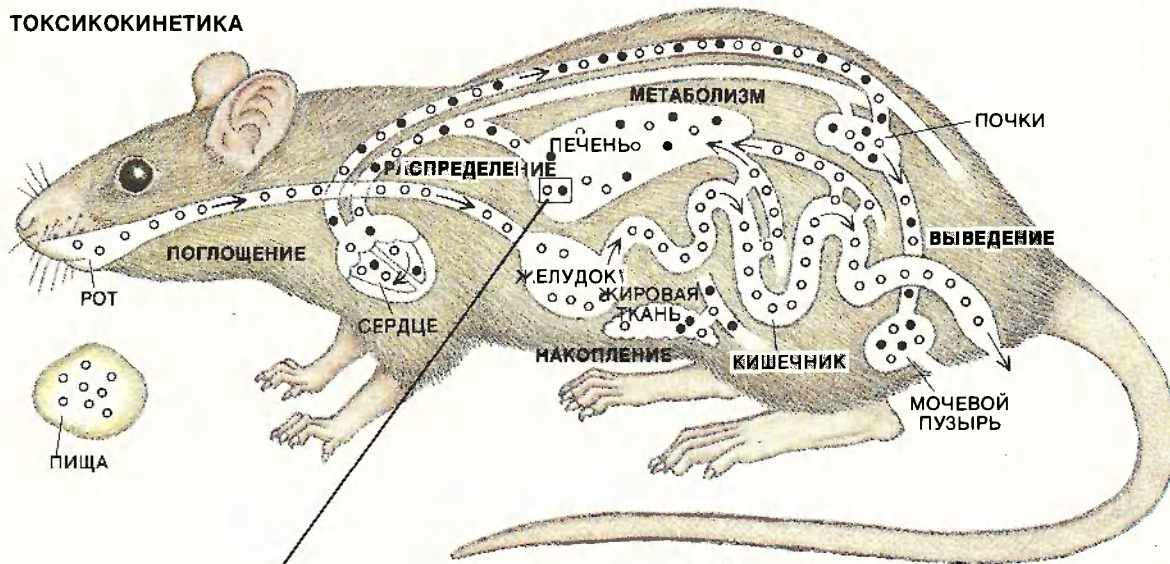
ет проблема экстраполяции результатов, полученных с клеточными культурами, на целый организм, все же остаются значительные проблемы в прогнозировании тератогенности для человека.

В некоторых случаях математические и компьютерные модели могут дополнить информацию, полученную в испытаниях *in vitro*. Уже созданы математические фармакокинетические модели, помогающие оценить токсикокинетiku *in vivo*, исходя из данных *in vitro*. Анализируя полученные с помощью компьютеров зависимости “структура — активность”, исследователи пытаются найти связь между особенностями молекулярной структуры испытываемого химического вещества и общим токсикологи-

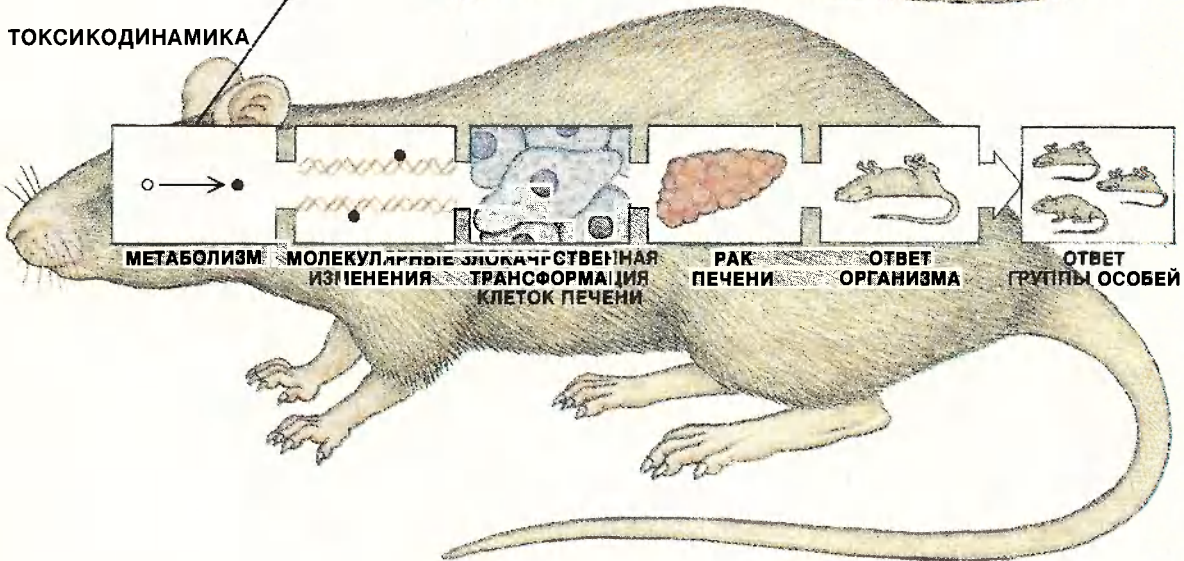
ческим ответом на него. Пока такие методы являются эмпирическими, но их можно будет усовершенствовать, когда выяснится связь между химическим строением вещества и специфическим механизмом его взаимодействия с живым организмом.

Сложность зависимости “воздействие — ответ” исключает возможность правильного прогнозирования на основе одних только теоретических принципов. Реакция организма на данное воздействие химического агента является результатом множества взаимозависимых процессов на всех уровнях биологической организации — молекулярном, клеточном, тканевом и организма в целом. Результат воздействия химического агента на организм определяется не

ТОКСИКОКИНЕТИКА

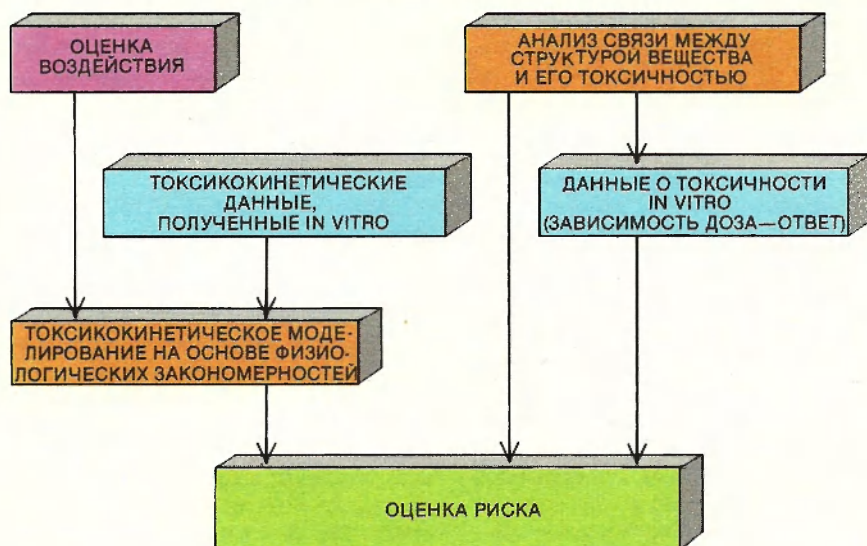


ТОКСИКОДИНАМИКА



ТОКСИКОКИНЕТИКА И ТОКСИКОДИНАМИКА описывают взаимодействие химического агента с живым организмом. На этой схеме вещество вызывает рак печени у крысы. Его поглощение, распределение, превращение в ходе метаболизма, накопление и выведение из организма определяют-

ся токсикокинетикой (вверху); влияние вещества и продуктов его превращений в организме — токсикодинамикой (внизу). Поскольку взаимодействие осуществляется на всех уровнях организации, токсикокинетiku и токсикодинамику трудно прогнозировать без экспериментов *in vivo*.



ОЦЕНКА РИСКА, связанного с химическим агентом, возможна без опытов на животных на основании данных, полученных *in vitro* (голубой цвет), и их анализа при помощи компьютера (оранжевый цвет). Реализация такого подхода — дело будущего, но некоторые методы *in vitro* могут быть внедрены в практику уже сейчас, что уменьшит число животных, используемых в испытаниях химических препаратов.

только токсикокинетикой, описывающей процессы поглощения вещества, его распределения, метаболизма, накопления и выведения из организма, но и токсикодинамикой.

Токсикодинамика касается изменений в биологической системе, развивающихся вследствие присутствия в ней химического агента (см. иллюстрацию на с. 11). На молекулярном уровне это биохимические изменения: например, ингибируется фермент, важный для нормальной клеточной функции. На высших уровнях организации это патологические изменения тканей и клинические симптомы отравления.

Когда человек подвергается воздействию химического агента, от токсикокинетических свойств этого вещества зависит, достигнет ли оно само или какой-то из продуктов его превращения чувствительной клеточной или молекулярной мишени и вызовет ли биологический ответ. Если реакционноспособная форма вещества достигает потенциальной мишени, то токсикодинамика определяет степень его неблагоприятного воздействия. Конечно выражение патологии зависит от способности организма восстанавливать вызванные токсинами нарушения на всех уровнях биологической организации.

Токсикокинетика и токсикодинамика вещества и способность биологической системы к восстановлению — все это имеет отношение к зависимости «воздействие — ответ». Совершенно очевидно, почему представляется сомнительным судить о токсич-

ности химического агента для человека по его воздействию не на целый организм, а на «меньшие» системы. Современная токсикология в прогнозировании основывается не только на результатах экспериментов с животными и на теории, но также на всем накопленным за многие годы практики объеме сведений, связующих результаты испытаний *in vivo* с эпидемиологическими данными и даже в некоторых случаях с отдельными свидетельствами о фактах отравления людей.

ПРИВЕДЕННОЕ выше обсуждение токсикокинетических и токсикодинамических взаимодействий подчеркивает наиболее очевидное и важное преимущество испытания на животных; оно дает единую биологическую систему, имитирующую своей сложностью организм человека. В испытаниях *in vivo* есть и другие преимущества. Они позволяют оценивать результаты воздействия различными путями (через пищеварительный тракт, при дыхании или контакте с кожей) и на протяжении длительного времени (испытания хронической токсичности ведутся в течение года или дольше). Кроме того, исследования на целых животных дают возможность судить об обратимости отдельных токсических эффектов, что служит важным параметром в оценке и предупреждении риска.

Как может испытание *in vitro* дать такую же информацию? Нужно ли проводить отдельное испытание *in vitro* для каждого типа клеток, потен-

циально подверженного воздействию данного химического агента. Возможно ли методами *in vitro* оценить токсикологические ответы, в которых играют роль, скажем, иммунологические процессы или кровяное давление? Как быть с хронической токсичностью и восстановлением после острого отравления? Как смоделировать воздействие через пищеварительный тракт, дыхательные пути или контакт с кожей? Эти проблемы должны быть решены, коль скоро методы *in vitro* должны полностью заменить испытания *in vivo*.

Еще один возможный камень преткновения появляется в связи с использованием культур человеческих клеток. Поскольку при этом нет нужды в экстраполяции на человека результатов, полученных в экспериментах с животными, методы *in vitro*, предполагающие анализ культивируемых клеток человека, считаются наиболее подходящими для испытаний химических агентов на токсичность для людей. Однако здесь есть ряд препятствий. В настоящее время не все типы человеческих клеток удается культивировать; клетки некоторых типов *in vitro* претерпевают дедифференцировку, т. е. приобретают свойства примитивных, неспециализированных клеток, утрачивая свойства специальные, делающие их клетками определенного типа — мышц, селезенки, толстой кишки и т. д. Кроме того, получение нормальных клеток человека, пригодных для токсикологических испытаний, в какой-то степени ограничено. И если стремиться к широкому использованию человеческих клеток в текущей практике испытаний на токсичность, нужно каким-то образом добиться их доступности для исследовательских целей. Весомость этих препятствий следует рассматривать в сравнении с упомянутыми выше неблагоприятными факторами, присущими испытаниям на животных: страдания и гибель животных, погрешности межвидовой экстраполяции, длительность и высокая стоимость экспериментов. Испытания *in vitro* могли бы снять не только все эти проблемы, но и ряд других. Так, в противоположность испытаниям *in vivo* методы *in vitro* легко поддаются стандартизации. Дозу химического агента, получаемую каждой культивируемой клеткой, можно измерять и контролировать с довольно высокой точностью, что облегчает установление критической концентрации токсинов. Благодаря тому что методы *in vitro* позволяют вести исследования с гораздо меньшими количествами веществ, новые соединения, которые нередко доступны лишь в ограниченном количестве, тем не менее могут быть испытаны, и, если вещество оказалось

токсичным, проблемы, связанные с необходимостью его удаления или ликвидации, сводятся к минимуму.

КОГДА появляется новая технология, всегда требуется какое-то время, чтобы преодолеть проблемы, связанные с ее внедрением в практику, тем более если она должна заменить существующую технологию, имеющую 50—60-летний "послужной список" и накопившийся за это время внушительный объем эмпирических данных. Прежде чем какой-либо новый метод *in vitro* станет обычным, общепринятым источником токсикологических данных, он должен быть утвержден. Это значит, что необходимо продемонстрировать его надежность (т. е. метод должен давать совпадающие результаты в различных лабораториях и в одной и той же лаборатории в разное время) и информативность (т. е. результаты, полученные этим методом, должны содержать информацию, нужную для оценки безопасности химических веществ). Для ускорения внедрения следует накапливать банк данных об испытаниях *in vitro*, чтобы можно было делать более точные прогнозы.

Вопреки широко распространенному неправильному пониманию роли испытаний *in vitro*, они ценны не только потому, что могут заменить существующие методы *in vivo*. Их уже сейчас можно применять для оценки безопасности веществ. Например, имеет смысл включить испытания *in vitro* в ранние стадии оценки риска, а также использовать для идентификации соединений с низкой вероятной токсичностью, благодаря чему животных можно будет подвергать действию уже относительно малотоксичных химических агентов. Такой подход уменьшил бы число подопытных животных, снизил бы затраты времени и средств на проведение исследования, а также исключил бы напрасный труд — разработку препаратов, о которых заранее станет ясно, что они слишком токсичны. Обнадеживает тот факт, что в ряде корпораций этот подход уже включен в программы испытаний химических препаратов на токсичность.

В любом случае ни к чему настаивать на полной замене существующих методов *in vivo* испытаниями *in vitro*; это только отсрочит внедрение последних на неопределенное время. Проверка токсичности *in vitro* не заменит эксперимента на животных в единичном испытании. Пока что нет правил экспертной оценки новых методологий *in vitro* для проверки безопасности химических препаратов. Однако испытания *in vitro* все более вхо-

дят в жизнь и со временем они будут играть главную роль в оценке безопасности. Мы надеемся, что эта цель будет достигнута при поддержке и по-

ощрении промышленности, законодательных органов, научной общности и защитников животных.

Наука и общество

Обескровить!

НЕДАВНО К. Уайту и его коллегам в Центре здравоохранения Колорадского университета в Денвере удалось добиться успеха в лечении маленького мальчика с редкой опасной патологией — избыточным ростом капилляров в легких. Оказалось, что это состояние поддается коррекции интерфероном, который (помимо того, что участвует в регуляции иммунной системы) подавляет ангиогенез (рост кровеносных сосудов). Таким образом впервые в терапевтических целях было использовано угнетение ангиогенеза.

Новый подход может найти широкое применение. Скажем, злокачественная опухоль нуждается в интенсивном кровоснабжении, чтобы расти, так как размножающимся клеткам требуется больше кислорода и они производят больше отходов, чем клетки обычных тканей. Дж. Фолкман из Медицинской школы Гарвардского университета, известный своими работами по ангиогенезу, отмечает, что многие различные раковые опухоли достигают заметных размеров только после того, как развивается система их кровоснабжения. Недавно в журнале «Nature» опубликовано описание экспериментов Фолкмэна, из которых можно сделать вывод, что появление способности стимулировать ангиогенез является критической стадией в развитии злокачественных новообразований. В других исследованиях накапливаются данные о веществах, подавляющих этот процесс.

Фолкмэн вместе с Д. Ханааном из Колд-Спринг-Харборской лаборатории и другими исследователями изучал развитие рака, используя новый модельный объект — животных, у которых путем генетической инженерии создана предрасположенность к определенному виду рака. В данном случае опыты проводились на мышах, у которых в клетках поджелудочной железы, производящих инсулин, экспрессируется ген, обуславливающий развитие рака, вследствие чего эти клетки часто претерпевают

злокачественную трансформацию.

В поджелудочной железе у таких мышей помимо опухоли имеются островки клеток в «предраковом» состоянии, характеризующиеся гиперплазией. Клетки в этих островках делятся быстрее нормальных, но их рост еще не полностью вышел из-под контроля. Исследователям удалось выделить и культивировать гиперпластические островки, а также опухоли и выращивать их в геле вместе с эндотелиальными клетками. При этом опухоли неизменно побуждали близлежащие эндотелиальные клетки формировать структуры, подобные капиллярам. (Вероятно, опухоль выделяет вещества, способствующие росту кровеносных сосудов.) Оказалось, что некоторые гиперпластические островки тоже обладают свойством вызывать ангиогенез. Число гиперпластических островков, способных индуцировать образование капиллярноподобных структур, через 7 недель культивирования резко возросло. Существенно, что параллельно возрастало и число опухолей, способных к стимуляции ангиогенеза. Из этого следует, что стимуляция кровоснабжения — возможно, в результате генетического изменения — не просто важна для роста опухоли, но является одним из ключевых событий злокачественного перерождения ткани.

Если Фолкмэн прав, подавление ангиогенеза может стать эффективным способом борьбы с развитием опухолей на ранних стадиях, а также с другими патологическими явлениями, включающими образование кровеносных сосудов, в том числе с неоваскулярной глаукомой и ревматоидным артритом. Фолкмэн недавно сообщил в журнале «Science» о том, что некоторые сложные синтетические углеводороды могут в 100—1000 раз усиливать активность стероидов, подавляющую формирование кровеносных сосудов. Он отмечает, что глазные капли, в состав которых входят вещества, подавляющие ангиогенез, препятствуют росту кровеносных сосудов в роговице, который бывает причиной слепоты.

Грандиозная Сверхновая 1987 года

23 февраля 1987 г. астрономы увидели крупным планом катастрофическую гибель массивной звезды. Всесторонние наблюдения этого события позволили проверить существующую теорию и преподнесли новые загадки

СТЕН ВУСЛИ, ТОМ УИВЕР

КОЛЛАПС и взрыв массивной звезды — одно из величайших явлений природы. Ничто не может сравниться с ним по абсолютной мощности. В течение первых 10 с, когда ядро звезды сжимается, становясь нейтронной звездой, ее центральная область поперечником около 32 км излучает столько энергии, сколько все остальные звезды и галактики в наблюдаемой Вселенной, вместе взятые. Другое сравнение: энергия 10-секундной вспышки в 100 раз больше, чем излучает Солнце за все 10 млрд. лет своей жизни. Такое явление поражает даже привыкших к огромным величинам астрономов.

Но сверхновые — это больше чем далекие небесные зрелища: они создают и рассеивают «семена жизни». Только самые простые и легкие элементы, водород и гелий, образовались в первоначальном огненном шаре Большого взрыва. Основная часть более тяжелых элементов, включая углерод — основу жизненно важных химических процессов, железо в нашей крови и кислород, которым мы дышим, образовались в сверхновых задолго до формирования Солнечной системы.

Как бы ни было велико значение сверхновых, только немногие из них могли наблюдаться вблизи нас. Последняя сверхновая в нашей Галактике вспыхнула в 1604 г., незадолго до изобретения телескопа. Иоганн Кеплер, наблюдая ее, смог зарегистрировать только яркость и продолжительность свечения. Поэтому объяснение многих особенностей сверхновых оставалось в основном теоретическим. С помощью телескопов каждый год удается открыть около десяти таких событий в далеких галактиках, и тщательное исследование некоторых из них послужило для проверки ряда общих аспектов теории. Но ни одна из этих сверхновых не была так близка, чтобы современный арсенал наземных и космических инструментов

смог создать подробную хронику этого явления.

Все изменилось в ночь на 23 февраля 1987 г., когда вспышка света и поток неуловимых частиц, называемых нейтрино, от самой яркой за последние 383 года сверхновой достиг Земли. Свет от взрыва прошел путь в 16 тыс. св. лет из спутника нашей Галактики — Большого Магелланова Облака и был виден только в Южном полушарии. Надо отдать должное той настойчивости, с которой наблюдатели — любители и профессионалы — следят за Южным небом: сверхновая была сфотографирована в течение часа после прихода света на Землю. Однако наблюдатель Р. Макнаут из Сайдинг-Спринг (Австралия) даже не представлял себе в тот момент, что именно ему удалось запечатлеть.

Примерно через 20 ч после первого снимка Макнаута Большое Магелланово Облако сфотографировал И. Шелтон из Обсерватории Лас-Кампанас (Чили). Сравнивая фотографии, полученные этой и предыдущей ночью, он обнаружил новое звездное изображение на последней пластинке. Изображение было очень ярким — таким ярким, что его можно было увидеть невооруженным глазом. Шелтон вышел из помещения и посмотрел вверх. Сверхновая 1987А (А обозначает первую сверхновую, открытую в 1987 г., независимо от того, яркая она или слабая) была открыта.

Через день любой обладатель какого-либо астрономического инструмента в Южном полушарии мог восхищаться этим явлением. В следующие месяцы на Сверхновую (СН 1987А) было наведено множество инструментов, включая телескопы и датчики на борту воздушных шаров, ракет, спутников и самолета, а также наземные телескопы всех видов. Сейчас, более двух лет спустя, Сверхновая исследована на всех длинах волн электромагнитного спектра; она оказалась первым, исключая

Солнце, астрономическим источником нейтрино. Наблюдения дают согласованную картину этого значительного события, картину, которая подтверждает теорию, но в то же время содержит ряд неожиданностей.

ХАРАКТЕРИСТИКИ сверхновой обусловлены звездой-предшественницей. В широком смысле СН 1987А — сверхновая II типа, энергия ее взрыва вызвана гравитационным коллапсом ядра звезды; такие катастрофы происходят только с массивными звездами. (Сверхновые I типа, к которым относится событие 1604 г., по-видимому, представляют собой термоядерные взрывы звезд — белых карликов, которые приобретают массу выше критической.) Чтобы понять значение события, которое наблюдалось как взрыв СН 1987А, лучше всего начать с истории взорвавшейся звезды. Последующее изложение основано на компьютерном моделировании эволюции гипотетической массивной звезды, которое мы и другие ученые (включая К. Номото и его коллег из Токийского университета и Д. Арнетта из Аризонского университета) разрабатывали в течение последних 25 лет, пытаясь понять природу сверхновых II типа. После вспышки Сверхновой мы повторно просчитали нашу модель, приняв во внимание особые свойства звезды, известной до 23 февраля 1987 г. как Сандулик — 69°202 (по имени астронома Н. Сандулика, который занес ее в каталог около 20 лет назад).

Эта история начинается примерно 11 млн. лет назад в богатой газом области Большого Магелланова Облака, известной как Туманность Тарантул, или 30 Золотой Рыбы, где родилась звезда с массой, приблизительно в 18 раз больше солнечной. В течение 10 млн. лет эта звезда, как и многие другие, вырабатывала энергию в ходе реакции превращения водорода в гелий. Из-за большой массы в ядре звезд

ды должны были поддерживаться высокие температура и плотность, чтобы избежать коллапса; в результате звезда была почти в 40 тыс. раз ярче Солнца и очень расточительно расходовала свое ядерное горючее.

Когда во внутренней области, составляющей 30% массы звезды, закончилось превращение водорода в гелий, центральные слои стали постепенно сжиматься. Ядро сжималось в течение десятков тысяч лет от плотности 6 г/см^3 до 1100 г/см^3 ; при этом оно нагрелось от 40 до 190 млн. кельвинов (К). Повышение температуры и давления в ядре привело к загоранию нового, более тяжелого ядерного горючего — гелия. В то же время внешние оболочки звезды (состоящие в основном из несгоревшего водорода) отреагировали на дополнительное излучение от горячего ядра расширением до радиуса около 300 млн. километров — примерно в два раза больше расстояния от Земли до Солнца. Звезда стала красным сверхгигантом.

Запас гелия в ядре был исчерпан менее чем за миллион лет, он превратился в углерод и кислород. В течение нескольких тысяч лет, которые осталось жить звезде, сценарий, состоящий из сжатия ядра, его разогрева и

зажигания нового, более тяжелого ядерного топлива (образовавшегося в результате предыдущего цикла) повторялся несколько раз. Следующим выгорел углерод при температуре ядра 740 млн. К и плотности 240 тыс. г/см^3 , в результате образовалась смесь неона, магния и натрия. Затем подошла очередь неона — при 1,6 млрд. К и $7,4 \text{ млн. г/см}^3$, за ним последовал кислород (2,1 млрд. К, 16 млн. г/см^3) и в конце — кремний и сера (3,4 млрд. К, 50 млн. г/см^3). Загорание более тяжелого топлива происходило в самом центре звезды, поэтому другие элементы продолжали гореть в менее плотных окружающих областях. Недра такой звезды можно сравнить с космической луковицей, в которой элементы расположены слоями, в порядке возрастания атомного веса в направлении к центру звезды.

Ядро звезды прошло через последовательные стадии горения со все увеличивающейся скоростью. Горение гелия продолжалось около 1 млн. лет, углерода — 12 тыс. лет, неона — 12 лет, кислорода — 4 года и, наконец, кремния — всего неделю. При горении каждого вида ядерного горючего после водорода выделялась примерно одинаковая полная энергия, но при

температуре ядра выше 500 млн. К, начиная с горения углерода, звезда нашла новый, гораздо более эффективный способ потратить свой энергетический запас. Высокоэнергетичные гамма-фотоны, которые при таких температурах имелись в большом количестве, при сближении с атомными ядрами превращались в пары частиц — электрона и позитрона (соответствующая электрону античастица). Эти частицы сразу же аннигилировали, обычно испуская снова гамма-излучение, однако иногда образовывались нейтрино.

Нейтрино почти не взаимодействуют с веществом. Им намного легче выйти из звезды, чем первоначальному гамма-лучам, и они уносят с собой энергию. Даже во время горения углерода потери энергии с нейтрино превосходили энергию излучения. При повышении температуры ядра на поздних стадиях эволюции нейтринная светимость росла экспоненциально, что сопровождалось огромным расходом энергии, приближающим конец существования звезды.

ЭТА ПОЗДНЯЯ стадия эволюции ядра проходила слишком быстро, чтобы как-то повлиять на протя-



СТАРАЯ ЗВЕЗДА И ОСЛЕПИТЕЛЬНАЯ ВСПЫШКА, ознаменовавшая ее гибель, видны на фотографиях одной и той же области в Большом Магеллановом Облаке, полученных с промежутком в несколько месяцев. Звезда-предшественница (вставка вверху справа), голубой сверхгигант, названный Сандулик — $69^\circ 202$, была почти в 80 тыс. раз ярче

Солнца; Сверхновая достигла светимости в 200 млн. солнечных. Но видимый свет составлял только небольшую часть общей мощности Сверхновой 1987А: в 30 тыс. раз больше энергии унес поток неуловимых частиц, называемых нейтрино. Фотографии предоставлены Д. Малином из Англо-Австралийской обсерватории.

женную водородную оболочку звезды. Однако оказалось, что оболочка тоже эволюционировала с тех пор, как звезда стала красным сверхгигантом. Когда исследователи впервые отождествили звезду, погибшую при взрыве, они удивились, обнаружив, что эта звезда была не красным сверхгигантом, как предсказывалось в большинстве моделей звездной эволюции для сверхновых II типа, а голубым сверхгигантом — меньшей по размерам, более горячей звездой (см. статью: Дж. Уиллер, Р. Харкнесс. Гелиевые сверхновые, «В мире науки», 1988, № 1).

Не только ядро, но и оболочка звезды, по-видимому, начала сжиматься за 40 тыс. лет до взрыва, после истощения запасов гелия, дававшего энергию на стадии красного сверхгиганта. Теоретики все еще обсуждают причины этого явления, но, вероятно, наиболее важным фактором был особый состав газа в Большом Магеллановом Облаке, из которого образовались звезды: по сравнению с нашей Галактикой он содержит гораздо меньше элементов тяжелее гелия. Среди этих элементов кислород играет особую роль в эволюции звезды. Меньшее содержание кислорода делает оболочку звезды более прозрачной для излучения и, следовательно, способствует ее сжатию. Кислород является также катализатором термоядерных реакций горения водорода. Компьютерные модели позволяют предположить, что низкое исходное содержание кислорода может несколько изменить начальную эволюцию массивной звезды так, что она станет голубым, а не красным сверхгигантом.

Малый радиус звезды-предшественницы должен был дать значительный эффект позднее, когда звезда взорвется, — он не имел отношения к драме, разыгравшейся в ядре. После продолжавшегося неделю интенсивного горения кремния и серы ядро звезды состояло из железа и других элементов группы железа: никеля, хрома, титана, ванадия, кобальта и марганца. Огромные потери энергии при излучении нейтрино не уменьшались из-за высокой температуры ядра, но, став железным, ядро больше не обладало запасом ядерной валюты для оплаты энергетических долгов. Железо находится в нижней части кривой энергии связи: чтобы синтезировать из него более тяжелые элементы или расщепить его на более легкие, необходимо затратить энергию. Горение больше не могло продолжаться, а температура и давление не могли больше поддерживать равновесие ядра. Гравитация выиграла соревнование, продолжавшееся 11 млн. лет, и ядро начало сжиматься.

При сжатии ядро нагревалось, но этого было недостаточно для остановки коллапса. Коллапс даже ускорился за счет двух эффектов, рассмотренных в начале 60-х годов в пионерной теоретической работе о сверхновых У. Фаулером из Калифорнийского технологического института и Ф. Хойлом, работавшим тогда в Кембриджском университете. В процессе фотодисинтеграции высокоэнергичные фотоны разбивают ядро железа на легкие компоненты, в основном гелий — это эффект, обратный реакции синтеза, протекавшей в звезде ранее. Второй процесс, захват электронов, заключается в поглощении ядрами свободных электронов; там они соединяются с протонами, образуя богатые нейтронами изотопы. В обоих процессах поглощается энергия, что лишает ядро его последней поддержки; при захвате электронов также уменьшается число свободных электронов, которые являются основным источником поддержания давления.

За долю секунды железное ядро с массой 1,4 солнечной и радиусом в половину Земли сжалось в шар ядерного вещества с радиусом около 100 км. Когда плотность в центре зарождающейся нейтронной звезды превысила плотность атомных ядер — 270 триллионов грамм на кубический сантиметр — внутренняя часть ядра, составляющая 40% его вещества, резко остановилась как одно целое и начала обратное движение. Внешняя часть ядра, все еще падающая со скоростью, близкой к четверти скорости света, столкнулась с «отскакивающим» внутренним ядром и в свою очередь «отскочила». Так родилась ударная волна. Через одну сотую секунды она устремилась сквозь падающее вещество к краю ядра (см. статью: Г. Бете, Г. Браун. Как взрываются сверхновые, «В мире науки», 1985, № 7).

ИССЛЕДОВАТЕЛИ, моделирующие сверхновые, в течение многих лет считали, что такая ударная волна пройдет наружу через внешние оболочки звезды, нагревая их и заставляя расширяться. Однако последние расчеты для звезд, сходных по размерам с Sk — 69°202, проведенные несколькими теоретиками (включая С. Бладмена и Э. Майра из Пенсильванского университета, С. Брюенна из Флоридского атлантического университета, Э. Барона из Университета шт. Нью-Йорк в Стоуни-Брук, Р. Мэйла и Дж. Вильсона из Лоуренсовской национальной лаборатории в Ливермор), показали, что в SN 1987A ударная волна сама по себе не могла выйти из ядра.

Сначала ударная волна несла

огромную энергию — почти в 10 раз больше, чем было в конце концов общено взрывающимся внутренним слоям звезды, но ее большая часть была потеряна при столкновении с падающим веществом. Фотодисинтеграция и излучение нейтрино охладили вещество, нагретое ударной волной, истощив движущую силу волны. Когда ударная волна подошла к краю ядра, вещество за ее фронтом не имело скорости, направленной наружу. Ударная волна остановилась и превратилась в аккреционную ударную волну, через которую вещество постоянно протекало внутрь. Если бы такое катастрофическое состояние сохранилось, то ядро поглотило бы всю звезду. Результатом была бы черная дыра, а не сверхновая.

Излучение нейтрино сыграло определенную роль в замедлении ударной волны, и оно же могло помочь «оживить» ее. Ядро, сжавшись до радиуса около 100 км, достигло ядерной плотности только в центре. Оно стало бы настоящей нейтронной звездой, если бы сжалось до размеров примерно 10 км. Однако протонейтронная звезда была очень горячей (Вильсон и другие авторы моделей предсказывают температуру около 100 млрд. К) за счет высвобождаемой при коллапсе гравитационной энергии. Чтобы сжиматься дальше, нейтронная звезда должна была остыть.

Она сделала это с помощью потери нейтрино. Нейтрино, как и прежде, образовывались при аннигиляции электрон-позитронных пар, рожденных гамма-лучами высокой энергии, которые пронизывают вещество при такой высокой температуре. На этот раз, однако, нейтрино не могли немедленно покинуть вещество: плотность коллапсирующего ядра была такой высокой, что в нем задерживались даже нейтрино. Они постепенно диффундировали из ядра — за время порядка нескольких секунд, а не миллисекунд, — и замедляли сжатие звезды.

Несмотря на это, мощность излучения сжимающейся нейтронной звезды была огромной, превышающей мощность всей остальной наблюдаемой Вселенной. Полная энергия 10-секундной нейтронной вспышки была в 200 или 300 раз больше энергии, сообщенной взрывом веществу Сверхновой и в 30 тыс. раз больше энергии ее светового излучения. В настоящее время широко распространено мнение (однако оно не является всеобщим), что небольшая часть энергии нейтрино была использована для «оживления» остановившейся ударной волны и для взрыва. Опираясь на основные идеи, выдвинутые в середине 60-х годов С. Колгейтом, теперь работающим в Лос-Аламосской национальной лабор-

ратории, Мэйл и Вильсон недавно провели ряд расчетов, показавших возможность этого эффекта. Всего несколько процентов нейтрино, взаимодействуя с веществом непосредственно за фронтом остановившейся ударной волны, в течение секунды сообщают ему энергию, достаточную для ускорения ударной волны в направлении наружу.

Нагревая и расширяя звезду, вызывая новый шквал ядерных реакций в ее внутренних слоях, возрожденная ударная волна обуславливает оптическое проявление Сверхновой. Эффект задерживается примерно на два часа: ударная волна движется в 50 раз медленнее света и должна пройти через всю звезду, чтобы началось свечение. Нейтрино от коллапсирующего ядра легко обгоняют ударную волну. Пройдя через оставшуюся часть звезды почти со скоростью света, они были первым сигналом, покинувшим Сверхновую.

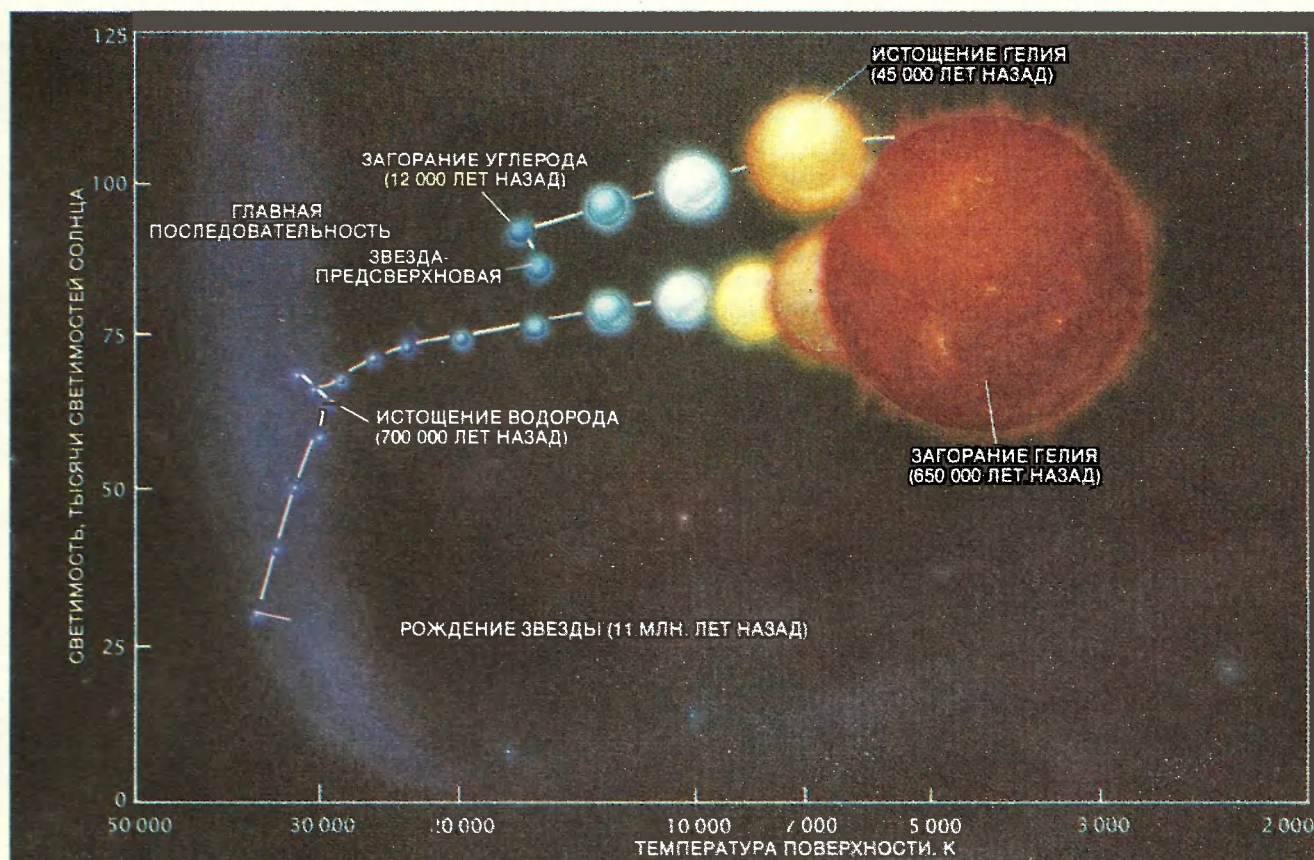
Примерно через 160 тыс. лет, за не-

сколько часов до прихода светового фронта, нейтрино промчались сквозь Землю и были обнаружены. Исследователи, ведущие поиск редких внутриатомных событий, таких как распад протонов, построили детекторы глубоко под землей в шахтах и под горами, где они защищены от помех со стороны космических лучей. Обычно детектор представляет собой бак с водой, размером с плавательный бассейн, окруженный фотодетекторами для регистрации слабых вспышек света, сигнализирующих о распаде одного из примерно 10^{32} протонов в воде. К настоящему времени распад протонов пока не обнаружен, но детекторы чувствительны также к другим редким событиям — захватам нейтрино протонами.

23 февраля в 7 ч 36 мин Всемирного времени детектор Камиоканде II в свинцовом руднике Камиока (Япония) и детектор IMB (по первым буквам названий сотрудничающих институтов: Калифорнийского универ-

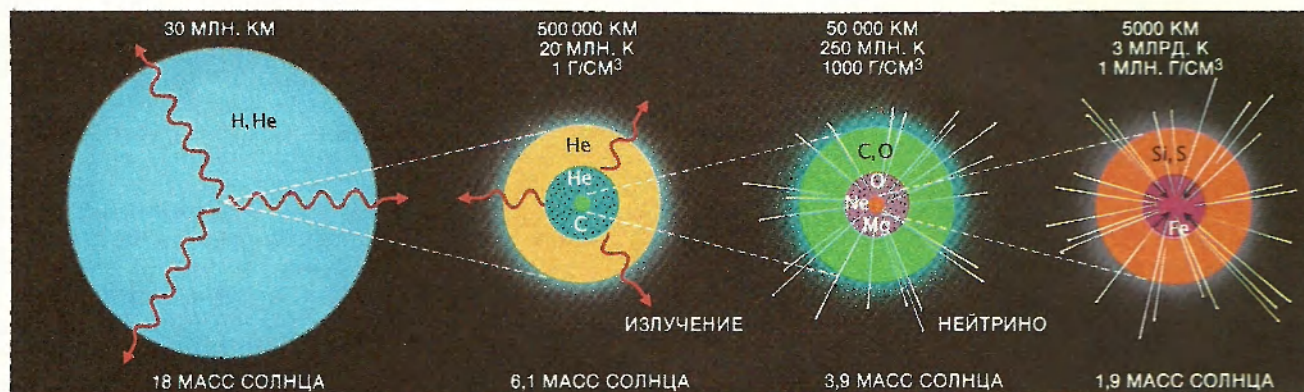
ситета в Ирвине, Мичиганского университета в Анн-Арборе и Брукхейвенской национальной лаборатории) в соляной шахте Мортон-Тиокол около Кливленда (шт. Огайо) одновременно зарегистрировали серии событий, которые позднее были интерпретированы как захват нейтрино. В это же время аномальные события зарегистрировал детектор другой конструкции на Баксанской обсерватории в СССР. Приближаясь с южного неба, волна нейтрино от Сверхновой промчалась сквозь Землю (для этих слабо взаимодействующих частиц Земля более прозрачна, чем тонкий кусок чистого стекла для света). Выйдя в Северном полушарии, они остались в детекторах едва обнаружимые признаки своего прихода.

Теоретическое значение регистрации нейтрино весьма велико. Детекторы Камиоканде и IMB наиболее чувствительны к одному из компонентов вспышки — электронным антинейтрино. Такие же доли энергии



ИСТОРИЯ звезды-предшественницы началась около 11 млн. лет назад на «главной последовательности» — области на графике светимость — поверхностная температура, которую занимает большинство звезд, сжигающих водород. Примерно через 10 млн. лет водород в ядре звезды сгорел и превратился в гелий, ядро сжалось и стало горячее. В ответ оболочка звезды расширилась и охладилась, и звезда сдвинулась вправо, сойдя с главной последовательности. Когда ядро стало достаточно горячим и плотным, чтобы загорелся гелий, звезда раздулась и стала

красным сверхгигантом, с холодной оболочкой в несколько раз больше размера орбиты Земли. После того как запасы гелия были исчерпаны, оболочка сжалась и снова нагрелась, звезда стала голубым сверхгигантом. В таком виде она последовательно сжигала все более тяжелые элементы. В конце концов образовалось железное ядро, коллапс которого вызвал вспышку Сверхновой. Сценарий основан на расчетах авторов данной статьи для звезды массой в 18 масс Солнца и начальным составом, типичным для Большого Магелланова Облака.



КОСМИЧЕСКАЯ ЛУКОВИЦА — структура предсверхновой в последние моменты жизни — состоит из концентрических оболочек, в которых протекают реакции ядерного синтеза с участием все более тяжелых элементов. На рисунке приведены радиусы каждой оболочки, заключенная внутри ее масса, температура и плотность на ее поверхности; черными точками показаны области, в которых происходит конвекция. Если центральную часть огромной, разреженной оболочки, содержащей водород и гелий (а), увеличить в 600 раз (b), то можно обнаружить гелиевое ядро, которое в 4 раза больше Юпитера. Увеличение еще в 10 раз

(с) выявляет остатки горения гелия — ядро из углерода и кислорода. Углерод сгорает, образуя неон и магний, которые вместе с кислородом превращаются в кремний и серу (d). На последнем этапе горения кремний и сера превращаются в железо массой в 1,4 солнечной в самом центре звезды. Железо — последний элемент, образующийся в цепочке реакций синтеза: не имея больше возможности вырабатывать энергию и поддерживать давление, железное ядро размером с Марс начинает сжиматься. В центре звезды плотность достигает 10 млрд. граммов на кубический сантиметр и температура составляет 10 млрд. кельвинов.

вспышки несут пять остальных типов нейтрино: электронные нейтрино, мю- и тау-нейтрино и две их античастицы. Из числа и энергии обнаруженных нейтрино с помощью экстраполяции была вычислена полная энергия нейтрино, высвободившаяся при вспышке SN 1987A, а именно: $3 \cdot 10^{53}$ эрг. Это как раз равно теоретической энергии связи нейтронной звезды с массой 1,4 солнечной, т. е. количеству гравитационной энергии, которая должна выделиться при ее образовании.

Таким образом, мимолетная регистрация нейтринного импульса показывает, что, как и предсказывала теория, при вспышке сверхновой II типа образовалась нейтронная звезда. Говоря точнее, это признак того, что компьютерное моделирование образования и коллапса массивных звезд проводится в правильном направлении: оно точно предсказало массу сжимающегося ядра. Средняя энергия обнаруженных нейтрино подтверждает теоретические предсказания о температуре коллапсирующей протонейтронной звезды. Кроме того, вспышка продолжалась несколько секунд; это подтверждает, что нейтрино действительно выходили из плотного вещества сколлапсировавшего ядра.

Еще большее значение имел тот факт, что после путешествия продолжительностью в 160 тыс. лет нейтрино прибыли «тесной группой», на несколько часов опередив световую вспышку. Существует представление, что Вселенная содержит гораздо больше вещества, чем мы наблюда-

ем. Нейтрино были предложены как носители этой «скрытой» массы. То, что скорость нейтрино оказалась так близка к скорости света, накладывает строгие ограничения на их массу: нейтрино со значительной массой, двигаясь с такой скоростью, имели бы гораздо большую энергию, чем обнаруженные частицы. Более того, нейтрино с различными энергиями дошли до нас с интервалом в несколько секунд, а если бы они обладали значительной массой, то времена прибытия частиц расположились бы в порядке уменьшения их энергии.

Независимые анализы времен прихода частиц, проведенные Дж. Бокалом из Института высших исследований в Принстоне (шт. Нью-Джерси), А. Бэрроузом из Аризонского университета, Т. Лоредо и Д. Лэмбом из Чикагского университета, дали строгий верхний предел на массу электронных антинейтрино: около 20 электронвольт (0,00004 массы электрона). Если массы мю- и тау-нейтрино ограничены сходными по порядку величинами, нейтрино можно с уверенностью исключить из числа претендентов на роль носителя скрытой массы.

НЕЙТРИННАЯ вспышка пролила свет на коллапс ядра, однако она почти ничего не могла сообщить о том, как ударная волна, рожденная при коллапсе, вышла из ядра. «Оживление» ударной волны энергией нейтрино остается в области теории. Однако ясно, что 23 февраля 1987 г. (минус 160 тыс. лет) сильная ударная волна

прошла через звезду Sk — 69°202. Констатируя очевидное, звезда действительно взорвалась.

Через 2 ч после регистрации нейтрино детекторами Камиоканде и IMB (в то время об этом, конечно, никто не знал) А. Джонс, астроном-любитель из Новой Зеландии, случайно наблюдал то самое место на небе, где должна была появиться Сверхновая. Он не увидел ничего необычного. Час спустя в Австралии Макнаут экспонировал две пластинки, на которых, когда они были проявлены после сообщения Шелтона об открытии, были обнаружены первые изображения Сверхновой. В какое-то время между этими наблюдениями, возможно, именно в тот момент, когда Джонс смотрел на это место, ударная волна вырвалась на поверхность звезды, вызвав жесткую (коротковолновую) ультрафиолетовую вспышку, которая быстро сменилась видимым светом.

То, что ударной волне потребовалось только около 2 ч после коллапса ядра, чтобы достичь поверхности и возбудить оптическое свечение, помогло рассеять первоначальные сомнения в том, что действительно взорвалась голубая звезда Sk — 69°202. Быстрое начало свечения исключает возможность того, что предсверхновой был красный сверхгигант: даже высокоскоростная ударная волна не может пройти сквозь красный сверхгигант быстрее, чем за сутки.

Еще одно свидетельство о размере предсверхновой дала ультрафиолетовая вспышка, хотя наблюдались только ее последствия. Ультрафиолето-

вый свет невидим для глаза, кроме того, он поглощается земной атмосферой. Телескоп на борту спутника IUE (International Ultraviolet Explorer) мог обнаружить это самое раннее электромагнитное излучение Сверхновой, но в то время он не был нацелен в нужном направлении. Однако в течение 14 ч группа наблюдателей, возглавляемая Р. Киршнером из Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра и Дж. Соннеборном из Годдардовского центра космических полетов Национального управления по аэронавтике и космическим исследованиям (НАСА), переориентировала спутник. К этому времени первоначальная вспышка уже угасала, но Сверхновая все еще была хорошо видна в ультрафиолетовом диапазоне.

Кроме того, эти исследователи смогли через несколько месяцев снова наблюдать ультрафиолетовую вспышку косвенным путем, когда IUE обнаружил излучение газовой оболочки, окружающей Сверхновую на расстоянии около одного светового года. Этот газ, вероятно, представляет собой вещество, выброшенное звездным ветром предсверхновой на стадии красного сверхгиганта за 40 тыс. лет до взрыва. Ультрафиолетовая вспышка Сверхновой достигла этой оболочки и ионизовала ее. На основании ее вторичного излучения К. Франссон из Стокгольмского университета сделал вывод, что в начале свечения Сверхновой излучающее вещество имело температуру около полмиллиона Кельвинов. (Согласно модели, разработанной Р. Шевалье из Университета шт. Виргиния, эта оболочка, возможно, снова начнет светиться через 10 лет, когда с ней столкнется выброс Сверхновой, но на этот раз в радио- и рентгеновском диапазонах.)

Когда мощная ударная волна выходит на поверхность относительно небольшой предсверхновой, можно ожидать нагрева до очень высокой температуры и, следовательно, очень жесткого ультрафиолетового излучения. Чем меньше поверхность, по которой распределяется энергия ударной волны, тем более высокую температуру она создает и до больших скоростей ускоряется вещество на поверхности. Доплеровское смещение линий в первоначальных ультрафиолетовом и оптическом спектрах показало, что скорость выброшенного из звезды вещества составила примерно 1/10 скорости света.

Расширение охладило внешние оболочки молодой Сверхновой, и основная часть излучения быстро сдвинулась из ультрафиолетовой в видимую область спектра, которую зафиксиро-

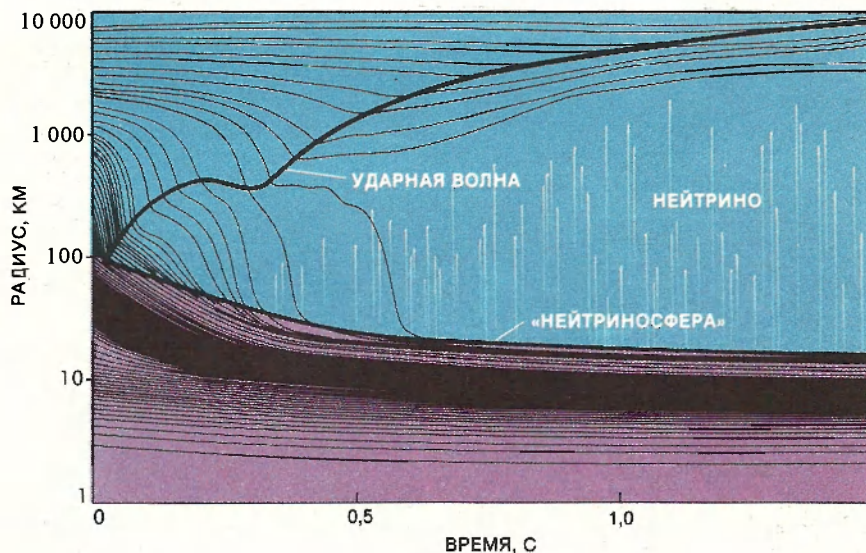
вали самые первые фотографии. Боллометрическая светимость (излучение на всех длинах волн, от инфракрасных до ультрафиолетовых) в первые часы быстро уменьшалась, но так как поток видимого излучения возрастал, Сверхновая становилась все ярче, превращаясь во впечатляющее зрелище на ночном небе.

В течение первых дней излучение из внутренних слоев Сверхновой с трудом могло выйти наружу: свободные электроны в ионизованном газе оболочки рассеивали свет, идущий изнутри. Однако, когда снаружи вещество остыло примерно до 5500 К, ядра водорода начали рекомбинировать со свободными электронами. В то время как Сверхновая продолжала расширяться и остывать, поверхность, температура которой определялась температурой рекомбинации водорода, двигалась внутрь оболочки. На этой поверхности энергия, запасенная при прохождении ударной волны, высвобождалась в основном в видимом диапазоне и свободно устремлялась в пространство. Как и предсказали около 15 лет назад Арнетт и С. Фолк из Техасского университета в Остине, в следующие недели излучение при температуре рекомбинации водорода доминировало в свечении Сверхновой.

В это же время обнаружилось еще

одно следствие малых размеров предсверхновой. Оптическое проявление вспышки было неожиданно слабым — почти в 10 раз слабее других сверхновых II типа в максимуме блеска. Чтобы остыть до температуры рекомбинации водорода, любая сверхновая должна расширяться. Ударная волна сообщает как небольшой оболочке предсверхновой 1987А, так и протяженной оболочке красного сверхгиганта, нагревая меньшую оболочку до соответственно более высокой температуры. В результате до начала интенсивного свечения СН 1987А пришлось расширяться во много раз сильнее, чем другим сверхновым II типа, и этот процесс поглотил энергию, которая в другом случае пошла бы на излучение.

ПРИМЕРНО через месяц, как было подсчитано, вся энергия, поступившая в оболочку от ударной волны, была израсходована либо на свечение, либо на ускорение выброса. Однако Сверхновая в видимом диапазоне продолжала светить все ярче. В это время, в апреле, большую часть света давал другой источник энергии — распад радиоактивных изотопов, образовавшихся при взрыве. Большинство теоретиков считали, что такие эле-



НЕЙТРИНО «ОЖИВЛЯЮТ» УДАРНУЮ ВОЛНУ, порожденную коллапсом ядра, в модели, рассчитанной для звезды примерно такого же размера, как и предсверхновая 1987А. Каждая линия на графике показывает радиус оболочки, внутри которой заключена постоянная масса. В начале отсчета времени через несколько сотых секунды после рождения ударная волна потеряла энергию и остановилась в веществе, падающем на внешнее ядро. График показывает, как сколлапсировавшее ядро (фиолетовый) — протонейтронная звезда — сжимается и излучает мощный поток нейтрино, которые покидают его поверхность («нейтриносферу») после распространения сквозь ядерное вещество. Небольшая часть энергии нейтрино, поглощенная веществом за ударной волной, нагревает и ускоряет это вещество. «Оживленная» ударная волна может разрушить звезду. Расчеты проведены Р. Мэйлом и Дж. Вильсоном из Лоуренсовской национальной лаборатории в Ливерморе.

менты синтезируются в сверхновых II типа, и теперь они с нетерпением ждали возможности увидеть, сколько их образовалось в SN 1987A и какую роль будут в дальнейшем играть эти изотопы.

Прохождение ударной волны через глубинные слои предсверхновой в первые минуты взрыва вызвало новые ядерные реакции. Особое значение имело превращение части кремниевой оболочки в элементы группы железа, главным образом в радиоактив-

ный изотоп никель-56. Спустя месяц весьма нестабильный никель-56 (его период полураспада составляет 6,1 сут.) почти полностью распался, нагревая и заставляя расширяться внутренние слои Сверхновой. Но продукт его распада, кобальт-56, также радиоактивен, а поскольку период его полураспада составляет 77,1 сут., его содержание оставалось высоким. При его распаде образуется возбужденное ядро железа-56, которое испускает гамма-лучи определенной энергии, переходя

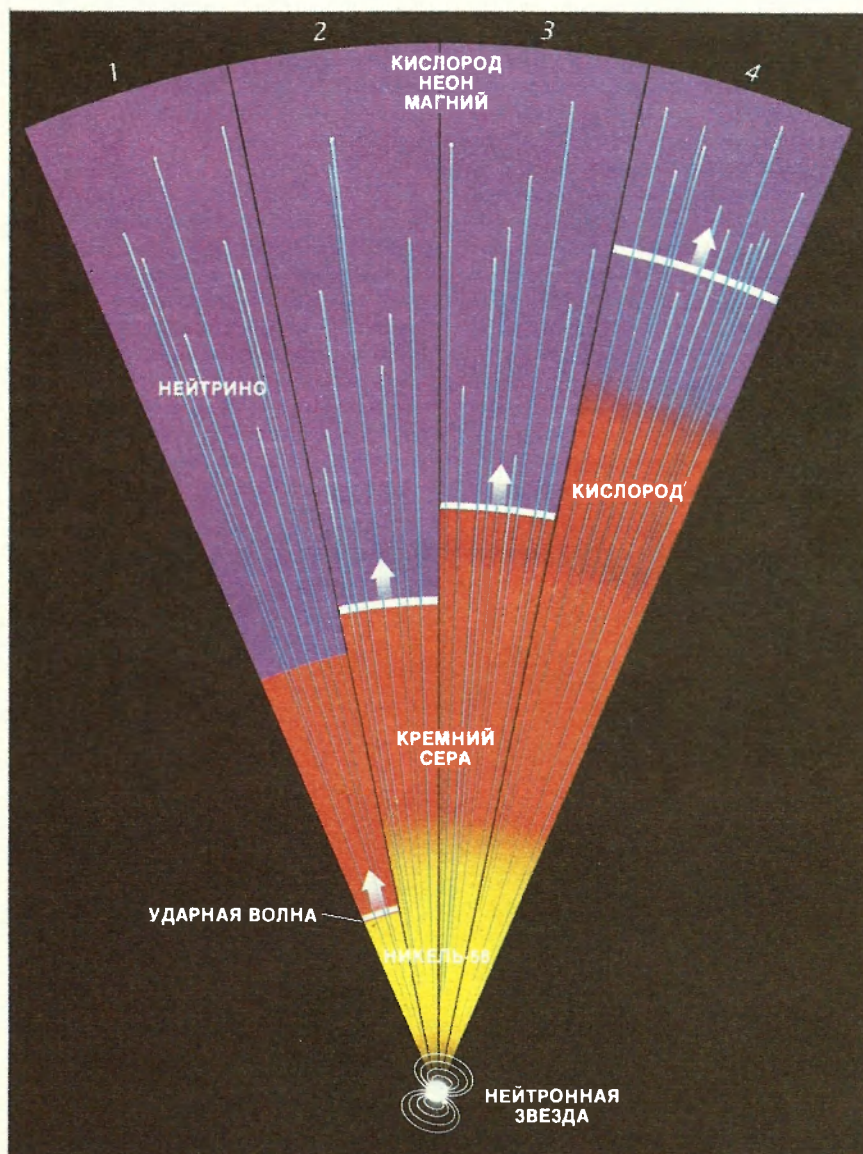
на основной энергетический уровень. Теперь эти гамма-лучи поставляли энергию для свечения Сверхновой.

Сначала сами гамма-лучи не могли выйти наружу: из-за своей высокой энергии они многократно рассеивались на электронах, превращаясь в рентгеновское излучение все более низкой энергии. Достигнув достаточно низкой энергии, рентгеновское излучение поглощалось, нагревая вещество и давая вклад в оптическое излучение. В то время как Сверхновая становилась все менее плотной, возрастающее количество энергии распада высвобождалось таким путем. Максимум яркости был достигнут 20 мая 1987 г., через 80 дней после взрыва.

К началу июня уменьшение блеска Сверхновой происходило точно с такой скоростью, которая была предсказана на основании данных о периоде полураспада кобальта-56. Зная яркость Сверхновой в данный момент и промежуток времени после взрыва, можно вычислить, сколько никеля-56 образовалось в самом начале. Ответ получился равным 0,08 массы Солнца, что не более чем в два раза отличается от предсказаний, сделанных нами и другими учеными для сверхновых II типа.

В течение нескольких недель после максимума яркости еще нельзя было непосредственно наблюдать радиоактивное вещество. Однако к августу расширяющееся вещество оболочки стало достаточно разреженным, чтобы излучение, связанное с распадом, выходило наружу почти без рассеяния. Сначала японский спутник «Гинга» и почти сразу вслед за ним советская космическая станция «Мир» обнаружили рентгеновские лучи. Излучение было открыто именно в том диапазоне энергии, в котором появляются гамма-лучи, образующихся при распаде кобальта-56 и многократно рассеянных в оболочке, было предсказано Ф. Пинтом из Калифорнийского университета в Санта-Круссе, Р.А. Сюняевым и С.А. Гребеневым из Института космических исследований АН СССР, а также другими исследователями. Когда стало наблюдаться рентгеновское излучение, сами гамма-лучи не могли долго оставаться незамеченными, и в декабре они были открыты с помощью приборов на борту спутника Solar Maximum Mission. Открытие было вскоре подтверждено данными, полученными детекторами на воздушных шарах, совершивших полеты в Австралии и Антарктиде.

Почти 20 лет назад Д. Клейтон и его сотрудники из Университета Райса предсказали, что гамма-лучи с энергией, соответствующей наблюда-



ВЗРЫВНОЙ НУКЛЕОСИНТЕЗ происходит, когда ударная волна прорывается сквозь внутренние слои предсверхновой. Часть кремния и серы, нагретая ударной волной до температуры выше 5 млрд. К, сгорает, образуя радиоактивный никель-56 (стадия 1); часть кислорода в глубине следующей оболочки выгорает до кремния и серы (стадия 2), а неон и магний во внутренних частях оболочки превращаются в кислород (стадия 3). Ударная волна распространяется через находящееся выше вещество, не вызывая больше превращений элементов (стадия 4). Продукт распада никеля — кобальт-56 также радиоактивен; при его распаде образуется большая часть энергии свечения Сверхновой. Нейтрино из сжимающейся нейтронной звезды в центре Сверхновой обгоняют ударную волну.

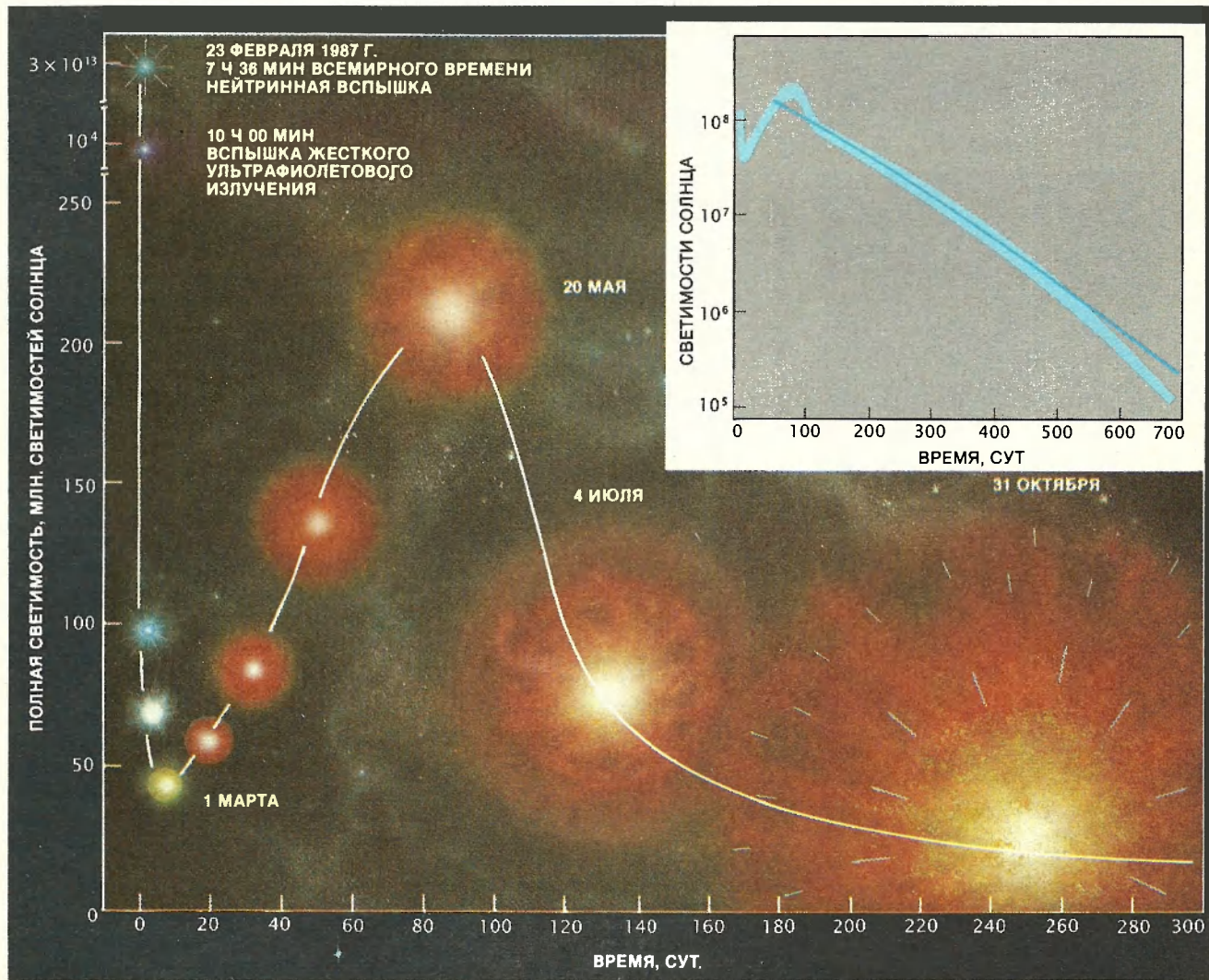
емой для SN 1987A, должны излучаться при вспышках сверхновых; однако такое раннее обнаружение явилось неожиданным. Теоретики предполагали, что в сверхновых II типа слои взорвавшейся звезды расширяются, сохраняя радиальную симметрию; в этом случае рентгеновское излучение должно было поглощаться еще в течение 100 дней после того момента, когда оно уже было обнаружено. Ранее появление излучения означало, что ядро испытало перемешивание: вещество из внутренних слоев было выброшено в лежащие выше слои

гелия или даже в водородную оболочку. Действительно, доплеровское расширение гамма-линий показало, что некоторое количество кобальта двигалось со скоростью 3000 км/с — достаточно быстро, чтобы опередить медленно движущееся вещество в основной водородной оболочке.

Примерно в то же время, когда появился кобальт, излучение из глубоких слоев Сверхновой позволило установить существование других тяжелых элементов. Гамма- и рентгеновские лучи из ядра Сверхновой все еще испытывали рассеяние, а спектр в види-

мом и ультрафиолетовом диапазонах представлял собой частокол линий поглощения атомов, образующихся в оболочке. Оказалось, что тяжелые элементы, которые Сверхновая рассеивала в пространстве, раньше всего удалось обнаружить в инфракрасном диапазоне.

Большая часть инфракрасного излучения поглощается земной атмосферой, однако есть участки спектра, в которых оно может дойти до поверхности Земли. Эти диапазоны были исследованы почти сразу после вспышки Сверхновой на Англо-Ав-



ВЗРЫВ СВЕРХНОВОЙ начался с невероятно мощной нейтринной вспышки, отметившей рождение нейтронной звезды. Через два часа, когда ударная волна вышла на поверхность звезды и нагрела ее до полмиллиона кельвинов, последовала вспышка жесткого ультрафиолетового излучения. В течение нескольких дней поверхность Сверхновой расширилась и остыла, ее свет стал красным. Энергия, запасенная в оболочке ударной волной, начала высвобождаться; через несколько недель к ней добавилась энергия распада радиоактивного кобальта. До 20 мая 1987 г. яркость Сверхновой постепенно увеличивалась; к этому времени вся энергия ударной волны была растрачена и свечение полностью зависело от радиоактивности. Последую-

щее падение яркости, представленное в логарифмическом масштабе (вверху справа), совпало с результатами расчетов, в которых было принято, что энергия выделяется при распаде кобальта-56 массой 0,08 солнечной (синяя кривая). Через несколько месяцев после взрыва, когда Сверхновая превратилась в турбулентную туманность, размером во много раз больше Солнечной системы, рентгеновские и гамма-лучи (голубые стрелки), возникшие при распаде кобальта, смогли выходить наружу без рассеяния. Даже сейчас при наблюдении в телескоп Сверхновая выглядит как неразрешенный точечный источник света; рисунки основаны на объединении данных наблюдений яркости и спектров для каждой стадии с выводами теории.

стралийском телескопе в Кунабаране, обсерватории Маунт-Стромло и Сайдинг-Спринг в Водене (Австралия) и на Межамериканской обсерватории в Серро-Тололо (Чили). Большой спектральный диапазон был исследован с помощью Койперовского

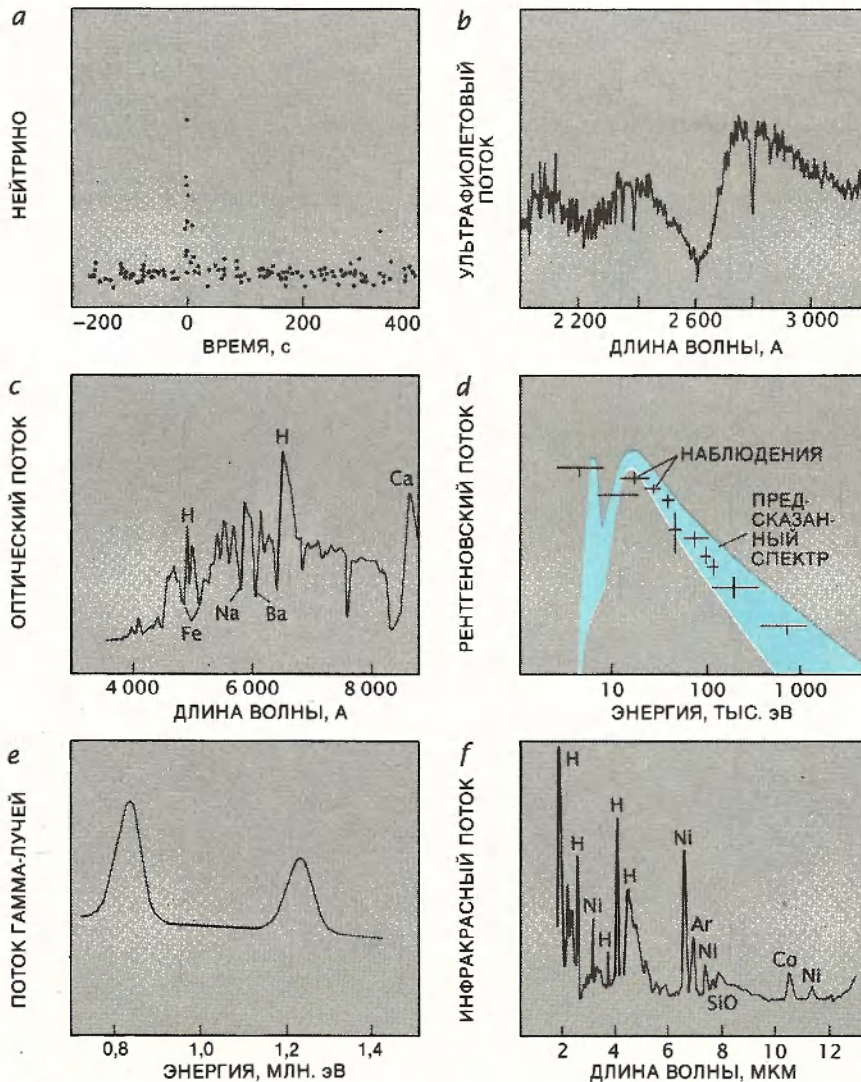
инфракрасного телескопа НАСА, который начиная с осени 1987 г. несколько раз на реактивном самолете совершал полеты на высоте около 12 км. Начиная с ноября, спектры, полученные с помощью Койперовского телескопа, а также в Австралии, пока-

зали присутствие в ядре Сверхновой целого «зоопарка» элементов: не только железа, никеля и кобальта, но также аргона, углерода, кислорода, неона, натрия, магния, кремния, серы, хлора, калия и, по всей видимости, алюминия. Интенсивные инфракрасные линии свидетельствовали о том, что количество элементов было большим, чем могло содержаться в ядре звезды при ее рождении. Элементы были синтезированы в ядре звезды или в ходе самого взрыва; в дальнейшем они, возможно, станут компонентами будущей солнечной системы.

В НАЧАЛЕ 1989 г., два года спустя после взрыва, светимость Сверхновой стала равномерно уменьшаться со скоростью, соответствующей экспоненциальному распаду кобальта-56 (с учетом того, что часть рентгеновского и гамма-излучения теперь могла выходить свободно, не давая вклада в кривую блеска). Некоторых теоретиков начало удивлять отсутствие признаков существования других, отличных от радиоактивного распада, источников энергии. Нейтринная вспышка известила о рождении нейтронной звезды. Однако нейтронная звезда обычно является мощным источником излучения: она может нагревать вещество, падающее на нее, либо стать пульсаром — вращающейся нейтронной звездой с сильным магнитным полем, которое создает вращающийся пучок излучения.

Куда же пропала нейтронная звезда в SN 1987A? Возможно, она образовалась на начальной стадии взрыва и затем исчезла, превратившись в черную дыру? Если бы в течение нескольких первых секунд взрыва образовалась черная дыра, то нейтринный импульс был бы короче наблюдаемого; и в любом случае масса коллапсирующего железного ядра была бы меньше предела — около двух масс Солнца — для образования черной дыры. Если бы достаточное количество вещества позднее упало на нейтронную звезду, увеличив ее массу выше этого предела, то весь радиоактивный никель был бы потерян и Сверхновая светила бы гораздо слабее. Когда приближалась вторая годовщина со дня вспышки, большинство астрономов еще держали пари за образование нейтронной звезды, хотя экспоненциальное падение блеска исключило существование очень яркого пульсара, подобного пульсару в Крабовидной туманности — остатке вспышки яркой Сверхновой 1054 г.

Ночью 18 января 1989 г. Сверхновая дала ответ на одну загадку, задав при этом несколько новых. В Серро-Тололо группа, возглавляемая К. Пенни-



ИЗЛУЧЕНИЕ SN 1987A началось с быстрой нейтринной вспышки; здесь показана ее запись, полученная детектором Камиоканде в Японии (a). Через несколько часов после того, как ударная волна вышла из звезды, спутник International Ultraviolet Explorer зарегистрировал ультрафиолетовый спектр, свидетельствующий об очень высокой температуре поверхности, нагретой ударной волной (b). Спектр в видимом диапазоне, полученный через 50 дней после взрыва, имеет сильные линии водорода, характерные для расширяющейся остывающей оболочки (c). Примерно через 6 месяцев инструменты на японском спутнике «Гинга» и советской космической станции «Мир» обнаружили рентгеновское излучение, возникающее при распаде радиоактивного кобальта (d); гамма-лучи от того же распада были обнаружены еще через несколько месяцев спутником Solar Maximum Mission (e). С помощью Койперовского самолетного инфракрасного телескопа Национального управления по аэронавтике и космическим исследованиям (НАСА) проводились наблюдения инфракрасных эмиссионных линий, которые показали наличие множества элементов, синтезированных при взрыве глубоко в расширяющемся выбросе (f). Ультрафиолетовый спектр предоставлен Р. Киршнером из Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра, данные о гамма-излучении — М. Лейсингом из Морской исследовательской лаборатории и инфракрасный спектр — Ф. Уиттеборном из Эймсского исследовательского центра НАСА.

пакером из Лоуренсовской лаборатории в Беркли и Дж. Миддллитчем из Лос-Аламосской национальной лаборатории, обнаружила оптические пульсации Сверхновой. Пульсации, интенсивность которых составляла около 0,1% полной светимости Сверхновой, происходили почти 2000 раз в секунду; это означало, что скорость вращения была в три раза больше, чем у самого быстрого из известных до сих пор пульсаров. При таком быстром вращении разрушения могут избежать только плотнейшие, самые массивные нейтронные звезды.

Кроме того, сигнал пульсара показывал регулярное изменение частоты, как будто спутник в несколько раз тяжелее Юпитера притягивал его то в одну, то в другую сторону каждые семь часов, вызывая доплеровское смещение частоты сигнала. Этот спутник мог образоваться только после взрыва, так как вычисленный радиус его орбиты, около миллиона километров, был меньше радиуса предсверхновой. Возможно, если спутник действительно существует, может ли он быть каким-то образом выброшенной частью нейтронной звезды или другим обломком, который упал назад и был захвачен, или еще чем-нибудь более экзотическим?

Что действительно необходимо — так это еще раз увидеть пульсар. Однако при повторных наблюдениях с такой же и даже большей чувстви-

тельностью он не был обнаружен. Возможны различные предположения на этот счет. Например, облака внутри Сверхновой могут затмевать сигнал или он может быть подавлен: вещество, падающее на нейтронную звезду, может на короткое время замкнуть электрическое поле (генерируемое вращающимся магнитным полем), которое дает энергию на излучение. Ответа никто пока не знает.

СУДЬБА нейтронной звезды — еще одна тайна среди многих, сопровождающих СН 1987А. Мы подчеркивали успехи теории и то, как хорошо различные наблюдения дополняют друг друга. Однако имелись аномалии и до того, как возникла проблема предполагаемого пульсара. Например, за четыре часа до обнаружения нейтрино с помощью установок Камиоканде и ИМБ, детектор в туннеле под Монбланом зарегистрировал другой импульс нейтринного излучения. Детекторы гравитационных волн (способные обнаружить высвобождение огромной гравитационной энергии) в Риме в Мэриленде отметили сигналы, совпадающие по времени с ранним импульсом нейтрино. Чем можно объяснить колоссальное выделение энергии за четыре часа до коллапса ядра? Этого пока никто не знает. Через несколько месяцев после взрыва появилась еще одна загадка — второй источник света, пример-

но в 10 раз слабее Сверхновой, который можно было отделить от основной вспышки только с помощью непрямого метода, известного как спекл-интерферометрия. Таинственный второй источник исчез 7 июня 1987 г. и больше не появлялся.

Сомнения, возникающие по поводу этих данных, и дискуссии относительно их интерпретации позволяют сделать важный вывод, касающийся наблюдений Сверхновой. Обычно в науке результат принимается, только если его можно воспроизвести. Однако в случае Сверхновой 1987А мы имеем дело с событием, которое может не повториться в течение нескольких столетий. Когда невозможно интерпретировать наблюдения, лучшее, что можно сделать, — это аккуратно записать и хранить все, что было обнаружено, чтобы ученые будущего, обладающие большей проницательностью, смогли их понять.

Несмотря на это, последние два с половиной года принесли нам захватывающие дух успехи в понимании сверхновых II типа. Для нас и сотен других теоретиков и наблюдателей, работающих во всех диапазонах спектра, стремящихся вместе зафиксировать и объяснить одно из величайших небесных явлений, это было время несравненного вдохновения, научного сотрудничества и плодотворной деятельности, которое может быть только однажды в жизни.

Жесткое рентгеновское излучение Сверхновой 1987А

Р. А. СЮНЯЕВ

ВСПЫШКА Сверхновой 1987А в Большом Магеллановом Облаке привлекла столь большое внимание астрономов и физиков не только потому, что это первая почти за 400 лет сверхновая, видимая невооруженным глазом. Относительная близость этой Сверхновой (180 тыс. световых лет) позволила астрофизикам исследовать многие детали ее эволюции во времени, тщательно изучить электромагнитный спектр практически во всех диапазонах частот, впервые обнаружить нейтрино, испущенные при коллапсе звезды и превращении ее в нейтронную звезду, а может быть, и в черную дыру.

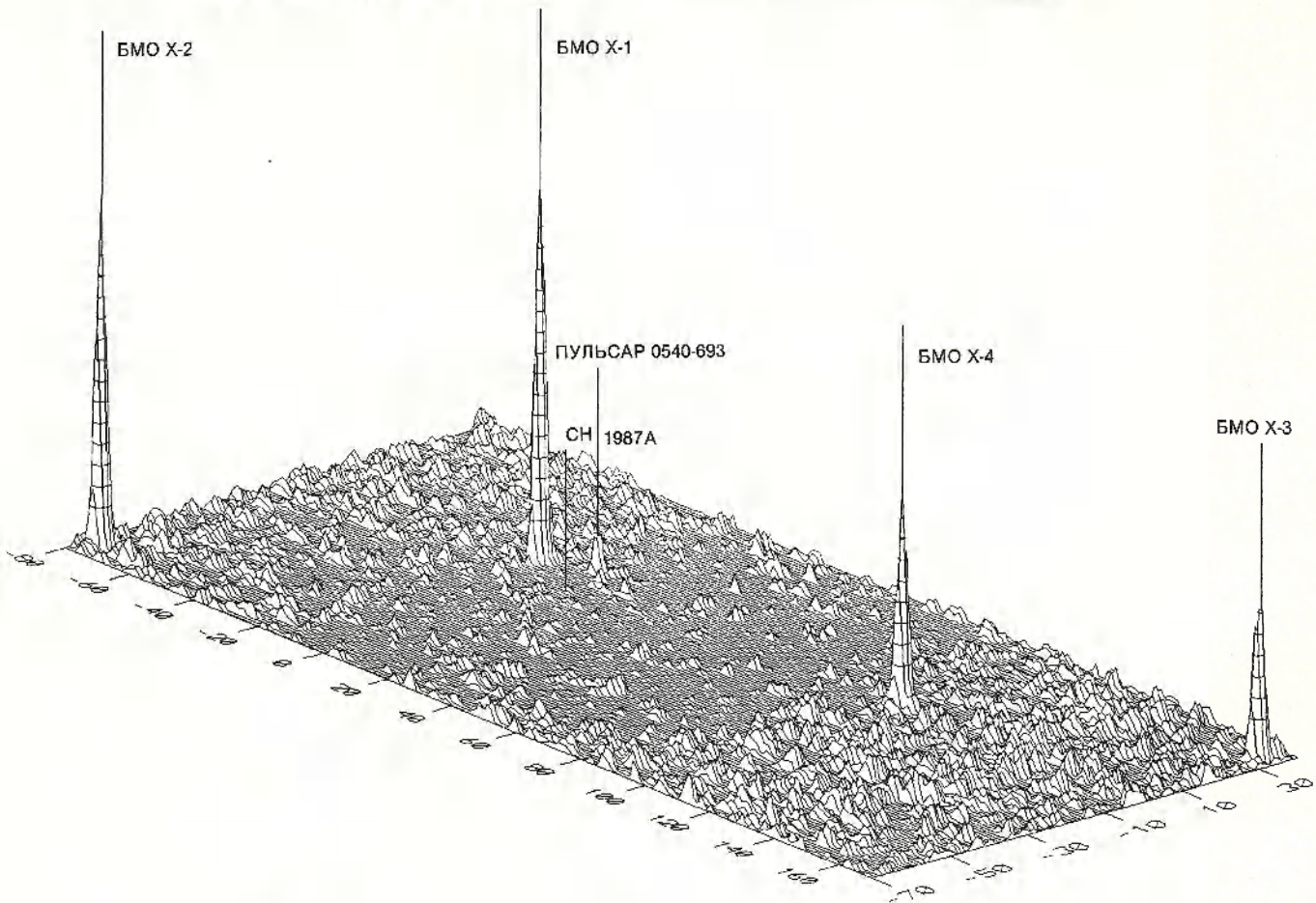
Эта Сверхновая однозначно показала, что источником энергии, излучае-

мой оболочкой в течение многих сотен дней, является радиоактивный распад кобальта-56, который превращается в привычное нам железо. Сегодня астрономы знают, что при взрыве Сверхновой была синтезирована 1/12 массы Солнца в виде радиоактивного никеля-56, превратившегося сначала в кобальт-56, а затем — в железо-56. И нам приятно, что заметный вклад в обнаружение фотонов от распада кобальта-56 внесли приборы международной рентгеновской обсерватории на модуле «Квант» комплекса космической станции «МИР».

Модуль «Квант» был выведен на орбиту 30 марта 1987 г. Сразу же было ясно, что судьбой ему предназначено вести наблюдения за Сверхновой. На орбите к этому времени находились два рентгеновских инструмента — один на японском спутнике

«Гинга», второй — на советском спутнике «Астрон». Первые же наблюдения со всех трех космических аппаратов показали отсутствие заметного потока в стандартном рентгеновском диапазоне 2—10 кэВ. Объект оказался неожиданно слабым рентгеновским источником.

Теоретический анализ предсказывал три основные причины возникновения рентгеновского излучения Сверхновой. Первая, наиболее очевидная, связана с взаимодействием наиболее быстро разлетающихся слоев (20 000—40 000 км/с) оболочки Сверхновой со звездным ветром — веществом, истекавшим из звезды до ее гибели и имевшим в десятки или даже сотни раз меньшие скорости относительно звезды. Столкновение вещества оболочки с веществом звездного ветра должно привести, как это было показано Д. К. Надежиным еще 20 лет назад, к образованию ударной волны, нагреву газа в ней до температуры почти 100 млн. кельвинов и излучению рентгеновских лучей вследствие столкновения горячих электронов с протонами.



РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ галактики Большое Магелланово Облако (БМО) в диапазоне 2—16 кэВ, полученное телескопом с теневой маской (ТТМ) на модуле «Квант» (приведена область на небе $7, 5^\circ \times 3^\circ$). Сильные пики представляют собой ярчайшие источники в БМО (БМО X-1, БМО X-2, БМО X-3, БМО X-4). На карте обозначен пульсар

0540—693 с периодом вращения 50 мс. Поток излучения от этого пульсара в 1 000 раз слабее потока от Крабовидной туманности, находящейся в 25 раз ближе к Земле. На месте Сверхновой 1987А (СН 1987А) прибор не фиксирует значимого потока. Карта построена с угловым разрешением 2 угловые минуты.

Второй причиной было возможное наличие под оболочкой мощного молодого пульсара, интенсивно излучающего, подобно Крабовидной туманности, в рентгеновском диапазоне. Однако первые же наши расчеты показали, что совокупное действие фотопоглощения и комптоновского рассеяния не позволяет вести наблюдения пульсара на энергиях ниже 30—40 кэВ. Все излучение на меньших энергиях поглощается в оболочке.

И наконец, была гипотеза С. Колгейта из Лос-Аламосской национальной лаборатории и Д. Клейтона из Университета Райса о том, что в оболочке может распадаться радиоактивный кобальт. При распаде излучаются гамма-кванты с энергиями 847 кэВ, 1238 кэВ и т. д. Эти фотоны не могут свободно выйти из оболочки. Каждый из фотонов должен был в среднем сотни раз рассеяться на электронах оболочки (как свободных, так и связанных в атомах). При каждом

рассеянии энергия фотонов вследствие эффекта отдачи должна уменьшаться. Согласно теории вероятности, разные фотоны должны рассеиваться в оболочке неодинаковое число раз. Соответственно должны различаться и энергии фотонов, выходящих из оболочки. Полученные нами приближенные аналитические формулы и расчеты методом Монте-Карло показали, что из оболочки должно выходить излучение с непрерывным спектром, простирающимся от мегаэлектронвольтовой области энергий до 20—30 кэВ. При энергиях ниже 20 кэВ фотопоглощение на атомах и ионах тяжелых элементов не «выпускает» рентгеновские лучи. В результате этих расчетов стало ясно, что рентгеновская обсерватория на модуле «Квант», чувствительная в диапазоне энергий от 2 кэВ до 1 МэВ, должна быть идеальным инструментом для обнаружения излучения, связанного с распадом радиоактивного кобаль-

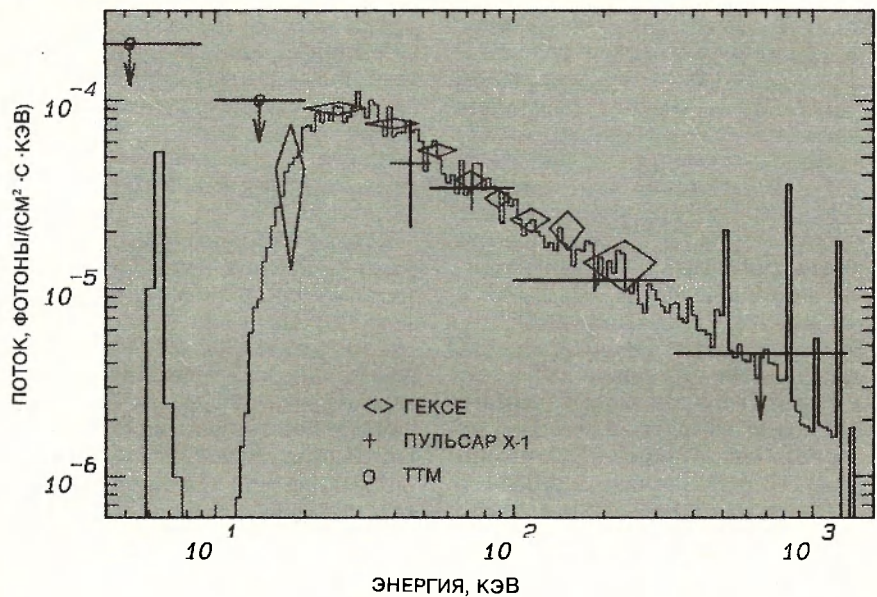
та-56 в недрах оболочки Сверхновой. Предсказанный спектр был более пологий, чем любой из наблюдавшихся до того времени спектров рентгеновских объектов.

Через месяц после запуска «Кванта» оси его телескопов были наведены на Сверхновую. В этом наблюдении и двух последующих были получены лишь верхние пределы потока рентгеновского излучения. Однако 10 августа 1987 г. прибор ГЕКСЕ (результат сотрудничества Института космических исследований АН СССР, Института внеатмосферной физики Общества Макса Планка и Тюбингенского университета) зафиксировал сигнал от Сверхновой в диапазоне 20—200 кэВ. Последовали недели наблюдений, основная цель которых была построить рентгеновское изображение Большого Магелланова Облака (БМО) при помощи телескопа с теневой маской (ТТМ), установленного на модуле «Квант», чтобы локали-

зывать источник жесткого излучения с точностью порядка угловой минуты (см. рисунок на с.24). Эту задачу не удалось решить в полной мере — источник оказался чрезвычайно слабым в диапазоне ниже 30 кэВ. «Квант» наводился в различные точки неба вблизи направления на Сверхновую, чтобы дискриминировать вклад других объектов в поле зрения прибора ГЕКСЕ, хотя с первого же дня нам было ясно, что спектр излучения хорошо совпадает с предсказанным и что столь жесткий спектр никогда не наблюдался ранее. Через две недели, 24 августа 1987 г., источник был однозначно локализован и идентифицирован со Сверхновой прибором ГЕКСЕ, и мы сообщили об этом всему миру. Кроме того, благодаря прибору «Пульсар X-1» нам удалось наблюдать спектр источника вплоть до энергии 400 кэВ. В журналах «Nature» и «Письма в Астрономический журнал» был опубликован спектр Сверхновой в широком диапазоне энергий от 20 до 400 кэВ (см. рисунок справа). Не было сомнений в том, что наблюдаемое излучение обусловлено распадом радиоактивного кобальта-56 (характерное время полураспада 111 суток).

Прибор ТТМ, построивший рентгеновскую карту Большого Магелланова Облака и не обнаруживший излучения в стандартном рентгеновском диапазоне 2—10 кэВ, дал важнейшие ограничения на параметры ударной волны на границе разлетающейся оболочки и окружающей ее среды, ограничения на плотность звездного ветра и темп потери массы звездой за несколько лет до ее смерти. Интересно, что сегодня и малый темп потери массы на стадии предсверхновой, и сам факт обнаружения радиоактивного излучения, связанного с распадом кобальта-56, выглядят настолько естественно, что упоминаются на научных конференциях как азбучные истины, хотя еще весной 1987 г. это были весьма спорные гипотезы.

Практически в то же время, что и «Квант», за Сверхновой напряженно следил японский спутник «Гинга» с британскими пропорциональными счетчиками на борту. Японские ученые объявили об обнаружении излучения Сверхновой в диапазоне от 2 до 30 кэВ. Потоки в области 20—30 кэВ совпали с данными «Кванта». Пределы, полученные прибором ТТМ, были несколько ниже потока, зафиксированного спутником «Гинга», но позднее выяснилось, что эти спутники вели наблюдения в разные дни, и излучение, обнаруженное японскими учеными, было переменным. Статьи о результатах с модуля «Квант» и спутника «Гинга» появились в одном



СПЕКТР РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ SN 1987A, полученный модулем «Квант» в августе 1987 г. Для сравнения приведены результаты расчета методом Монте-Карло спектра излучения, выходящего из оболочки, когда источником фотонов является распад радиоактивного кобальта. Спектральные линии в правой части рисунка представляют собой гамма-линии прямого вылета (фотоны, не испытавшие ни одного рассеяния в оболочке). Крутой низкочастотный обрыв спектра связан с фотопоглощением на атомах тяжелых элементов. На рисунке видна также флуоресцентная линия железа, излучаемая внешними слоями оболочки. Экспериментальные точки получены приборами ГЕКСЕ, «Пульсар X-1» и ТТМ на модуле «Квант».

и том же номере журнала «Nature», и с тех пор обе научные группы регулярно обмениваются данными о наблюдениях Сверхновой 1987А.

После августа 1987 г. через каждые 3—4 месяца Сверхновая вновь становилась на несколько недель главной мишенью модуля «Квант». В ходе этих наблюдений было найдено, что до января 1988 г. поток жесткого рентгеновского излучения медленно нарастал (оболочка становилась прозрачнее для рентгеновских и гамма-лучей), а затем начал спадать в полном соответствии с предсказаниями теории и уменьшением количества радиоактивного кобальта под оболочкой. Однако ход подъема и спада показал, что радиоактивный никель, через 8 дней превратившийся в кобальт, был синтезирован не в узком сферически-симметричном слое, облежавшем будущую нейтронную звезду, а был сильно перемешан по всей массе сброшенной оболочки. Существовавшие расчеты ядерного нуклеосинтеза не предсказывали такой картины. Сейчас выяснилось, тоже по результатам «Кванта», что в ходе взрывного ядерного горения развивается неустойчивость Рэлея—Тейлора, перемешивающая вещество оболочки, подобно тому, как ртуть, налитая ровным слоем на поверхность воды, не может находить-

ся в равновесии в поле тяжести, а сбивается в капельки и «проваливается».

В сентябре 1988 г. «Квант» обнаружил большое изменение в спектре Сверхновой. В результате процесса комптонизации (движения фотонов вниз по оси энергии вследствие эффекта отдачи при многократных рассеяниях на электронах) гамма-кванты уже не могут спуститься до энергии ниже 20 кэВ, где велика роль фотопоглощения, спектр имеет максимум при энергиях 50—60 кэВ. Это свидетельствует о том, что среднее число рассеяний, испытываемых фотонами, близко к 10, т. е. оптическая толща оболочки по рассеянию в сентябре 1988 г. (минус 180 000 лет) была равна 3—4. Таким образом, было измерено полное количество электронов на луче зрения: $5 \cdot 10^{24}$ эл/см².

Наши данные дают информацию об изотропии взрыва Сверхновой, о неоднородности оболочки. Методами теории перколяции удастся получить важные ограничения на размеры неоднородностей в оболочке. При этом рентгеновские и гамма-фотоны используются для просвечивания (томографии) оболочки.

«Квант» продолжает наблюдения Сверхновой 1987А. Сегодня нашей целью являются обнаружение линии с энергией 122 кэВ и получение непре-

рванного спектра, связанного с распадом более долгоживущего изотопа — кобальта-57 (время полураспада 391 сутки). Напомним, что в гемоглобине крови человека отношение атомов железа-57 к железу-56 составляет 2,5%. Несомненно, что железо-57 также родилось при вспышках сверхновых, а расчеты ядерного синтеза показывают, что в условиях Сверхновой 1987А отношение кобальта-57 к кобальту-56 должно превышать 5%. Это отношение чрезвычайно чувствительно к концентрации свободных нейтронов во время ядерного синтеза. Наблюдения модуля «Квант», проведенные в июне 1989 г., дали верхний предел на это отношение, равный 4%.

Другой, важнейшей для нас задачей является обнаружение рентгеновского излучения звездного остатка, т. е. решение вопроса о том, что же образовалось после взрыва — нейтронная звезда или черная дыра. Объект — пульсар или аккрецирующая (излучающая за счет падения вещества в сильном гравитационном поле) нейтронная звезда или черная дыра должны, согласно расчетам, проявлять себя излучением в диапазоне 30—75 кэВ. На меньших энергиях еще несколько лет будет происходить очень сильное фотопоглощение в окружающей оболочке. Сегодня мы можем сказать, что если бы под оболочкой скрывался объект типа пульсара в Крабовидной туманности, аккрецирующей нейтронной звезды — рентгеновского пульсара (типа известного источника Геркулес X-1) или источника типа кандидата в черные дыры Лебедь X-1, то «Квант» смог бы их наблюдать в течение ближайшего года. Крабовидную туманность, спрятанную под оболочкой, мы бы уже увидели в июньских наблюдениях этого года. Источник же под оболочкой слабее Крабовидной туманности.

Хотя Сверхновая вспыхнула на южном небе и не доступна для наземных наблюдений с территории Советского Союза, Пулковские астрофизики вели наблюдения за ней при помощи небольшого телескопа в горах Боливии, исследуя поляризацию ее оптического излучения. Специалисты Астрономического совета в Москве и Крымской астрономической обсерватории наблюдали ультрафиолетовое излучение Сверхновой со спутника «Астрон». Большой вклад в построение моделей гидродинамического взрыва Сверхновой и теоретической кривой блеска внесла группа В. С. Имшенника и Д. К. Надежина из Института теоретической физики АН СССР в Москве, теоретики Астросовета, ГАИШ, ФИАН, ИЯИ, ИКИ, ИМП и многих

других институтов Академии наук СССР и обсерваторий нашей страны. Нельзя не упомянуть и об экспериментах по наблюдению нейтрино, проводимых под руководством Г. Т. Зацепина и А. Е. Чудакова из Института ядерных исследований АН СССР в Москве.

В декабре этого года мы ждем вывода на орбиту спутника «Гранат», на борту которого будут установлены более чувствительные инструменты, чем на модуле «Квант». Уникальная высокоапогейная орбита этого спутника должна обеспечить непрерывные круглосуточные наблюдения интересных астрофизических объектов в течение трех дней из четырехдневного орбитального периода. «Гранату» предстоит включиться в поиск нейтронной звезды или черной дыры, родившихся при взрыве Сверхновой. Астрофизики и физики-ядерщики ждут с нетерпением запуска двух гамма-спутников: советского «Гамма-1» и американской Обсерватории гамма-лучей (GRO), которые могут наблюдать фотоны с энергией, в тысячи раз большей, чем детектируемые модулем «Квант». Эти фотоны должны многое рассказать о процессах ускорения космических лучей в оболочке Сверхновой и о молодом пульсаре, скрытом под ней. Пока же данные модуля «Квант» позволяют сделать вывод, что наблюдаемая Сверхновая — чрезвычайно слабый источник ускорения ультрарелятивистских электронов. Совокупность оптических и рентгеновских данных (болометрическая светимость Сверхновой) свидетельствует о том, что темп ускорения космических лучей в этом объекте существенно меньше, чем в Крабовидной туманности сегодня, через 1 000 лет после ее возникновения. Астрономы, если тогда они будут на Земле, смогут наблюдать SN 1987А более 100 тыс. лет, но уже сегодня она опровергла многое из того, чему нас учили классические книги: взорвался голубой, а не красный сверхгигант, объект практически не наблюдаем в радиолучах, главным источником энергии оболочки оказался ядерный распад кобальта-56, объект не ускоряет космические лучи. Мы привыкли считать, что сверхновые — это проявление мощных не-тепловых процессов (ультрарелятивистские частицы, синхротронное излучение, ударные волны). В действительности же в течение долгих десятилетий в SN 1987А можно будет наблюдать холодный остывающий из-за расширения газ с температурой несколько тысяч градусов и пыль, изучающие в основном в субмиллиметровом и инфракрасном диапазонах.

Последующие наблюдения дадут информацию о синтезе при взрыве Сверхновой многих элементов периодической таблицы Менделеева, о количестве радиоактивных элементов ^{22}Na , ^{44}Ti , ^{28}Al и других. Мы многого ждем еще от этой Сверхновой и не удивительно — она самая близкая и яркая со времен Бориса Годунова и Генриха Наваррского.

Возвращаясь к современности, нам бы хотелось поблагодарить коллективы, работающие под руководством Ю. П. Семенова и Н. Н. Шереметьевского, создавших уникальный комплекс космической станции «МИР» и обеспечивших высокую стабилизацию телескопов станции (~ 1 угловой минуты), без которой были бы невозможны столь точные наблюдения. Нам приятно также поблагодарить всех, кто принимал участие в создании модуля «Квант», научной аппаратуры, всех, кто управлял кораблем, помогал нам обрабатывать данные, а также космонавтов А. П. Александрова, А. И. Лавейкина, М. Х. Манарова, Ю. В. Романенко, В. Г. Титова, ученых из Института внеатмосферной физики Общества Макса Планка (ФРГ), Астрономического института Тюбингенского университета (ФРГ), Лаборатории космических исследований (Нидерланды), Бирмингемского университета (Великобритания) и соавторов наших основных публикаций М. Р. Гильфанова, С. А. Гребенева, В. В. Ефремова, А. С. Каниовского, Е. М. Чуразова.

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

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

250001 Киев,
ул. Крещатик, 44
магазин № 12

660036 Красноярск,
Академгородок,
магазин № 101

141908 Дубна,
ул. Векслера, 11,
головной магазин

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



SCIENTIFIC AMERICAN

АВГУСТ 1939 г. «Реализация идеи, предложенной одним молодым жителем Оклахомы, возможно, ускорит истощение мировых запасов нефти. Этот человек, по имени Джон Истмэн, предложил бурить не прямые, а искривленные скважины. Не смущенный скептицизмом специалистов, он доказал, что, буря скважины под углом к поверхности, можно «перехитрить» недра земли, скрывающие свои сокровища и даже извлекать нефть из-под океанского дна. Если окажется, что нефть находится под городом, парком или кладбищем, то, по методу Истмэна, можно будет прорыть наклонную скважину издалека и таким образом избежать таких нелепостей, как установка буровых вышек на лужайке перед Капитолием в шт. Оклахома».

«Самолеты «Боинг-Клиппер» с размахом крыльев 152 фута и фюзеляжем длиной 106 футов станут первенцами трансатлантической авиации. Ожидается, что к моменту, когда читатели получат номер этого журнала, трансатлантические пассажирские перевозки уже будут осуществляться по регулярному расписанию».

«Похоже, что развитие транспорта в Великобритании идет вспять. Данные британского министерства здравоохранения показывают, что в 1904 г. средняя скорость конного экипажа на отрезке дороги протяженностью около 4 миль от Суисс-Коттедж до Оксфорд-Сиркус в центре Лондона составляла почти 9 миль/час. В 1937 г. средняя скорость автобуса, следующего по тому же маршруту, достигала лишь 8,5 миль/час».

«Вырастить арбузы без семечек можно, если обработать неопыленные цветки нафталиново-ацетильной кислотой. Выращенные таким образом арбузы не имели семян, но были различны по форме. Они выросли твердыми и плотными и обладали таким же ароматом, как и нормально опыленные плоды».

SCIENTIFIC AMERICAN

АВГУСТ 1889 г. «В Нью-Йорке приговорен к смертной казни убийца по фамилии Кеммлер. Это будет первая

казнь после введения нового закона, согласно которому повешение будет запрещено и веревку заменит электричество. Адвокаты предпринимают энергичные усилия по спасению своего подопечного на том основании, что новый способ казни носит экспериментальный характер, что он только увеличивает физические страдания и не является оправданным с юридической точки зрения».

«Очень простой эксперимент, произведенный сэром Уильямом Томсоном, превосходно демонстрирует явление жидкого трения. К штативу прикреплены два провода, к каждому из которых привязана резиновая петля. В петлях находится в вертикальном положении яйца — одно сырое, другое сваренное вкрутую. Яйца осторожно поворачивают раз или два вокруг оси и затем отпускают. Вареное яйцо продолжает вращаться туда-сюда, как и полагается торсионному маятнику, а сырое почти сразу же останавливается. Объясняется это просто. Яйцо, сваренное вкрутую, будучи целиком твердым, вращается как единое целое, а у сырого яйца, жидкого внутри, при скручивании резины смещается только скорлупа, а содержимое остается неподвижным из-за его большой инертности. Таким образом возникает трение между скорлупой и содержимым, а так как скорлупа очень легкая, то она скоро останавливается».

«Это полезно, если верно: один наблюдательный человек заметил, что мухи всегда ползут вверх. Поса-



Пневматический молоток Мак-Коя

дите муху на окно, и она немедленно двинется к потолку; двигаться вниз ее заставить нельзя. Изобретатель смастерил окно, состоящее из двух стекол. Верхнее стекло немного перекрывает нижнее с зазором между ними около дюйма. Садясь на это окно, муха ползет вверх и таким образом скоро оказывается на улице. Этим способом можно быстро очистить комнату от мух».

«Отель «Бернина» в Самедане (Швейцария) освещается электричеством, которое вырабатывается водопадом. Поскольку днем электроэнергия для освещения не нужна и, следовательно, производится впустую, владельцу отеля пришла в голову мысль использовать ее для приготовления пищи, и он сконструировал экспериментальную кухонную «плиту». Плита состоит из спиральных катушек, которые электрический ток нагревает докрасна. На этой плите можно производить все кулинарные операции, лишь бы выдерживали катушки».

«В некоторых общественных зданиях Лондона несколько месяцев назад вместо стекол в окна был вставлен новый прозрачный материал. Он обладает многими преимуществами перед обычным стеклом, например большой гибкостью — его можно гнуть вперед и назад — и значительной прочностью на разрыв. Основой этого материала служит «паутина» из очень тонкой стальной проволоки, «застывшей» в слое прозрачного лака, как муха в янтаре».

«Наблюдения в общественных местах показывают, что курение сигарет, к счастью, идет на спад. Известно, однако, происходит ли это в силу строгих законов, запрещающих продавать табачные изделия малолетним, или оттого, что курильщики взяли за ум и вняли, наконец, своему голосу разума и многочисленным воззваниям медиков».

«В этом выпуске мы знакомим читателей с новым инструментом, представляющим интерес не только как оригинальное механическое устройство. Изобретение Мак-Коя основано на повторении с высокой частотой легких ударов молота. Инструмент предназначен для обработки дерева, металла, камня и других материалов. Режущая часть в нем только одна, но она совершает множество последовательных ударов. Новое приспособление получило название пневматического молотка, поскольку должно приводиться в движение сжатым воздухом».

Как вирусы влияют на функционирование клеток

Некоторые вирусы влияют на способность определенных клеток производить гормоны и нейромедиаторы. Причиной многих нарушений деятельности различных желез и других органов могут быть персистентные инфекции, вызываемые такими вирусами.

МАЙКЛ Б. А. ОЛДСТОУН

ЭСТЬ удачное определение вируса: это плохие новости в упаковке из белка», — писал Питер и Джейн Медавар несколько лет назад. Формулировка вполне подходящая, ведь когда клетка заражена вирусом, вирусные гены — «плохие новости» — могут нарушать нормальную клеточную активность, что часто и происходит. Пораженные клетки гибнут или же функционируют в аномальном режиме, что может привести к заболеванию, затрагивающему весь организм. Существование вирусов было открыто именно «благодаря» внешне заметным патологическим явлениям, которыми сопровождается присутствие вирусов в растительном или животном организме.

В настоящее время при подозрении на вирусную инфекцию в первую очередь исследуют пораженные клетки с помощью микроскопа. При этом можно заметить последствия нарушения проницаемости клеточных оболочек, ведущего к набуханию и разрыву клеток, увидеть клеточные мембраны, продырявленные в результате выхода вирусных частиц из клеток. В местах таких изменений скапливаются лимфоциты и другие клетки иммунной системы, которые, подобно войскам особого назначения, стремятся сдержать распространение инфекции. В борьбе с вирусом клетки иммунной системы сами могут повреждать окружающие ткани. Обнаружив эти признаки вирусной инфекции, берут на анализ кровь, мочу и ткани пациента, чтобы выявить присутствие антител к вирусу, его генов и белков в надежде идентифицировать вирус. В отсутствие перечисленных признаков обычно считают, что к этиологии данного заболевания вирусные отношения не имеют.

Однако за последнее десятилетие в работах ряда исследователей, в том числе моей группы в Скриппсовской

клинике накопились данные, свидетельствующие о том, что вирусная инфекция не всегда сопровождается столь заметными, четко выраженными явлениями. Мы обнаружили вирусы, которые пребывают в клетках без характерных признаков вирусной инфекции. Эти вирусы не убивают клетки и не вызывают эффективного иммунного ответа. Такая тактика позволяет вирусу существовать в организме длительное время, в течение которого он может обуславливать некий постоянный эффект. Нередко это влияет на специализированные функции клеток, например на производство или секрецию гормонов. Подобные «избыточные», не принципиальные для жизнедеятельности самих клеток функции имеют очень важное значение для здоровья всего организма в целом. Складывается впечатление — и фактов в его пользу становится все больше, — что такой коварный тип вирусной активности лежит в основе многих болезней человека. По-видимому, к их числу следует отнести определенные случаи задержки роста, диабет, ряд нервно-психических расстройств, аутоиммунных заболеваний и болезней сердца, которые ранее не считались инфекционными.

ЭТА точка зрения покажется не столь уж необычной, если поразмышлять о своеобразной природе вирусов. Вирусы являются генетически паразитами и не способны к полностью самостоятельному существованию; необходимой стадией жизненного цикла вирусов является проникновение в живую клетку, так как для репликации своего генома они используют клеточные механизмы. Однако в этих пределах у вирусов выработалось множество стратегий выживания; столь же разнообразны и пути, которыми они вызывают болезни. Во-первых, среди вирусов существуют такие безвредные

агенты (например, вирус полиомиелита, вирусы, вызывающие острую инфекцию верхних дыхательных путей), которые вызывают острую инфекцию и быструю гибель клеток. Существуют также латентные вирусы (например, печально известный вирус простого герпеса), способные долгое время пребывать в организме в скрытом состоянии, а затем бурно проявляться приступом заболевания. Возбудители хронических инфекций другого типа, называемых медленными, постепенно накапливаются в организме и, до того как проявляется заболевание, проходит очень длительное время (годы); такие вирусы считаются причиной довольно редких энцефалопатий человека — куру и болезни Крейцфельда—Якоба, характеризующихся прогрессирующим слабоумием.

Я и мои сотрудники, а также другие исследователи, изучая вирус лимфоцитарного хориоменингита (LCMV — от англ. lymphocytic choriomeningitis virus), получили данные, свидетельствующие о существовании еще одного типа персистентной вирусной инфекции. Лимфоцитарный хориоменингит эндемичен в некоторых природных популяциях мышей. Хотя интенсивные исследования этого заболевания начались в 30-х годах, его возбудитель оставался своего рода розеттским камнем в расшифровке механизмов вирусной инфекции и иммунного ответа. Известно, что LCMV, заражая клетки, может не убивать их, так что инфекция становится персистентной. Это изучали на фибробластах, но недостатком таких исследований было то, что фибробласты не имеют удобных для наблюдения специализированных функций. Мои коллеги и я задалась целью изучить влияние LCMV на специализированные функции дифференцированных клеток.

Для этих исследований мы выбрали клетки нейробластомы, которые синтезируют ферменты, участвующие в

синтезе и деградации нейромедиатора ацетилхолина. В клетках нейробластомы, зараженных LCMV, развивались нарушения процессов синтеза и деградации ацетилхолина. При этом клетки продолжали нормально расти, производя нормальное количество ДНК, РНК и белков, в том числе жизненно важных ферментов. Под микроскопом зараженные клетки практически не отличались от нормальных.

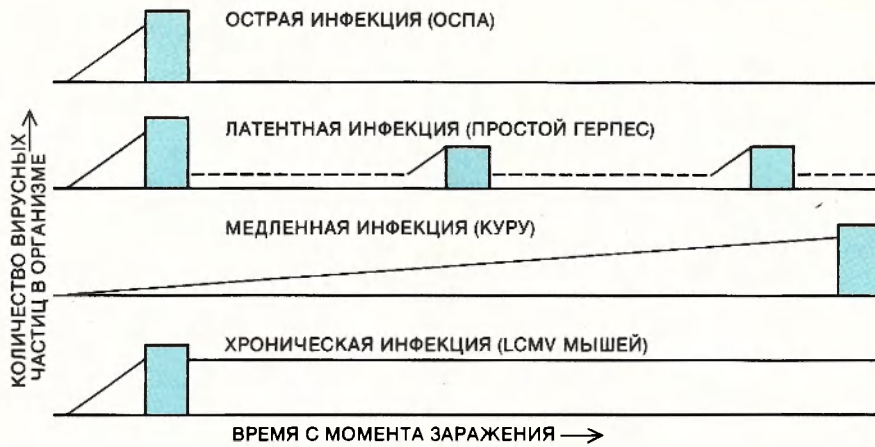
Г. Хольцер и его коллеги из Пенсильванского университета наблюдали сходную картину в дифференцирующихся клетках цыпленка, зараженных одним из вариантов вируса саркомы Рауса. Этот вариант вируса реплицируется только при определенных температурах, поэтому воздействие его на клетки можно регулировать, меняя температуру. При температурах, не подходящих для репликации вируса, клетки продолжали синтезировать нормальный набор веществ, связанных со специализированными функциями. При температуре, допускающей репликацию вируса, клетки прекращали производить специальные продукты. В клетках происходили также морфологические изменения, но сохранялся минимум функций, обеспечивающих их выживание.

Позже рядом исследователей было показано, что и другие вирусы могут нарушать специализированные клеточные функции, не затрагивая жизненно важные. Так, некоторые вирусы человека и животных, заражая нейроны (нервные клетки), глиальные клетки мозга и лимфоциты, влияют на их специализированные функции. Следует отметить двоякое воздействие различных вирусов, заражающих лимфоциты: они, во-первых, подавляют синтез иммуноглобулинов (антител) в В-лимфоцитах и, во-вторых, влияют на способность цитотоксических Т-лимфоцитов разрушать зараженные клетки.

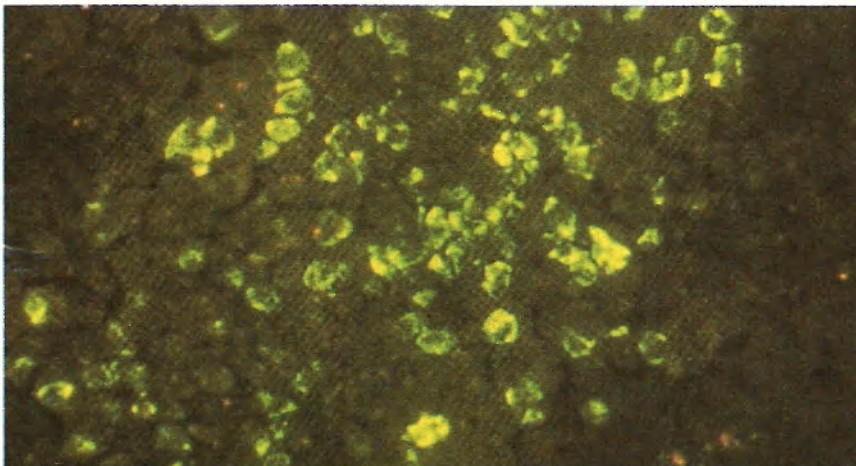
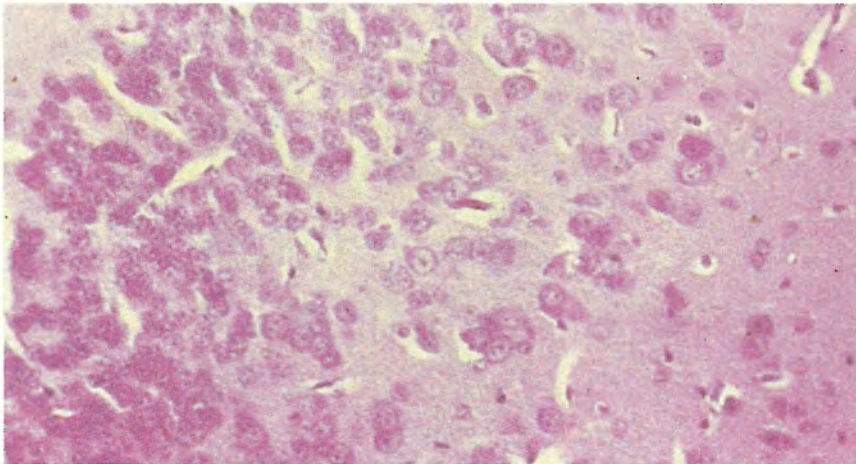
ОПИСАННЫЕ выше наблюдения были сделаны в условиях *in vitro* («в пробирке»). Следовало проверить эти данные в опытах на животных. Первые убедительные доказательства были получены нами при изучении хронической инфекции LCMV у мышей линии СЗН, у которых задерживается рост и развивается гипогликемия (пониженное содержание глюкозы в крови). Каковы причины этих явлений? Поскольку и рост, и уровень глюкозы регулируются гормоном роста, мы решили исследовать клетки гипофиза, которые синтезируют и секретируют этот гормон. Оказалось, что вирус поражает переднюю долю гипофиза, причем реплицируется преимущественно в клетках, произ-



ПАТОЛОГИЧЕСКИЙ РОСТ у карлика по прозвищу Большой Уайт, которого на этой фотографии, сделанной в 1926 г., держит гигант Джеймс Тарвер, был вызван дефицитом гормона роста. Нарушение роста может иметь генетические причины, но в некоторых случаях, как считает автор статьи, следует предполагать участие персистентной вирусной инфекции, приводящей к ослаблению секреции необходимого гормона. Возможно, многие заболевания, связанные с нарушением обмена гормонов и нейромедиаторов, имеют вирусную этиологию.



ВИРУСНАЯ ИНФЕКЦИЯ состоит из нескольких этапов, которые могут быть различными по длительности и тяжести в зависимости от свойств вируса. За первичным заражением следует инкубационный период, в течение которого количество выявляемых инфекционных вирусных частиц (*сплошная линия*) в организме увеличивается. Наконец появляются симптомы заболевания (*прямоугольник*), в частности заметное повреждение клеток и воспаление. Латентные вирусы вызывают вначале острую инфекцию, а затем переходят в состояние, в котором вирус как таковой не выявляется (*пунктир*), но позже может проявить себя и болезнь возобновится. Персистентные вирусы способны к хронической инфекции. В этом случае вирус выявляется, но не вызывает ни повреждения клеток, ни эффективного иммунного ответа. Такие хронические инфекции могут приводить к нарушению функционирования клеток и заболеванию без классических признаков вирусной инфекции.



НЕЙРОНЫ мыши с персистентной инфекцией вирусом лимфоцитарного хориоменингита (LCMV) на обычной микрофотографии производят впечатление вполне нормальных (*вверху*). Зараженные клетки видны на микрофотографии, полученной на люминесцентном микроскопе (*внизу*); присутствие вируса выявляется с помощью флуоресцирующего красителя, присоединенного к антителам против одного из белков LCMV.

водящих гормон роста. В результате у мышей СЗН с хронической инфекцией LCMV вырабатывалось на 50% меньше гормона роста, чем у нормальных животных.

При микроскопическом исследовании зараженных клеточек мы не обнаружили никаких признаков их повреждения или следов воспаления. Чем обусловлены задержка роста и аномальный метаболизм глюкозы? Является ли их причиной нарушение функционирования именно клеток гипофиза, производящих гормон роста, или же иные, еще не выявленные дефекты? Чтобы выяснить это, мы пересадили зараженным LCMV мышам нормальные клетки, производящие гормон роста, от незараженных животных, чтобы посмотреть, восстановится ли уровень гормона. Действительно, после трансплантации скорость роста и метаболизм глюкозы у подопытных мышей вернулись к норме. Таким образом удалось показать, что инфекция LCMV влияет на способность клеток гипофиза синтезировать гормон роста. Как видим, этот вирус нарушает гомеостаз и приводит к заболеванию, хотя не вызывает таких характерных признаков вирусной инфекции, как повреждение клеток и воспаление ткани.

Установив, что инфекция LCMV приводит к дефициту гормона роста, мы стали выяснять биохимические причины этого. Вначале было решено проверить, нет ли изменений в структуре белка-гормона у зараженных мышей по сравнению с нормальными. Прямое сравнение аминокислотных последовательностей белков затруднительно, поэтому мы расщепили белок на пептиды (короткие цепочки аминокислот) и сравнивали последовательности этих пептидов. Полученные результаты свидетельствовали, что гормон роста у зараженных и незараженных животных составлен из одинаковых пептидов. Имея в виду, что белок синтезируется согласно информации, закодированной в нуклеотидной последовательности матричной РНК (мРНК), мы исследовали мРНК, кодирующую гормон роста, у зараженных и нормальных мышей. Оказалось, что у тех и других животных мРНК гормона роста имеет одинаковую длину. На этом основании пришлось отвергнуть предположение о связи функционального дефекта с молекулярной структурой самого гормона или мРНК, по которой он синтезируется.

Тогда мы предположили, что клетки, зараженные LCMV, теряют способность производить достаточное количество гормона. Дефицит белка в свою очередь мог быть результатом нехватки матричной РНК. Мы прове-

**НЕЗАРАЖЕННОЕ
ЖИВОТНОЕ**

ВОЗРАСТ — 15 СУТОК

ВЕРОЯТНОСТЬ ДОЖИВАНИЯ
ДО ВОЗРАСТА 30 СУТОК — 95%УРОВЕНЬ ГОРМОНА РОСТА
В ГИПОФИЗЕ — 36 МКГ/МГЦЕЛОСТНОСТЬ мРНК ГОРМОНА РОСТА —
800 НУКЛЕОТИДОВКОЛИЧЕСТВО мРНК ГОРМОНА РОСТА —
НОРМАЛЬНОЕИНИЦИАЦИЯ ТРАНСКРИПЦИИ мРНК
ГОРМОНА РОСТА —
НОРМАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ**ЖИВОТНОЕ ЗАРАЖЕНО LCMV
С МОМЕНТА РОЖДЕНИЯ**

ВОЗРАСТ — 15 СУТОК

ВЕРОЯТНОСТЬ ДОЖИВАНИЯ
ДО ВОЗРАСТА 30 СУТОК — 5%УРОВЕНЬ ГОРМОНА РОСТА
В ГИПОФИЗЕ — 16 МКГ/МГЦЕЛОСТНОСТЬ мРНК ГОРМОНА РОСТА —
800 НУКЛЕОТИДОВКОЛИЧЕСТВО мРНК ГОРМОНА РОСТА —
20% ОТ НОРМАЛЬНОГОИНИЦИАЦИЯ ТРАНСКРИПЦИИ мРНК
ГОРМОНА РОСТА — 6,25%
ОТ НОРМАЛЬНОГО УРОВНЯ

МЫШЬ ЛИНИИ СЗН, зараженная LCMV, в сравнении с незараженной особью того же помета. Задержка роста и низкое содержание глюкозы в крови у зараженного животного обусловлены нехваткой гормона роста. Причиной дефицита гормона в данном случае был пониженный уровень инициации транскрипции кодирующей его мРНК. Инфек-

ция никак не сказывалась на мРНК, кодирующих другие белки, в частности актин и тиреотропный гормон. После того как зараженной мыши ввели взятые от здоровой особи нормальные клетки гипофиза, производящие гормон роста, рост и метаболизм глюкозы нормализовались.

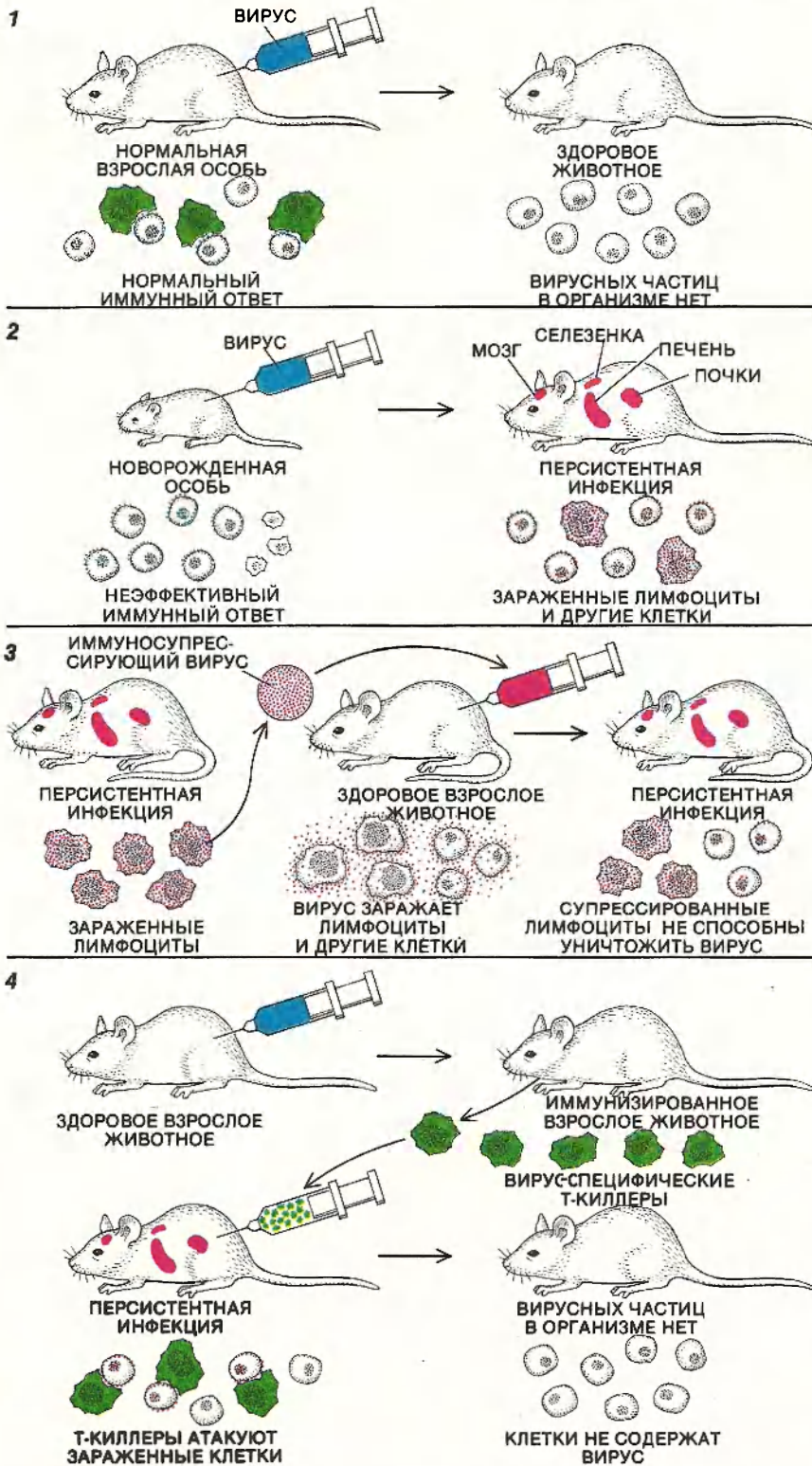
ли анализ РНК в клетках гипофиза и обнаружили, что уровень мРНК гормона роста у зараженных мышей в 5 раз ниже, чем у контрольных животных того же возраста и пола. Таким образом, наше предположение подтвердилось.

Поскольку информация, содержащаяся в мРНК, копируется с ДНК в процессе транскрипции соответствующего гена, следующим шагом было предположение, что нарушена транскрипция гена, кодирующего гормон роста. Так оно и оказалось: уровень инициации транскрипции этого гена у зараженных мышей был в 16 раз ниже, чем у контрольных животных. Это нарушение касалось только гена гормона роста; транскрипция остальных генов, например гена тиреотропного гормона (этот гормон регулирует деятельность щитовидной железы) или гена актина (актин — структурный белок), не затрагивалась.

Для более детального понимания механизма влияния LCMV на транскрипцию гена, кодирующего гормон роста, нужно было лучше изучить сам вирус. Какие вирусные гены ответственны за вмешательство в функции клетки? В поисках ответа на этот вопрос помогло то, что существуют два варианта LCMV — патогенный вирус Армстронг и непатогенный вирус WE. Геном LCMV состоит из двух молекул РНК — короткой и длинной. И. Ривьер, Р. Ахмед (последний в настоящее время работает в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе) и я обменяли длинные и короткие РНК двух вариантов вируса и затем ввели измененные вирусные частицы мышам. Заболели только те особи, которых заразили вирусными частицами, содержащими короткие РНК вируса Армстронг.

Далее следовало выделить гены, ответственные за развитие заболева-

ния. Было известно, что короткая РНК состоит из 3700 нуклеотидов и на одном из ее концов расположены участок, кодирующий гликопротеины внешней оболочки вирусной частицы, а на другом — участок, кодирующий белки нуклеокапсида («сердцевины» вирусной частицы). Чтобы выявить ключевое звено, можно было бы вырезать определенные гены вируса Армстронг и вставить их в геном вируса WE, получив таким образом рекомбинантные вирусные гены. Можно также попытаться инактивировать участок, обуславливающий заболевание, путем сайт-специфических мутаций. К сожалению, ни один из этих методов пока не приспособлен для применения к вирусам того класса, к которому относится LCMV. Вместо этого мы взяли напрямую определить нуклеотидную последовательность РНК патогенного и непатогенного вариантов вируса. Однако



ИММУНОСУПРЕССИЯ под действием LCMV была выявлена в серии экспериментов, изображенных на этой схеме. Когда LCMV (голубой) ввели нормальным взрослым мышам, животные не заболели (1); зараженные клетки были уничтожены Т-киллерами. У новорожденных мышей введение вируса вызывает персистентную инфекцию (2), поскольку, во-первых, незрелые лимфоциты не способны справиться с вирусом и, во-вторых, часть лимфоцитов поражается им. Если ввести вирус, выделенный из зараженных лимфоцитов, взрослым здоровым животным, у тех возникает персистентная инфекция (3); в результате мутации возник вариант LCMV (красный), способный заражать лимфоциты и подавлять их активность. Мыши с персистентной инфекцией, если им ввести незараженные LCMV-специфические Т-киллеры (зеленые), выделенные у мышей, иммунизированных LCMV (4), избавляются от вируса.

нам не удалось выявить участок вирусного генома, обуславливающий заболевание.

ТАКИМ образом, было обнаружено явление персистентной вирусной инфекции, которая протекает без видимого повреждения зараженных клеток, но вызывает гормональный дефицит. Оставалось неясным, имеем мы дело со специфическим поражением гипофиза или это явление более общее и может захватывать различные системы организма — другие железы внутренней секреции, нервную и иммунную системы. Вскоре мы убедились, что такое течение вирусной инфекции довольно распространено. У определенной линии мышей LCMV избирательно поражает клетки островков Лангерганса поджелудочной железы. В норме эти клетки секретируют гормон инсулин. У зараженных животных производство инсулина значительно снижено и развиваются признаки диабета. При этом под микроскопом зараженные клетки кажутся вполне нормальными и в ткани не заметно признаков воспаления. Проведенные нами исследования показали, что вирус способен вызывать персистентную инфекцию клеток островков Лангерганса, что приводит к морфологическим и биохимическим проявлениям, похожим на клиническую картину сахарного диабета у взрослых людей.

Сходные результаты мы получили также для эпителиальных клеток щитовидной железы и для нейронов. Л. Клавинскис из Скриппсовской клиники обнаружила, что при персистентной инфекции LCMV в клетках эпителия щитовидной железы нарушается секреция гормонов. При этом морфологических признаков повреждения клеток нет, но понижен уровень в крови двух гормонов щитовидной железы — трийодтиронина и тироксина, а в самих клетках содержится аномально мало мРНК, кодирующей белок тиреоглобулин, входящий в состав обоих гормонов. У. Липкин (также из Скриппсовской клиники) показал, что LCMV заражает нейроны, синтезирующие нейропептид соматостатин, а нейроны, синтезирующие холецистокинин или γ -аминомасляную кислоту, не затрагиваются. В пораженных нейронах не наблюдается признаков повреждения, но содержание мРНК соматостатина значительно меньше нормального. Содержание мРНК холецистокинина и γ -аминомасляной кислоты у зараженных животных не снижается.

В дальнейшем были обнаружены и другие вирусы как человека, так и животных, способные вызывать перси-



ВИРУСНЫЙ БЕЛОК выявляется на радиоавтографе продольного среза мыши с персистой инфекцией LCMV (слева). Вирус концентрируется в мозгу, печени, селезенке и почках. Второму животному с персистой инфекцией ввели Т-киллеры от мышей, иммунизированных LCMV. Че-

рез 21 день после этого в его организме практически не осталось вирусных белков (справа) и вирусный антиген выявлялся только в почках, где скопились комплексы вирусных частиц и вирус-специфических антител, а также в мозге, где он исчез еще через 40 дней.

стентную инфекцию различных систем органов, сопровождающуюся нарушением специализированных клеточных функций.

ЧТОБЫ установилась персистентная инфекция, вирус должен обладать способностью ускользать от защитного действия иммунной системы организма. Многие вирусы заражают лимфоциты и макрофаги (макрофаги — это клетки иммунной системы, поглощающие поврежденные клетки и чужеродные частицы.) Поражение этих клеток может играть роль в распространении инфекции в организме, в латентном состоянии вируса, его сохранении и передаче незараженным особям. В частности, мы полагаем, что инфекцией лимфоцитов объясняется избирательная иммуносупрессия, которой сопровождается персистентная вирусная инфекция.

В норме, когда животное подвергается острой инфекции LCMV, вирусные частицы атакуются вирус-специфическими цитотоксическими Т-лим-

фоцитами, называемыми также Т-киллерами (от англ. kill — убивать). Такие клетки узнают и разрушают вирусные частицы, если они связаны на поверхности клетки с особыми гликопротеинами — белками главного комплекса гистосовместимости (МНС — от англ. Major Histocompatibility Complex); эти белки определяют иммунологическую индивидуальность организма. Каждый Т-киллер опознает только один определенный вирусный антиген в комплексе с определенным белком МНС. Например, Т-киллеры, специфичные к клеткам, зараженным LCMV и несущим определенные белки МНС, не убивают ни клетки с тем же типом МНС, но зараженные другим вирусом, ни клетки с другим типом МНС, зараженные LCMV. Именно Т-киллеры в первую очередь отвечают за разрушение зараженных вирусом клеток, ограничивая таким образом распространение инфекции в организме.

Если же иммунная система ослаблена, наблюдается существенно иная

картина. У мышей, иммунная система которых подавлена рентгеновским облучением или иммуносупрессивными препаратами, инъекция LCMV вызывает персистентную инфекцию. То же происходит у новорожденных мышей, у которых незрелая иммунная система не способна справиться с вирусом.

Мы исследовали лимфоциты мышей с персистой инфекцией LCMV и обнаружили, что инфекционный вирус и вирусные гены содержатся лишь в немногих лимфоцитах. Поскольку выделенный из них вирус был способен заражать лимфоциты и, судя по всему, подавлял иммунный ответ, приходилось предположить, что он отличается от исходного вируса, введенного животным. Р. Ахмед и я решили проверить это и получили удивительные результаты: вирус, выделенный из лимфоцитов зараженных мышей, обладал четко выраженной способностью вызывать персистентную инфекцию у взрослых животных. Поскольку у мышей, кото-

ВИРУС И ХОЗЯИН	КЛЕТКИ-МИШЕНИ	СИНДРОМ
LCMV У МЫШИ	КЛЕТКИ ГИПОФИЗА	ДЕФИЦИТ ГОРМОНА РОСТА, ЗАДЕРЖКА РОСТА, ГИПОГЛИКЕМИЯ
LCMV У МЫШИ	Т-ХЕЛПЕРЫ, Т-КИЛЛЕРЫ	ИЗБИРАТЕЛЬНАЯ ИММУНОСУПРЕССИЯ
LCMV У МЫШИ	Фолликулярные клетки щитовидной железы	ГИПОТИРЕОЗ
LCMV У МЫШИ	β -клетки поджелудочной железы	ДИАБЕТ
LCMV У МЫШИ	нейроны	Пониженный уровень соматостатина
ВИРУС ЧУМЫ СОБАЧЬИХ У МЫШИ	НЕИЗВЕСТНЫ	ОЖИРЕНИЕ, ПОНИЖЕННЫЙ УРОВЕНЬ НОРАДРЕНАЛИНА И ДОФАМИНА
РЕКОМБИНАНТНЫЙ ВИРУС, ВЫЗЫВАЮЩИЙ ОБРАЗОВАНИЕ ФОКУСОВ В КУЛЬТУРЕ КЛЕТОК НОРКИ, У МЫШИ	НЕИЗВЕСТНЫ	ДЕФОРМАЦИЯ ВИБРИСС
ВИРУС ВЕНЕСУЭЛЬСКОГО ЭНЦЕФАЛИТА ЛОШАДЕЙ У ХОМЯКА	β -клетки поджелудочной железы	ДИАБЕТ
ВИРУС ЛЕСА СЕМЛИКИ У МЫШИ	нейроны	ПОНИЖЕННЫЙ УРОВЕНЬ γ -АМИНОМАСЛЯНОЙ КИСЛОТЫ
ВИРУС БЕШЕНСТВА У МЫШИ	нейроны	НАРУШЕНИЕ КАРТИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА
КОКСАКИВИРУС В (ИЛИ ПОДОБНЫЕ ЕМУ НУКЛЕОТИДНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛИ) У ЧЕЛОВЕКА	КЛЕТКИ МИОКАРДА	СЕРДЕЧНОЕ ЗАБОЛЕВАНИЕ

СВЯЗЬ между персистентными вирусными инфекциями и специфическими аномалиями. Во всех случаях *in vivo* наблюдалось нарушение под действием вируса специальных клеточных функций без изменения жизненно важных.

рым вводили этот вирус, иммунная система изначально была интактной, следовало сделать вывод, что вирус, находящийся в лимфоцитах, является мутантным вариантом, способным избирательно подавлять направленный против него иммунный ответ. Мы полагаем, что вирус, вызвавший вначале персистентную инфекцию у животного с ослабленной иммунной системой, мог реплицироваться в клетках, и при этом возникли мутанты, способные подавлять активность Т-киллеров, специфичных к данному вирусу.

Мы сделали еще одно интересное наблюдение, которое может иметь значение для понимания механизмов подавления иммунной системы вирусами. В ходе поисков LCMV в организме мышей с персистентной инфекцией выяснилось, что только 2% лимфоцитов, в основном так называемые Т-хелперы (от англ. *help* — помощь), содержат вирусные гены. Из этих клеток лишь 2% (0,04% всех лимфоци-

тов) были инфекционными, т. е. вирус в них реплицировался. Значит, в большинстве лимфоцитов, зараженных LCMV, находились неполные, нереплицирующиеся варианты вируса. Отсюда следует, что для избирательного подавления иммунного ответа вирусу нужно вывести из строя совсем немного лимфоцитов. Для выполнения этой задачи полная репликация вируса не обязательна; неполные вирусные частицы также эффективно нарушают функционирование лимфоцитов. Этим LCMV очень напоминает вирус иммунодефицита человека, вызывающий СПИД.

КАКАЯ же мутация исходного вируса придает некоторым из его потомков способность подавлять иммунную систему? Чтобы ответить на этот вопрос, сотрудница нашей лаборатории М. Сальвата определила нуклеотидную последовательность РНК LCMV. Она установила, что в длинной молекуле РНК мутации про-

исходят в участке, кодирующем вирусную полимеразу (фермент, осуществляющий транскрипцию вирусной РНК), или в участке, кодирующем белок Z (обозначенный так за свое сходство со связывающимся с ДНК регуляторным белком, содержащим цинк и называемым по англ. *zink finger*), а также одновременно в обоих этих участках. Ахмед с коллегами определял локализацию мутации, обуславливающей иммуносупрессию, другим методом: производился обмен короткой и длинной РНК между иммуносупрессирующим и исходным вариантами LCMV. Он тоже показал, что эта мутация затрагивает длинную вирусную РНК.

На основании результатов этих экспериментов мы пришли к выводу о том, что измененные формы исходного LCMV реплицируются в лимфоцитах и прекращают размножение именно тех Т-киллеров, которые уничтожают клетки, зараженные данным вирусом. Таким образом, мутация обеспечивает переход инфекции LCMV в персистентное состояние, вследствие чего вирусные РНК и белки, а также инфекционные вирусные частицы накапливаются в крови и тканях зараженного организма. Механизмы подавления иммунной системы другими персистентными или латентными вирусами неизвестны, но весьма вероятно, что при инфекции такими патогенами, как вирус иммунодефицита человека, цитомегаловирус и вирус гепатита В, для которых характерно заражение лимфоцитов и влияние на их функционирование, разыгрываются сходные события.

Для лечения персистентных вирусных инфекций, возникающих вследствие ослабления иммунной защиты под действием вирусов, важно выяснить, возможно ли ликвидировать повреждения после падения защитных сил. Наши исследования LCMV указывают, что это действительно возможно. Мы вводили мышам с персистентной инфекцией LCMV специфичные к этому вирусу Т-киллеры, выделенные из селезенки здоровых животных с соответствующим типом МНС, которых предварительно иммунизировали против LCMV. В результате такой процедуры больные мыши практически полностью избавлялись от инфекции. Введенные им Т-киллеры уничтожали как инфекционный вирус, так и накопления вирусных РНК. Подобная цитоиммунотерапия может быть использована для прекращения и других персистентных инфекций, но в каждом случае необходимо вначале определить, какие клетки иммунной системы вирус вывел из строя.

НАКАПЛИВАЕТСЯ все больше данных, свидетельствующих о том, что такое же течение вирусной инфекции, какое мы наблюдали у мышей, может иметь место и у человека. М. Присс и его коллеги из Лондонского университета обнаружили, что после краснухи у некоторых детей задерживается рост и угнетается метаболизм глюкозы. Двух мальчиков с этими аномалиями удалось вылечить, восстановив нормальный уровень гормона роста. В числе осложнений, возникающих вследствие инфекции краснухи во внутриутробный период развития, в 20—30% случаев бывает диабет. Вирусы Коксаки и эпидемического паротита (свинки), а также цитомегаловирус могут вызывать острую инфекцию и повреждение клеток островков Лангерганса поджелудочной железы. Вирус паротита способен также поражать клетки щитовидной железы. Бывают ли эти инфекции персистентными, не установлено. Однако известно, что вирусы — возбудители таких распространенных детских инфекционных заболеваний, как корь, ветряная оспа и свинка, сохраняются в клетках центральной нервной системы переболевшего на протяжении всей его жизни.

Возможно, вирусы, способные вызывать персистентную инфекцию, участвуют в нарушении функционирования жизненно важных органов. На протяжении последних двух лет Л. Энчард с коллегами из Чаринг-Кросской больницы и Вестминстерской медицинской школы в Лондоне, а также Х.-П. Шультегис, П. Хофшайндер и их сотрудники из Мюнхенского университета собрали данные,

указывающие на связь между кардиомиопатией (это заболевание проявляется в значительном растяжении сердечной мышцы, сопровождается сердечной недостаточностью и часто заканчивается летальным исходом; в некоторых случаях показана трансплантация сердца) и присутствием в организме вирусов Коксаки и подобных им энтеровирусов. Из 70 обследованных больных кардиомиопатией у 30—50% в сердечной мышце были обнаружены нуклеокапсиды и белки этих вирусов. А в материале биопсии 40 человек, страдающих другими заболеваниями сердечной мышцы, вирусные компоненты выявлены не были.

Итак, многое говорит о существовании ранее не известного пути проявления патогенной активности вирусов. Коль скоро вирусы могут нарушать производство гормонов и нейромедиаторов, не исключено, что персистентные вирусные инфекции участвуют во многих болезнях человека. Разумно было бы оценивать любое нарушение специализированных функций нервных клеток, желез внутренней секреции и иммунной системы с точки зрения возможных инфекционных причин. Таких нарушений немало. Сюда можно отнести гормональные нарушения, например диабет взрослых, нервно-психические расстройства, а также аутоиммунные заболевания, такие как системная волчанка и рассеянный склероз. Пока нет оснований утверждать, что все эти болезни имеют вирусное происхождение. Но теперь при анализе причин заболеваний следовало бы отказаться от традиционных представлений о вирусной патологии.

Поскольку разнообразие чужеродных белков, с которыми может встретиться индивид, огромно, организму нужно множество различных Т-лимфоцитов, чтобы гарантировать связывание практически любого белка. Разнообразие специфичности Т-лимфоцитов достигается благодаря располагаящимся на поверхности этих клеток рецепторам. Молекулы рецепторов кодируются генами, состоящими из сегментов, которые могут быть соединены в различных сочетаниях. Обычно антиген (каким является всякий чужеродный белок) взаимодействует лишь с несколькими различными рецепторами Т-клеток, так что исходно только небольшая доля Т-лимфоцитов его связывает.

Недавно Дж. Капплер и Ф. Маррак с коллегами из Медицинского института Говарда Хьюза и Национального еврейского центра иммунологических и респираторных заболеваний в Денвере сообщили в журнале «Science», что им удалось идентифицировать новый тип антигенов, обладающих гораздо более широким спектром взаимодействия с Т-лимфоцитами. Эти антигены, обнаруженные у стафилококков (вероятно, они есть и у других бактерий), активируют сразу много различных Т-клеток, вызывая их размножение. Исследователи инкубировали 9 стафилококковых токсинов с человеческими Т-лимфоцитами нескольких классов, различающихся по субъединице рецептора, обозначаемой V_{β} . Оказалось, что каждый из этих токсинов реагирует с широким спектром Т-лимфоцитов — в противоположность обычным антигенам, которые активируют всего несколько различных Т-клеток.

Поскольку стафилококки вызывают токсический шок и пищевые отравления, Маррак предполагает, что симптомы этих и других патологических состояний, включая некоторые аутоиммунные заболевания, могут быть результатом воздействия на организм суперантигенов. Их эффект можно объяснить тем, что при одновременной активации множества Т-лимфоцитов эти клетки производят большое количество веществ, которые в низкой концентрации стимулируют иммунную систему, но в избытке вызывают жар и симптомы токсического шока. По мнению Капплера и его коллег, именно в рамках концепции суперантигенов можно объяснить подверженность некоторых людей определенным заболеваниям: поскольку у разных индивидов преобладают различные классы Т-лимфоцитов, их реакция на суперантигены неодинакова.

Наука и общество

Суперантигены

ТОКСИНЫ, выделяемые бактериями, могут быть виновниками многих неприятных и даже угрожающих жизни симптомов — сыпи, жара, дисбаланса водного обмена в тканях при синдроме токсического шока, а также тошноты и диареи, связанных с пищевым отравлением. Согласно последним данным, опасное действие некоторых мощных бактериальных токсинов обусловлено тем, что они слишком сильно стимулируют иммунную систему, а это создает почву для иммунологических нарушений.

В большинстве своем чужеродные белки вызывают тонко скоординиро-

ванный иммунный ответ, в инициации которого участвуют клетки, называемые Т-лимфоцитами. Когда эти клетки сталкиваются с молекулами чужеродного белка (которые должны быть представлены им другими стромальными клетками иммунной системы), те немногие из Т-лимфоцитов, которые связываются с данным белком, начинают размножаться. Таким образом, число одинаковых Т-лимфоцитов, связывающих определенный чужеродный белок, постепенно возрастает. Одни Т-лимфоциты убивают зараженные клетки, другие выделяют вещества, стимулирующие иные клетки иммунной системы, в том числе клетки, производящие антитела.

Спаривание у древесных сверчков

Пение у сверчков — это прелюдия к удивительному комплексу поведенческих реакций, связанных с размножением

ДЕЙВИД Х. ФАНК

С КОНЦА августа и до начала октября каждую ночь леса и поля по всей Америке наполняются мелодичными трелями сверчков и кузнечиков. Эти звуки служат нам предвестием окончания лета и наступления осени, а в то же время они приятное напоминание о том, что в природе все живет и процветает. Для энтомолога многоголосое пение ночных насекомых означает, что у них начался процесс ухаживания и вместе с ним интенсивная конкуренция самцов за самок.

Самыми неутомимыми и привлекающими наибольшее внимание ночными певцами являются представители подсемейства древесных сверчков *Oecanthinae*, называемые также стеблевыми сверчками. Хотя они входят в то же самое семейство *Gryllidae*, что и более известные черные полевые сверчки, древесные сверчки мельче (размер взрослых особей варьирует от 1,2 до 2,4 см) и светлее по окраске — от бледно-зеленой до желтоватой. Кроме того, они, как отражено в их названии, большей частью обитают на деревьях и высоких кустарниках — в отличие от полевых сверчков, живущих на земле.

Из известных в США 16 видов древесных сверчков наиболее полно мною изучены два вида: ширококрылый древесный сверчок *Oecanthus latipennis* и двухточечный древесный сверчок *Neoxabea bipunctata*. Оба вида обычны в полях на юго-востоке шт. Пенсильвания вблизи моего дома. У обоих видов самцы и самки спариваются многократно на протяжении репродуктивной фазы жизни, продолжающейся обычно 8—12 недель; ночью внимательный наблюдатель легко «поймает» ухаживающего самца в луч света от карманного фонарика.

Самцов легко отличить по форме передних крыльев, представляющих

собой надкрылья: они шире и содержат больше мембранного компонента, чем у самок. На покрывающем крыле имеется утолщенная жилка, называемая стридуляционной, которая действует наподобие напильника: когда верхнее крыло трется о нижнее, жесткий край которого выполняет роль скребка, возникает звук (см. статью: Ф. Хьюбер, Дж. Горсон, Акустическая коммуникация у сверчков, «В мире науки», 1986, № 2). «Поют» только самцы (как и у всех других сверчков и большинства кузнечиков); этими трелями, которые специфичны для каждого вида, они дают знать о своем присутствии сексуально восприимчивым самкам.

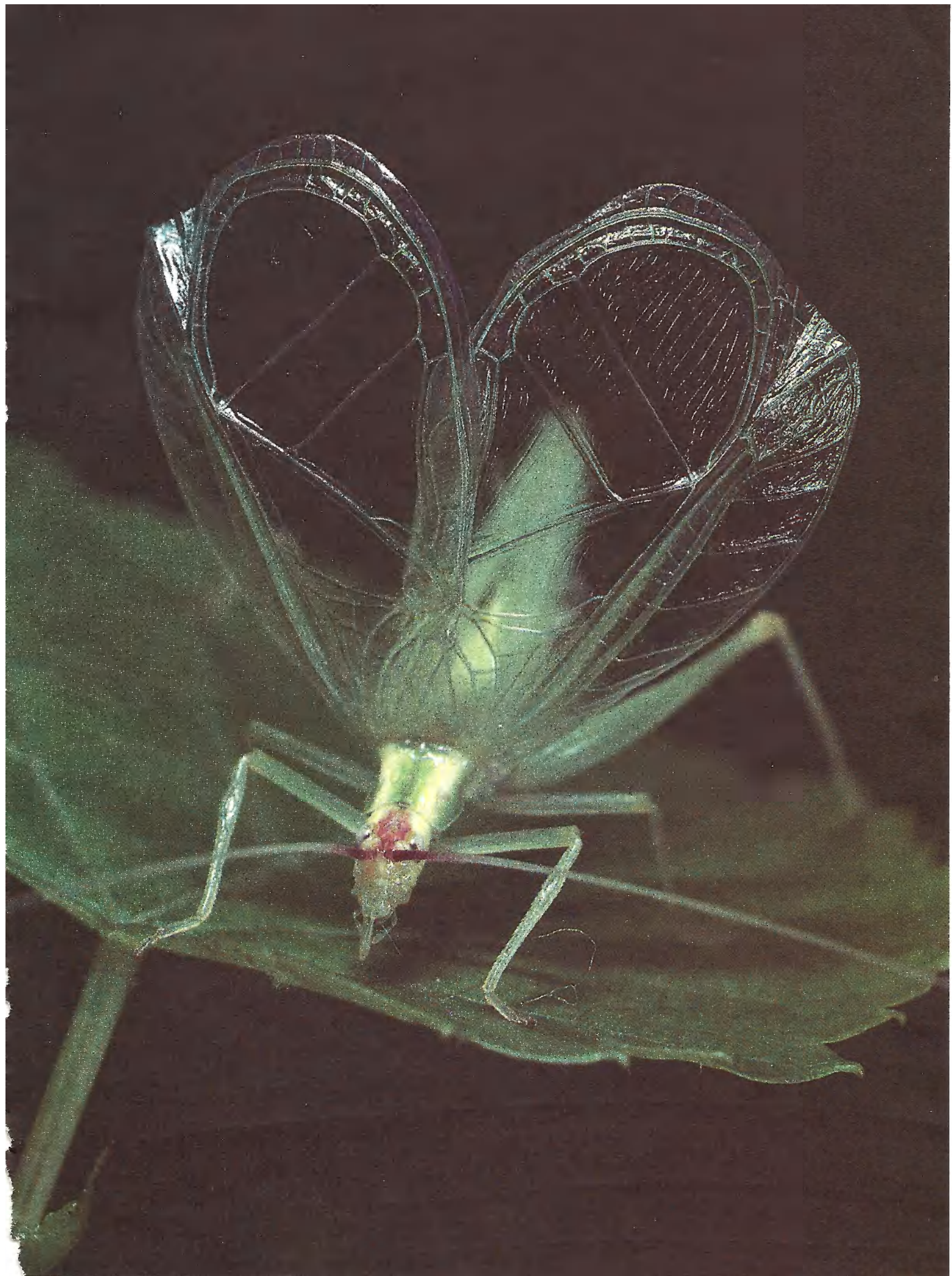
Восприимчивая самка приближается к самцу сзади, поскольку именно в этом направлении распространяется основная часть производимого крыльями звука. Как только самец почувствует присутствие приближающейся самки, он прекращает пение и поворачивается на 180°, чтобы потрогать ее своими антеннами. Принято считать, что таким образом самец проверяет, принадлежит ли самка к тому же виду, что и он, т. е. является ли она подходящим партнером для спаривания. Следующая стадия ухаживания включает сложный ритуал (несколько варьирующий у разных видов), в ходе которого самец вновь поет, а также совершает иные демонстрации, например раскачивается из стороны в сторону или ударяет брюшком по субстрату.

Если самка восприимчива к этой «увертюре», она забирается к самцу на спину и начинает поедать специальное вещество, секретируемое метаторакальными (среднегрудными) железами, расположенными вблизи участка груди, несущего крылья. Содержимое желез изливается в ямку, находящуюся у основания задних крыльев самца, где оно легко доступ-

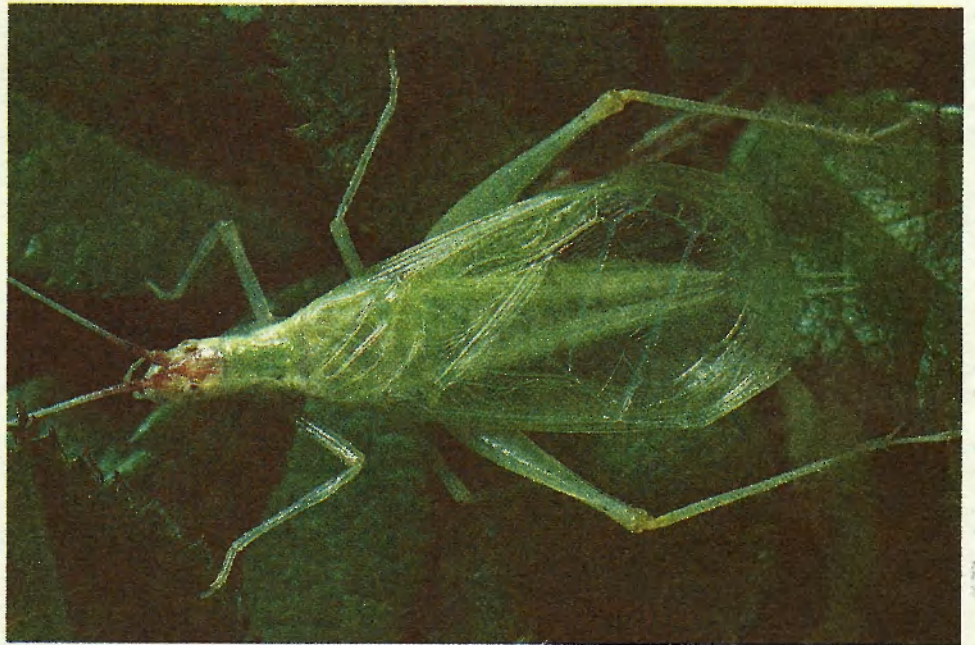
но для самки, занявшей положение готовности к спариванию. Химический анализ не проводился, но очевидно, что оно исключительно привлекательно для самок. Вскоре после начала поедания самка позволяет самцу спариться с ней.

У древесных сверчков, как у полевых сверчков и многих других насекомых, сперма помещается внутри богатой питательными веществами поллой сферы, называемой сперматофором. При спаривании сперматофор переходит из половых путей самца в совокупительную сумку, или влагалище, самки. Это перемещение занимает всего несколько секунд, но и после этого самка остается «верхом» на самце еще в течение 5-20 мин, продолжая поглощать вещество, секретируемое его метаторакальными железами. Когда же она кончает «питаться» и слезает, самец немедленно возобновляет активное ухаживание, принимая повторные попытки ползти под свою партнершу. В конце концов самка либо забирается к самцу на спину вновь, либо покидает его. Однако даже в том случае, когда спаривание не повторяется, обычно проходит еще 20 и более минут до тех пор, пока самка удалится совсем. За это время основная часть спермы переходит из сперматофора в сперматеку самки — орган для хранения спермы. Когда самка готова к откладке яиц, сперма освобождается из сперматеки и оплодотворяет яйца по мере их продвижения по яйцеводу.

САМЕЦ ДРЕВЕСНОГО СВЕРЧКА *Oecanthus latipennis* поет по ночам с августа по октябрь. Таким образом он дает знать о себе находящимся поблизости самкам. Звук возникает при трении передних крыльев одно о другое. Песня, состоящая из отдельных трелей, специфична для вида.



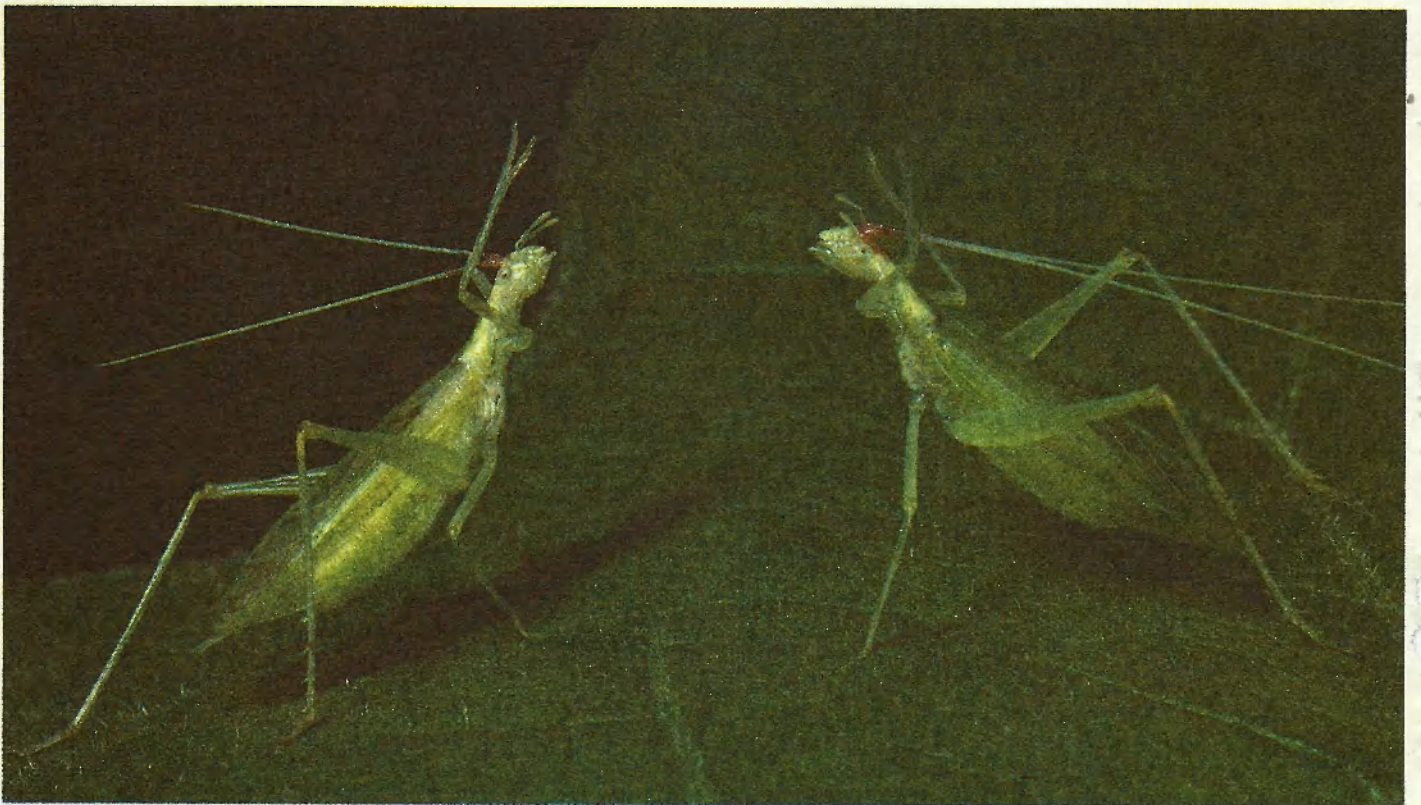
ПОЛОВОЙ ДИМОРФИЗМ характерен для древесных сверчков. Самцы (слева) обладают широкими крыльями, при трении которых одно о другое возникает звук. Самки (справа) не поют, и их узкие крылья прижаты к брюшку.



Строение сперматофора одинаково у большинства насекомых и других беспозвоночных, но сверчки отличаются тем, что у них после переноса сперматофора от самца к самке значительная его часть остается вне тела самки. Только тонкая нитевидная трубочка проникает в совокупительную сумку; а тело сперматофора — так называемый флакон — остается свободно свисающим снаружи полового отверстия самки. Подогнув брюшко вперед, самка легко может схватить сперматофор ротовыми частями и удалить его. Способность к такому действию очень важна, поскольку считается, что стенка сперматофора содержит питательные вещества, способствующие производству яиц. Самки сверчков всегда съедают сперматофор после копуляции, и даже самец съест свой собственный сперматофор, если ему не удастся передать его самке.

Наличие железистых выделений и наружное расположение сперматофора у древесных сверчков делают этих животных интересной моделью для изучения полового отбора. Предложенная впервые Чарлзом Дарвином в 1859 г. в его книге «О происхождении

видов» теория полового отбора (в отличие от более общей теории естественного отбора) пытается объяснить, почему существует множество морфологических и поведенческих различий между полами. Согласно формулировке Дарвина, половой отбор яв-



АГРЕССИВНЫЕ СТЫЧКИ между самцами происходят при конкуренции за самку. Их «борьба» представляет собой в основном ритуал и заключается в том, что самцы размахивают друг перед другом ногами. Иногда кончат-

ся тем, что кто-то из них просто уходит, оставляя самку сопернику, но часто один буквально спихивает другого с растения. (На этом снимке самка не видна.)



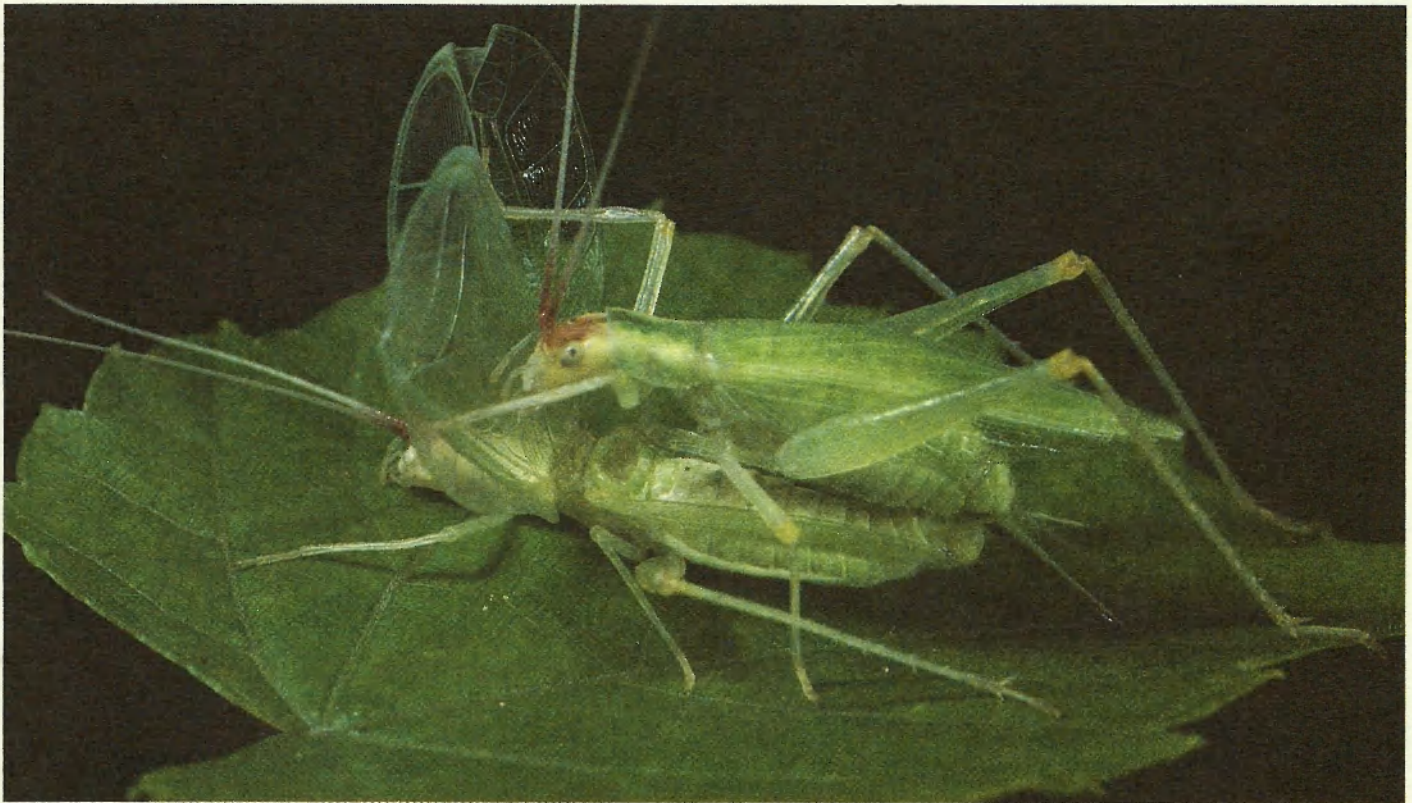
ляется следствием постоянно происходящей борьбы между самцами за обладание самками. В результате естественный отбор благоприятствует развитию таких признаков, как рога у оленей или красные гребни у петухов, которые делают самца физически бо-

лее конкурентоспособным, или увеличивают его привлекательность для самок, или обеспечивают и то и другое.

Концепция полового отбора в дальнейшем расширилась и детализировалась. Сейчас считается, что многие различия в поведении самок и самцов

связаны с размерами их гамет и с тем, сколь велик вклад каждого из родителей в потомство. Как правило, производство спермы поглощает относительно мало энергии, поскольку сперматозоиды содержат лишь генетический материал (в яйцеклетку же входит еще и запас питательных веществ). Поэтому продуктивность самца в значительной мере определяется его способностью оплодотворять множество самок. Самец может достичь своего максимального репродуктивного потенциала только путем спаривания с как можно большим числом самок, а в этом случае часто приходится конкурировать с другими самцами, иногда весьма активно. Напротив, самка производит обычно относительно немного яиц, и поскольку каждой яйцо представляет собой существенный энергетический вклад, с ее стороны максимальный репродуктивный потенциал может быть достигнут путем избирательного спаривания.

В результате у многих видов насекомых и других животных партнеры немедленно расходятся, как только ритуал ухаживания завершается осеменением самки. Эта стратегия, однако, отнюдь не универсальна, и она менее вероятна у тех видов, где самцы обеспечивают самок какими-то ресур-



САМКА, СПАРИВАЮЩАЯСЯ С САМЦОМ, располагается у него на спине, так что их гениталии смыкаются. Передача сперматофора, наполненного спермой (не виден), занимает несколько секунд. Во время и после спари-

вания самец держит свои крылья вертикально; в таком положении его метаторакальная ямка, из которой выделяется особый секрет, доступна для самки.



САМКА, ПОЛУЧИВШАЯ СПЕРМАТОФОР (его основная часть свисает на конце ее брюшка), отъединяет свои гениталии, но остается на самце в продолжение еще 20 или

более минут, поедая вещество, секретируемое метаторакальными железами у основания задних крыльев самца.



ВЫДЕЛЕНИЯ МЕТАТОРАКАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗ самца исключительно привлекательны для самки. Эти выделения скапливаются в особой ямке, находящейся в основании задних крыльев самца (слева), где они легко доступны для самки, когда та находится на спине самца. У сверчков (так же как у других насекомых) сперма помещается в



специальном мешке, называемом сперматофором (справа), который при спаривании передается самке. Внутри ее тела, однако, проникает только его нитевидная часть, через которую и проходит сперма; флакон, или основное тело сперматофора (его длина варьирует от 1 до 4 мм у разных видов), остается снаружи.

сами (обычно территорией, гнездовым участком или пищей), внося этим значительный вклад (помимо генетического) в репродуктивную отдачу самки. Действительно, у многих древесных сверчков, в том числе *O. latipennis* и *N. bipunctata*, партнеры не покидают друг друга тотчас после спаривания, а остаются вместе, пока самка ест секрет метаторакальных желез самца. Но почему же самец продолжает заниматься партнершей, которой уже передал сперматофор, тогда как мог бы потратить это время на других самок?

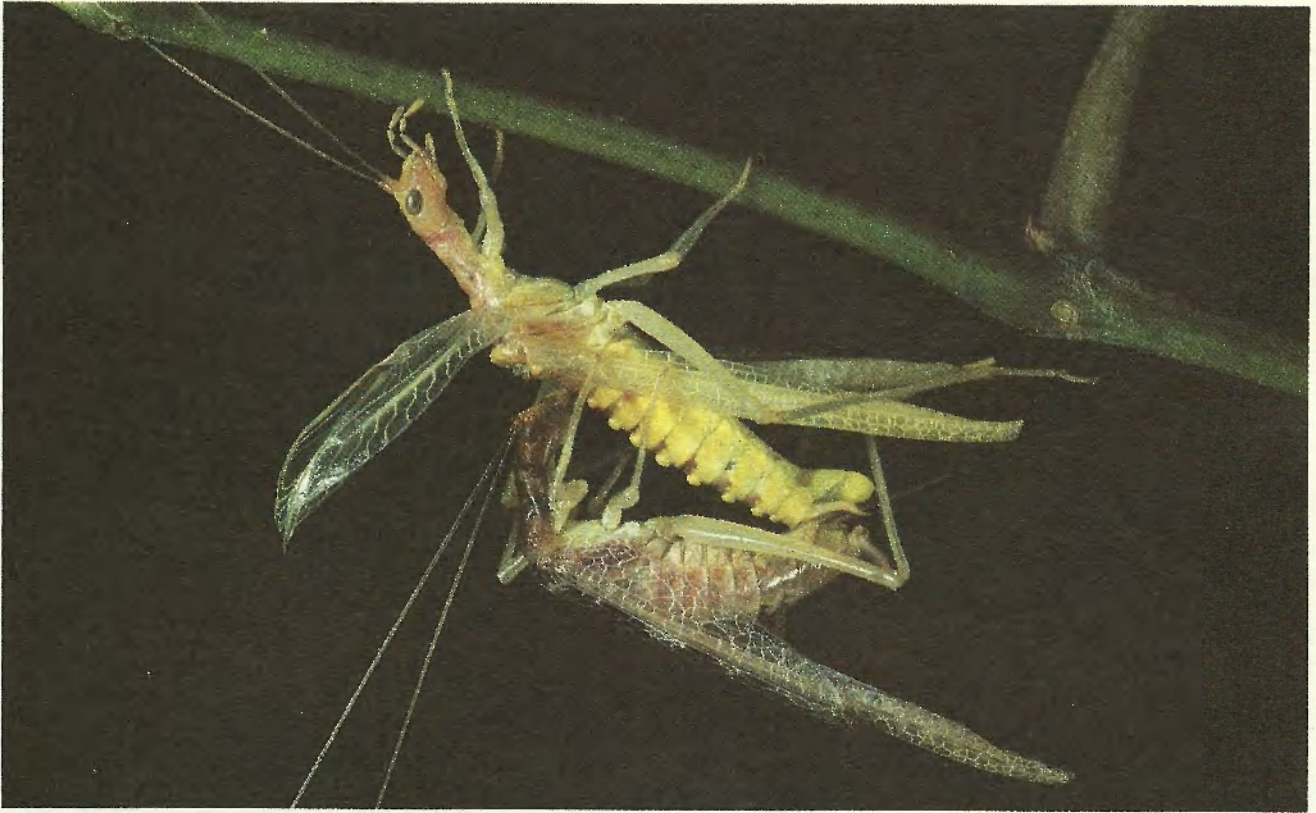
Хотя не было специальных исследований, которые бы показали, что вещество, выделяемое самцами, содержит ценные питательные компоненты, вполне вероятно, что оно необходимо самке для производства яиц. Предоставляя своей партнерше нужное ей питание, самец тем самым обеспечивает возможность откладки большего количества или более крупных яиц; этим он может эффективно увеличить свою собственную репродуктивную отдачу. Если даже секрет метаторакальных желез самца непосредственно не влияет на производство яиц самкой, ясно, что он выполняет другую важную функцию — отвлекает самку, чтобы она не удалила сперматофор до тех пор, пока он не освободится от своего содержимого.

Если самка удаляет сперматофор до того, как из него выйдет вся сперма, самец понапрасну теряет часть своего репродуктивного потенциала. Самка, спаривавшаяся ранее и потому уже имеющая в сперматеке достаточный запас спермы, возможно, иногда вступает в контакт с самцом только ради питательных веществ, содержащихся в его сперматофоре. В пользу этой гипотезы говорит тот факт, что многие самки стремятся удалить сперматофор, прежде чем он освободится от спермы. «С точки зрения» самца, спаривание без осеменения является потерей времени и энергии (в виде сперматофоров, секреторных выделений, а у некоторых видов — отдельных частей тела). Значит, отбор сильно благоприятствует самцам, которые любыми способами обеспечивают успешное осеменение.

Так, например, у *N. bipunctata* развилось приспособление, сводящее к минимуму возможность преждевременного ухода самки и таким образом повышающее репродуктивный потенциал самца. В дополнение к секреторным выделениям у самцов этого вида сформировалось поведение, мешающее самке покинуть партнера до того, как основная часть спермы перейдет из сперматофора в сперматеку. В процессе ухаживания самец подвешивает-



САМКИ ОТКЛАДЫВАЮТ яйца в стебли растений (вверху). Игольчатый яйцеклад (торчит из кончика брюшка) почти под прямым углом втыкается в губчатую ткань стебля. (У окончания брюшка видны еще два придатка, называемые церками; они выполняют сенсорную функцию и имеются у обоих полов.) У некоторых видов яйца откладываются рядами: самка вводит яйцеклад в стебель, откладывает яйцо, вытаскивает яйцеклад и вновь погружает его в стебель примерно на 1 мм ниже. На продольном срезе стебля видны 4 отверстия и 2 яйца (внизу: увеличение $\times 20$).



СПАРИВАНИЕ у двухточечного древесного сверчка *Neoxabea bipunctata* происходит в висячем положении «вверх ногами». При этом самец двигает своими задними ногами назад и вперед вдоль тела самки, чтобы помешать ей удалиться раньше, чем основная часть спермы перейдет из сперматофора в сперматеку.

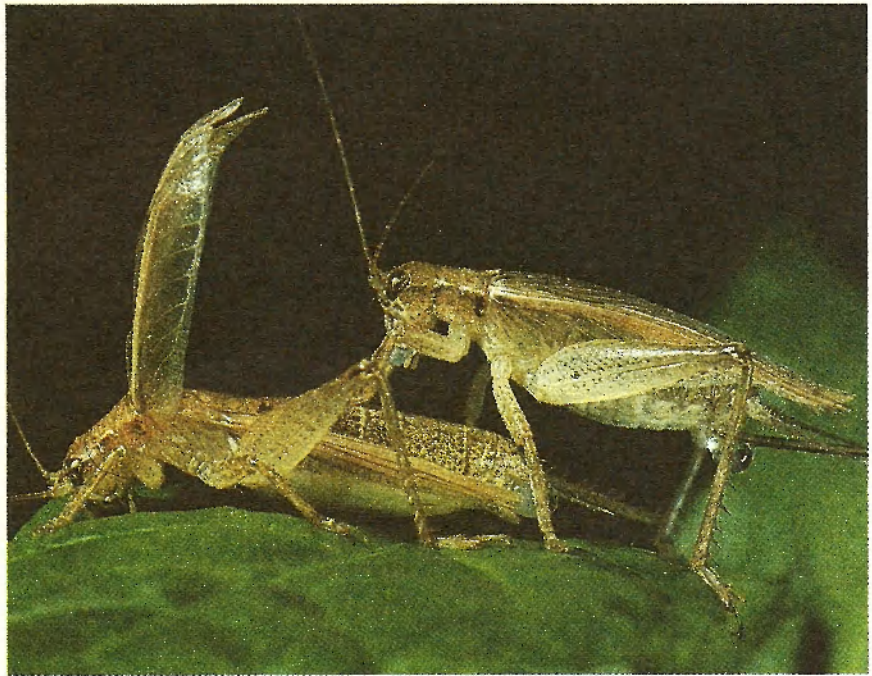


САМКА, покинувшая самца, тотчас загибает брюшко вперед, удаляет сперматофор ртом и съедает его. К этому времени основная часть содержимого сперматофора уже находится в ее сперматеке. По-видимому, сперматофор является источником питательных веществ.

ся вверх ногами на листьях или веточках деревьев и позволяет самке забраться на себя лишь тогда, когда он находится в таком положении. Как только самка окажется у самца на спине, тот опускает свои задние ноги, удерживаясь на дереве двумя передними парами ног. Задние ноги освобождаются для определенной цели: передавая самке сперматофор, самец начинает быстро раскачиваться, двигая задними ногами взад-вперед вдоль тела самки. Так может продолжаться до 45 мин, и все это время самка находится как бы внутри живой изгороди, создаваемой вокруг нее движущимися конечностями партнера. На этой фазе спаривающиеся пары двучерчатых сверчков очень хорошо заметны, и даже когда они находятся высоко на дереве, их легко обнаружить с помощью фонаря. В конце концов самец прекращает свои движения, самка слезает с него, после чего извлекает и съедает сперматофор.

У других видов сверчков возникли иные приспособления, мешающие самкам покидать своих партнеров прежде, чем содержимое сперматофора опорожнится в сперматеку. Так, Р. Александер из Мичиганского университета и Д. Отт из Академии естественных наук в Филадельфии обнаружили, что самцы неугомонного кустарникового сверчка *Hapithus agitator* (подсемейство Eneopterinae) удерживают внимание самки тем, что позволяют ей обгрызть свои передние крылья в течение примерно 10 мин, пока продолжается спаривание. У самцов вида *Orocharis saltator* того же подсемейства на протяжении одного полового акта образуется множество сперматофоров, иногда до 20 шт. Эти сперматофоры отличаются тем, что каждый содержит относительно мало спермы (примерно в 10 раз меньше, чем в типичном сперматофоре *Hapithus*).

Передача спермы у *Orocharis* напоминает работу конвейера. Получив первый сперматофор, самка немедленно покидает партнера и при этом протаскивает брюшко по листу, удаляя сперматофор, который она начинает есть. Через 1-2 мин самец, уже имеющий наготове следующий сперматофор, пытается спариться еще раз. Если самка благосклонна к такой попытке, она забираться на спину самца, продолжая поедать первый сперматофор, а самец в это время осеменяет ее следующим. Доев первый сперматофор, самка вновь покидает самца, удаляет второй сперматофор и принимается за него. Между тем самец, у которого уже готов и третий сперматофор, делает попытку нового спаривания. Вся эта последователь-



ПЕРЕДАЧА СПЕРМЫ у кустарникового сверчка *Orocharis saltator* напоминает работу конвейера. На этом снимке самка уже удалила первый сперматофор и поедает его. После того как самка удалила первый сперматофор, у самца образовался второй и он передал его самке, которая все еще ест первый. Между тем у самца готов уже третий сперматофор, который он передаст самке, как только она удалит и начнет есть второй.

ность повторяется много раз. Однажды я наблюдал пару сверчков, которая оставалась вместе на протяжении 3,5 ч, и за это время самец создавал непрерывный поток сперматофоров. Поскольку на поглощение одного сперматофора самке требуется около 9 мин, а сперма опорожняется в сперматеку всего за 4 мин, непрерывное производство сперматофоров у *Orocharis*, по-видимому, выполняет ту же функцию отвлечения самки, что и секрция метаторакальных желез у *Oecanthus*.

Множество разнообразных способов спаривания, наблюдаемое у сверчков, является, несомненно, следствием полового отбора. Это общее объяснение оставляет, однако, открытыми немало вопросов. Весьма интересно, в частности, сколь велик вклад самцов питательными веществами в производство яиц? Ясно, что секреторные выделения и сперматофоры помогают обеспечить осеменение самок, но способствуют ли они также увеличению численности потомства или повышению его жизнеспособности? По данным Д. Гвинна из Торонтского университета, у самцов некоторых видов кузнечиков образуется огромный сперматофор, достигающий 40% от веса тела. Такой сперматофор намного больше, чем это нужно только для осеменения самки; значительная его часть состоит из бога-

той питательными веществами оболочки, которая, съеденная самкой, способствует производству яиц. У других же видов сперматофор имеет лишь небольшую оболочку с питательными веществами. С. Сакалук из Университета шт. Иллинойс обнаружил, например, что у одного из видов сверчков оболочка сперматофора служит только для того, чтобы отвлекать самку в процессе осеменения.

Возможно, величина вклада одного самца отражает число партнеров, с которыми самка может спариться на протяжении своего репродуктивного периода. Если это число велико, а так оно и есть у многих сверчков, то запас питательных веществ, предоставленный данным самцом, может в итоге оказаться потрачен на потомство соперника. Поэтому у тех видов, у которых обычно множественное спаривание, отбор должен благоприятствовать самцам, дающим самкам лишь столько, сколько необходимо для осеменения.

Вопрос о вкладе самца питательными веществами в производство яиц самкой, конечно, интересен, и поиски ответа на него — важная задача будущих исследований. Однако это лишь один из многочисленных вопросов, которые начинают задавать энтомологи, интересующиеся проблемами полового отбора.

Метаморфоза обработки информации

Процессы преобразования отдельных фактов в систему знаний всё больше опираются на эффективные и нетривиальные средства параллельного программирования

ДЕЙВИД ГЕЛЕРНТЕР

ЕСЛИ бы Гюстав Эйфель жил в наше время, он работал бы в сфере программирования. Современное программирование — это тот же строительный материал, которым были чугун, сталь и железобетон в конце XIX—начале XX в. Оно является основным средством построения новых, прогрессивных структур. По мере развития вычислительной техники разработчики программ получают все более эффективные средства их реализации, которые в сочетании с новыми принципами конструирования программ позволяют применить нетрадиционные методы вычислений.

На фоне современной вычислительной техники резко выделяются системы программного обеспечения, которые представляют собой уже нечто большее, чем ускоряющие процессоры данных или мощные суммирующие машины, — они превращаются в автоматизированные «обогащательные» фабрики, способные производить крупномасштабные преобразования разрозненных фактов в систему знаний. Подобные информационно-обогащательные программы могли бы превращать данные низкого уровня, описывающие, скажем, состояние здоровья пациента, работу транспортной сети или фабрики, в высокоуровневые данные в виде обобщенных отчетов. На основании информации, содержащейся в электронных картотеках, они могли бы составлять обзоры по определенной теме (истории болезни пациентов, сводные данные о диких растениях или об автомобильных авариях).

Такое направление в развитии методов обработки информации тесно связано с возрастающей ролью принципа параллелизма в информатике и вычислительной технике. Устройства для параллельных вычислений, состоящие из многих «подкомпьютеров», размещенных в едином корпусе, значительно повысили вычислительные мощности доступных пользователю средств. Параллельное программное

обеспечение позволяет в полной мере задействовать эти средства и нередко предлагает нетривиальное и удачное решение многих сложных задач обработки информации.

Компьютерная программа — это своего рода машина. Такая аналогия является хорошей отправной точкой для понимания той важной роли, которую играет параллельное программное обеспечение. Программа представляет собой машину для преобразования информации, так же, например, как кузнечный пресс, который является машиной для преобразования материалов: закладывая стальной предмет (или информацию) одной формы, получаем стальной предмет другой формы. Обычно программы рассматриваются как списки инструкций, указывающих компьютеру, что делать, однако такое понимание мало о чем говорит; с таким же успехом книгу можно считать не более чем краской и бумагой. Программные машины сами состоят из того же материала, который они преобразуют, — из информации, закодированной в виде чисел и символов. Декодирует эту информацию и выполняет требуемые действия уже материальная часть компьютеров.

Представление о программе как о машине — это ключ к новым принципам программирования, основанным не на традиционном последовательном, а на параллельном выполнении операций. Обычные методы программирования допускают в каждый момент времени совершение лишь одного действия. Однако большинство машин выполняет сразу много операций в параллель. Так, система стереопроектирования одновременно вращает компакт-диск, детектирует записанные на нем цифровые коды, преобразует цифровые сигналы в аналоговые, усиливает аналоговые сигналы и преобразует электрическую энергию в звуковую. Параллельные программные машины (хотя это название, может быть, звучит несколько экзотически) по своим свойствам ближе к

«реальным» машинам, чем традиционные компьютерные программы.

Параллельные программные машины вместе с мощными параллельными компьютерами, на которых они реализуются, открывают широкие перспективы для новых видов программ, позволяющих решать задачи, ранее не поддающиеся решению. Несмотря на все достижения в развитии вычислительной техники за последние 40 лет в области методологии расчетов и обработки данных, она пока мало помогает в преобразовании информации в таком виде, при котором числа или сигналы можно было бы превратить в полезные знания.

Не только мы, но и специалисты из других научных центров исследовали ряд подходов к построению систем, способных «обогащать» информацию. Наиболее перспективными представляются два вида машин: информационный фильтр, преобразующий входной поток данных в знания более высокого уровня, и «интеллектуальная» база данных, выделяющая наиболее значимые для потребителя сведения из описаний многих сходных объектов или событий.

Характерным примером информационного фильтра является «наблюдатель транспортной системы». Такая машина могла бы собирать миллионы незначительных фактов, описывающих работу транспортной системы в каждый момент времени, и преобразовывать их в форму, удобную для всякого пассажира. Она могла бы отвечать на вопросы типа: каким путем сегодня лучше добираться до работы, каков оптимальный маршрут через город для грузовиков дальнего следования, куда направить машину для буксировки, какой мост имеет наибольшую вероятность обрушиться? Программное обеспечение для подобных целей пока применяется в очень малых масштабах.

Аналогичная машина могла бы фильтровать данные, поступающие от датчиков и персонала реанимационного отделения, чтобы обнару-

жить у больного опасные симптомы, прежде чем наступит кризисная ситуация. Таким образом можно следить за любой сложной, быстро меняющейся системой — будь то автомашина, фабрика, нефтяной танкер или государственная экономика.

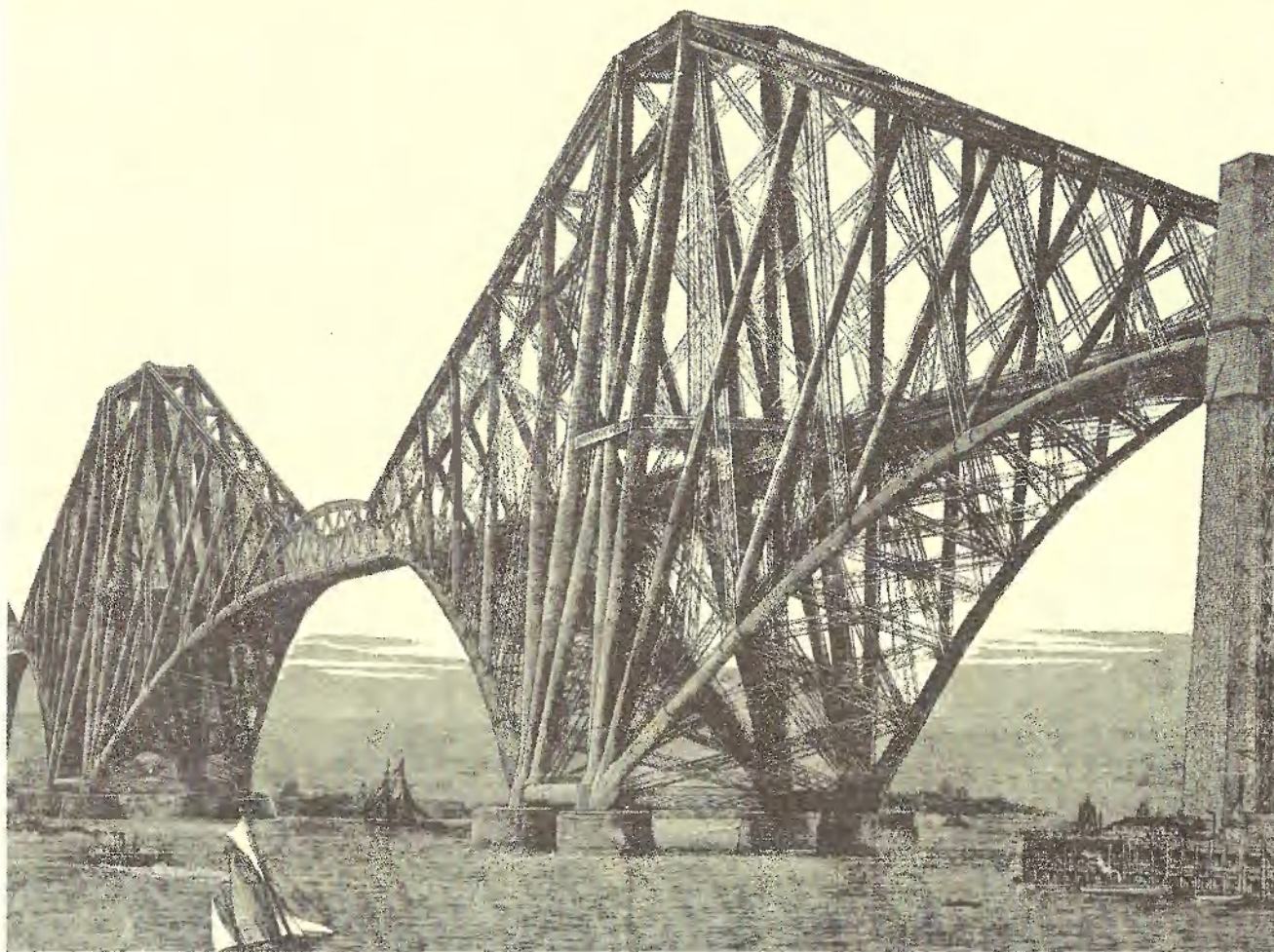
Интеллектуальная база данных могла бы работать с уже существующими базами информации. На основании имеющегося описания какого-нибудь объекта или события (скажем, рентгенограмма грудной клетки пациента или финансового отчета какого-нибудь делового учреждения) такая система могла бы всесторонне проанализировать любую ситуацию с учетом результатов, уже записанных для тысяч или даже миллионов подобных ситуаций. Для этого база данных должна извлечь из своих файлов те записи, которые имеют особенно близкое отношение к рассматриваемому вопросу. На любом рабочем месте временно могла бы разме-

ститься «интеллектуальная» библиотека, обеспечивающая доступ к новейшим материалам во всех концах света. Пользуясь ею, уже не пришлось бы делать запросы типа «найти все объекты по данному списку ключевых слов. . .», а сразу запросить: «представьте все сведения об Оливере Норте» (офицере, замешанном в скандальной истории, получившей название «ирангейта». — *Перев.*). В настоящее время существуют лишь простейшие прототипы систем подобного рода. В базах данных, содержащих тексты новых журнальных статей, всевозможной технической литературы и других документов, сведения, которые можно было бы преобразовать в ценную информацию, используются мало или просто лежат мертвым грузом.

Но даже если бы уже существовали развитые программные средства преобразования информации, большинство современных компьютеров не

смогли бы эффективно их реализовать, поскольку они обладают слишком низким быстродействием. На сегодняшний день компьютеры могут либо подвергать большие наборы данных простой обработке (выписывая, скажем, миллионы счетов за телефонные переговоры), либо производить сложную обработку данных небольшого объема (например, строить изображение страницы для лазерного принтера). Сложная обработка больших объемов данных может потребовать многих недель или даже месяцев.

Хотя с появлением параллельных компьютеров, обладающих большей вычислительной мощностью, положение дел в рассматриваемой области несколько улучшилось, остается нерешенной более важная проблема: создание развитого программного обеспечения для преобразования информации, что является чрезвычайно трудной задачей. Для разработки та-



ПЕРЕДОВАЯ ТЕХНИКА XIX в. создавала сооружения из чугуна или стали, такие, например, как мост Форт-Бридж неподалеку от Эдинбурга. Сейчас основным материалом для сооружения прогрессивных структур — это программы. Хотя строительный материал изменился, многие

принципы строительства остались теми же: сложные системы строятся из множества относительно простых элементов, а внутренние детали конструкции отдельных элементов не должны влиять на конструкцию других узлов или на все сооружение в целом.

ких информационных систем лишь немногие организации располагают необходимыми временем и средствами, и еще меньше — квалифицированными специалистами. Большинство разработок, предпринимавшихся в университетах и других научных центрах, ввиду недостатка ресурсов не завершилось созданием законченных, широко используемых систем; в лучшем случае были созданы лишь прототипы. Не исключено, что в конце концов чтобы создать необходимые для США мощные средства переработки информации, потребуются специальное министерство государственных программных разработок.

РАЗРАБОТКА параллельных программ любого вида — это новая область (как, впрочем, и разработка любого нового программного обеспечения). Конкурирующие подходы к решению этой задачи различаются требованиями, предъявляемыми к

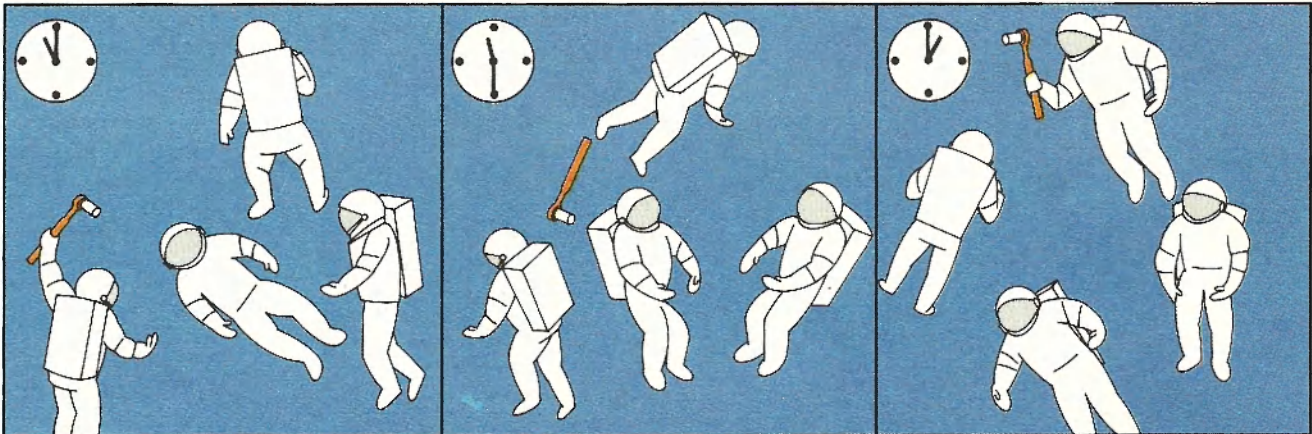
программисту, и предоставляемыми возможностями. Наиболее консервативный подход заключается в создании специальных «параллелизирующих» компиляторов, т. е. таких программ, которые автоматически преобразуют и приспособляют ее к параллельному режиму. Такой подход привлекателен тем, что позволяет перекладывать старые программы при минимальных затратах труда, но в то же время он применим для ограниченного класса программ и с его помощью можно добиться лишь незначительного повышения быстродействия. Большинство исследователей считают, что автоматические трансляторы, реализуемые на компьютерах со многими процессорами, не могут успешно соревноваться с программистами.

Другой подход связан с расширением возможностей более или менее традиционных языков программирования, так чтобы некоторые опера-

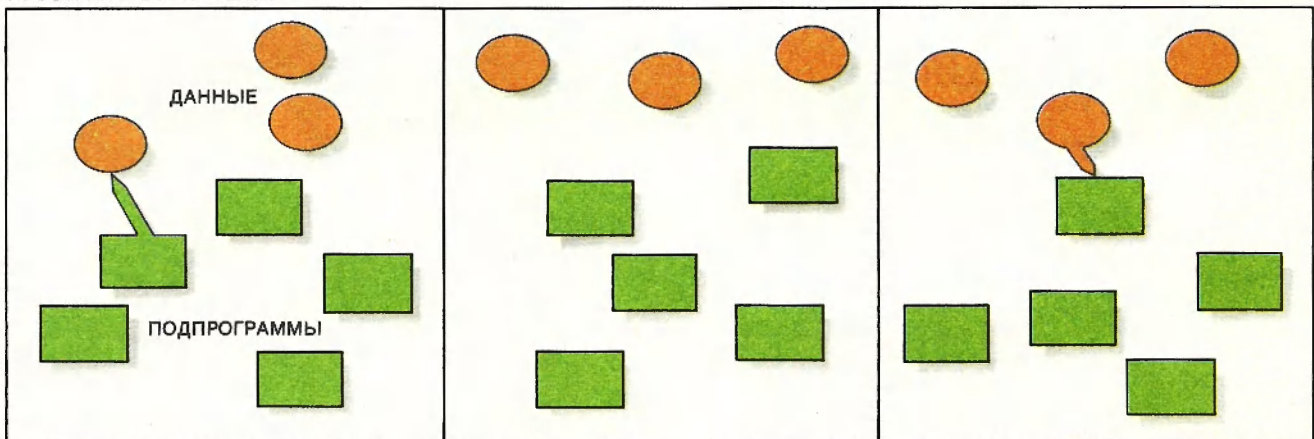
ции можно было выполнять сразу со многими элементами данных. Например, одновременно изменить все элементы списка или просмотреть все записи базы данных и найти записи, удовлетворяющие определенному критерию. Такой подход позволяет программистам заменять итерации (многократное выполнение одного и того же набора инструкций с различными элементами данных) параллельно выполняющимися программами. Однако при этом подходе не предусматривалась реализация широко распространенного случая, а именно выполнения многих взаимосвязанных, но различных операций в одно и то же время. Такая возможность весьма важна при построении сложных систем переработки информации.

Нашей группой в Йельском университете была разработана система параллельного программирования «Линда», ориентированная на решение общей проблемы координации:

ОТКРЫТЫЙ КОСМОС



ПРОСТРАНСТВО КОРТЕЖЕЙ



КОММУНИКАЦИИ между взаимодействующими подпрограммами в модели параллельного программирования «Линда» анонимны и не замкнуты. Порции данных, называемые кортежами, создаются одной подпрограммой и позже могут считываться или обрабатываться любой другой подпрограммой. Характер коммуникаций «Линды» можно уподобить работе бригады космонавтов при сооружении

орбитальной станции. Закончив работу с инструментом, космонавт оставляет его в пределах досягаемости любого другого космонавта. Ни отдающий, ни получающий не обязательно должны знать, кто после них будет пользоваться или кто до них пользовался этим инструментом. Система «Линда» была разработана автором статьи совместно с Н. Карриером, также из Йельского университета.

как строить большие программы из многих одновременно выполняющихся меньших программ, независимо от того, что они собой представляют, и от языка, на котором они написаны. В системе «Линда» координация и вычисления — это два отдельных вопроса, имеющих равное значение и вместе определяющих проблему построения программной машины. Хотя в научных кругах имеются специалисты, которые все еще рассматривают «Линду» как некое отклонение от общепринятых подходов (а то и вовсе как ересь), число организаций, в которых она уже находит применение, постоянно растет.

В системе «Линда» координация осуществляется по принципу максимального упрощения процесса. Вместо того чтобы устанавливать хитрые пути коммуникаций между отдельными компонентами программной машины и вводить сложные протоколы, по которым две или более компоненты могут синхронизировать свои действия, «Линда» делает процесс коммуникации анонимным и незамкнутым. Компонента, генерирующая данные, не обязательно должна «знать», кто и когда ими воспользуется, а компонентам, которым требуются данные, не нужно «знать», кто их генерирует.

Чтобы лучше понять, как осуществляется координирование процессов в системе «Линда», представим себе бригаду космонавтов, сооружающих космическую станцию. Космонавт, которому больше не нужен гаечный ключ, отпускает его в «свободное плавание» в безвоздушном пространстве. Другой космонавт, которому в данный момент потребовался ключ, может протянуть руку и взять его. То же самое касается любого другого инструмента, а также действий, которые необходимо совершить, или каких-то других сведений, которыми могут совместно пользоваться несколько космонавтов. Тот, кто сам производит информацию, просто оставляет ее там, где любой нуждающийся может найти и воспользоваться ею. Каждый космонавт по отдельности может не знать, у кого сейчас находится понадобившееся ему средство или кому потребовался инструмент, которым он в данный момент пользуется. Они просто берут нужные инструменты или оставляют их там, где ими могут воспользоваться другие. Они не синхронизируют свои действия: гаечный ключ, оставленный одним космонавтом в 10 часов утра, может потребоваться другому только через три часа.

Гипотетические космонавты работают в физическом пространстве; программы системы «Линда» населя-

ют то, что мы называем «пространством кортежей» (под кортежем мы понимаем некую порцию данных). Пассивные кортежи представляют собой обычные данные, которые можно читать или обрабатывать. Активные кортежи — это подпрограммы, которые выполняются одновременно, поглощая и производя другие кортежи. Активные кортежи превращаются в пассивные, которые можно читать или обрабатывать, после того как завершилось их выполнение.

«ЛИНДА» и другие системы параллельного программирования служат как инструментом для построения крупных программных машин, так и необходимым материалом для этого построения. Каким образом могла бы выглядеть архитектура системы информационной переработки? Один из возможных вариантов — это машина с «доской для записей», сконструированная группой специалистов под руководством Л. Эрмана и В. Лессинга в Университете Карнеги—Меллона в процессе их новаторской работы по распознаванию речи. Архитектура этого типа допускает произвольное количество модулей, каждый из которых записывает свои результаты в общей области памяти, с тем чтобы ими могли воспользоваться другие модули. Системы информационной переработки могут быть также основаны на комбинировании простых правил и составлении сложных дедуктивных цепочек. Этот мощный метод был разработан в Станфордском университете Б. Букананом, Э. Фейгенбаумом, Э. Шортлиффом и их коллегами.

С нашей точки зрения, перспективной является архитектура в виде «решетки»: модули нижнего ряда соединены с внешними датчиками, модули второго, более высокого, ряда перерабатывают данные и устанавливают связи между различными элементами, третий ряд осуществляет дальнейшую переработку и т. д. Двусторонние коммуникации между рядами позволяют модулям низших уровней изменять характер своих действий в ответ на запросы или команды, поступающие от верхних уровней.

Мы построили прототип машины в виде такой решетки. Она предназначена для сбора и анализа данных о состоянии здоровья пациентов реанимационного отделения. Эта исследовательская система, разработанная в сотрудничестве с П. Миллером из отдела анестезиологии и медицинской информатики Йельского университета, должна помочь в поиске и отработке методов фильтрации и переработки информации. (Последняя версия ма-

шины была построена в основном М. Фэктором, существенный вклад в ее конструкцию внесли также А. Кон и Д. Ситтиг.) Программные модули нижнего уровня решетки осуществляют связь с устройствами, следящими за ритмом сердечных сокращений, температурой и давлением крови в различных точках тела и другими параметрами; модули следующих уровней концентрируют внимание на все более общих вопросах, касающихся состояния пациента. Модули уровня, непосредственно прилегающего к нижнему, определяют тенденции изменения или очевидный шум (ошибки датчиков) в поступающих данных; модули следующего уровня пытаются выявить простые закономерности, а модули, расположенные еще выше, ставят диагнозы с учетом наличия или отсутствия многих симптомов.

Модули самых высоких уровней машины оценивают вероятность того, что определенная гипотеза о наблюдаемых закономерностях или состоянии пациента действительно верна. Например, в ныне действующей системе оценка вероятности гиповолемии (низкого объема жидкости) зависит от оценки симптома «закупорки», которая в свою очередь зависит от сопротивления сосудов току жидкости, а оно оценивается по наблюдаемому кровяному давлению (такие данные получаются путем применения процедуры, называемой фильтрованием по Кальману, к обычным показаниям датчиков, фиксирующих кровяное давление).

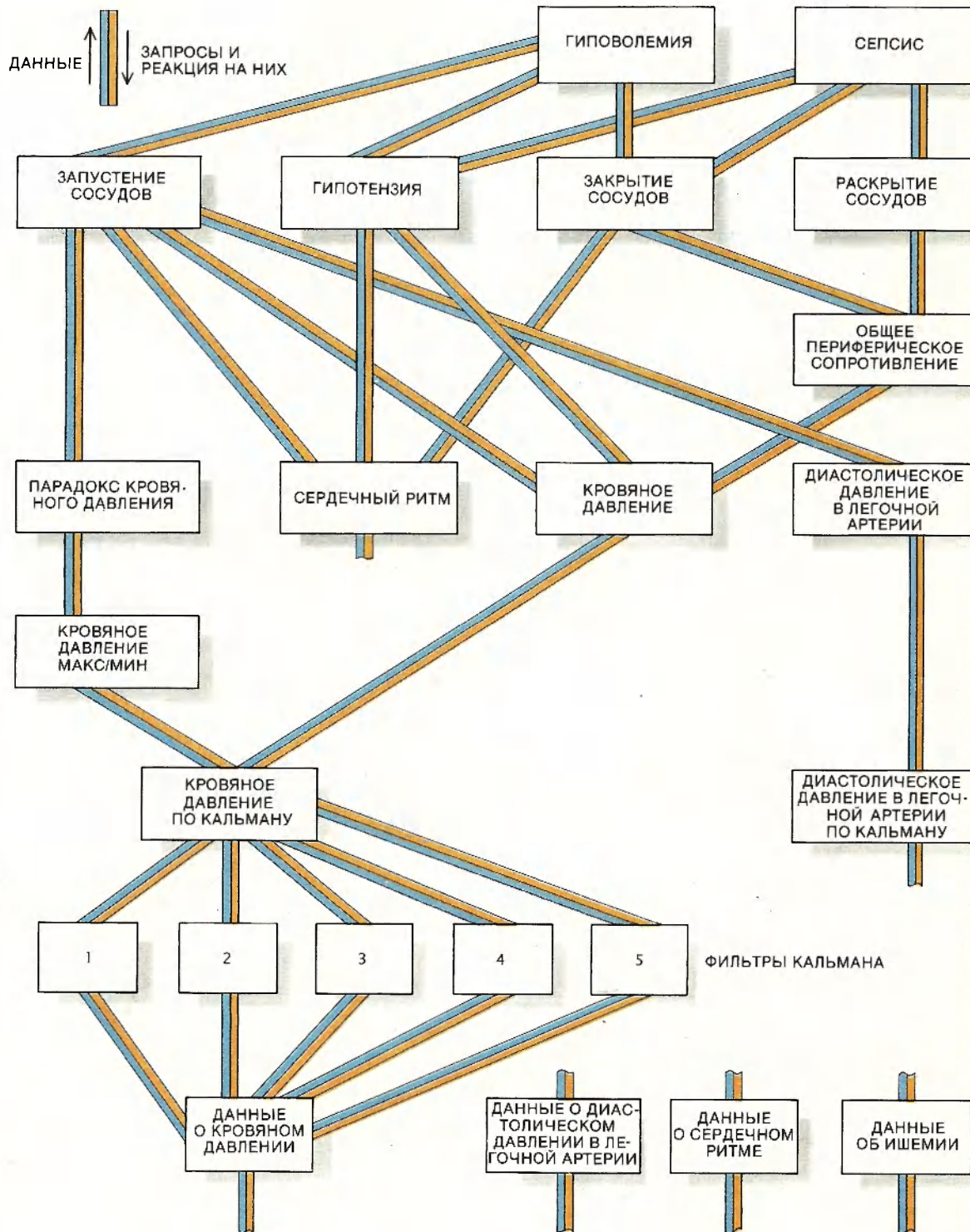
Образно говоря, каждый модуль высокого уровня имеет циферблат, стрелка которого пробегает показания от «определенно ошибочно» до «определенно правильно», включая также область, помеченную как «недостаточно данных». (К настоящему времени мы уже получили обнадеживающие результаты относительно построения модулей, которые способны оценивать получаемую информацию так же, как это делал бы врач, однако исследования, касающиеся процедуры подсчета самих вероятностей, еще не завершены.)

Данные протекают вверх от модуля к модулю по линиям связи, присутствующим в решетке. Когда новые данные, просочившиеся снизу, заставляют тот или иной модуль изменить свою оценку состояния пациента, он посылает новую информацию модулям следующего, более высокого уровня, которые в свою очередь пересматривают свои прежние выводы. Пользователи могут сделать запрос модулю, который еще не сформировал окончательного заключения. В этом случае он посылает запрос о дополнительной информации модулям

нижнего уровня по имеющимся линиям связи. Если дополнительную информацию можно найти (или сгенерировать), она будет послана вверх по решетке.

МАШИНА-решетка, в сущности, представляет собой комплекс параллельных программ. Все ее модули работают непрерывно и одновременно, работать по-другому они про-

сто не могут. Запустить один модуль, прогнать его, остановить, запустить другой модуль и т. д. — это значит неоправданно усложнить механизм. Параллельный режим также важен



МАШИНА-РЕШЕТКА, разработанная автором и его коллегами для наблюдения за состоянием пациентов реанимационного отделения. Датчики, расположенные в нижнем слое, посылают информацию (синий) вверх по иерархической структуре модулей, рассматривающих все более сложные гипотезы о состоянии пациента (стрелки указы-

вают направление связи между модулями). Модули верхних уровней могут посылать запросы и комментарии (желтый) на нижние уровни, с тем чтобы получить дополнительную информацию либо изменить действие нижнего модуля на основе гипотезы, возникшей на верхнем уровне.

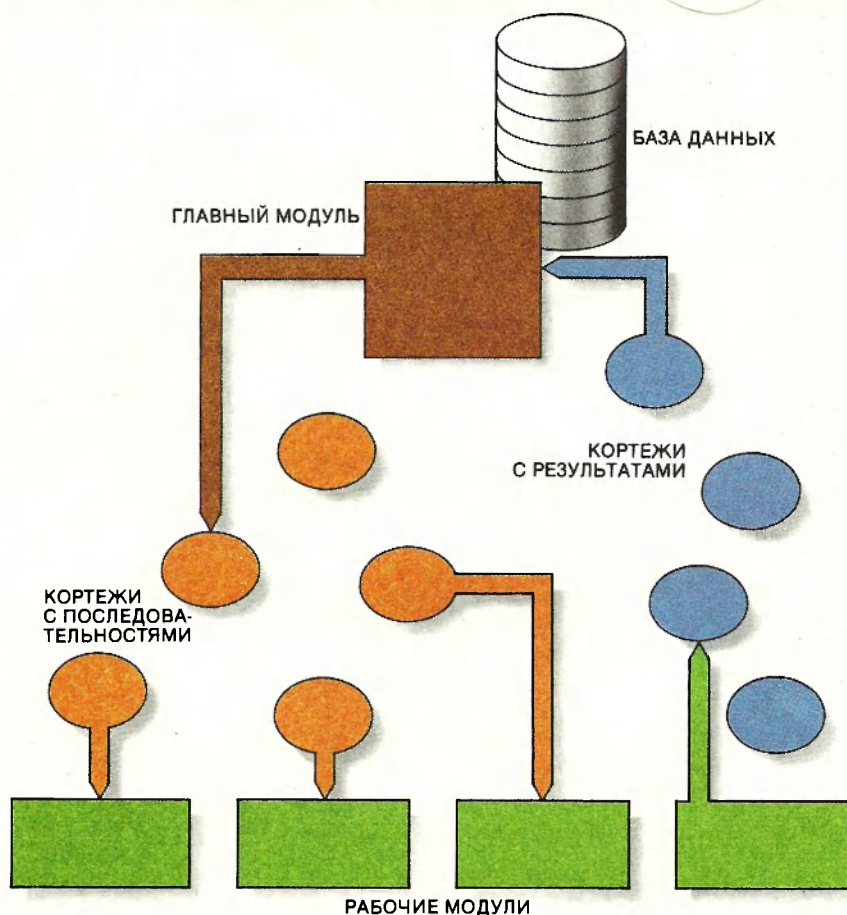
для машин, фильтрующих информацию, в частности таких, которые следят за состоянием пациента, потому что эти системы должны быстро реагировать и за короткое время успевать проделать значительный объем работы по анализу непрерывного потока данных. Параллельные компьютеры обеспечивают необходимые мощности для реализации построенной нами параллельной программной машины.

Решетка отличается от других типов архитектуры двумя главными характеристиками: она «прозрачна» и локально самостоятельна. Решетку можно назвать прозрачной потому, что функции каждого узла машины легко поддаются пониманию; структура соединений между модулями отражает структуру задачи, которую машина должна решать.

Благодаря этому свойству системы пользователь отдает себе ясный отчет в том, что может и чего не может делать решетка и каким образом ею лучше воспользоваться, так чтобы добиться наибольшего эффекта. Прозрачность — это важное свойство (которым часто пренебрегают) конструкции любой машины, и особенно это важно для сложных машин, работающих в напряженных условиях. Глядя на диаграмму, показывающую статус и соединения между элементами решетки, пользователь может, например, быстро установить, что машина анализирует два вида сердечной недостаточности (исключая при этом почечные заболевания) и что ее выводы о характере сердечной недостаточности зависят от информации об ишемии, показателей работы сердца и т. д.

Локальная самостоятельность означает, что для понимания любого отдельного модуля решетки нужно рассмотреть лишь его непосредственную окрестность, понимания же всей решетки в целом не требуется. Программистам, изменяющим модули или добавляющим новые модули к решетке, нужно понимать работу лишь тех модулей, с которыми новый модуль будет непосредственно связан. Можно сконструировать, собрать, проверить и ввести в эксплуатацию решетку, состоящую из тысяч или даже десятков тысяч модулей, хотя ни один программист не сможет понять действие машины в целом.

В окончательном виде система наблюдения за пациентами реанимационного отделения, по-видимому, будет состоять из нескольких сотен модулей. Другие решетки, такие как гипотетический наблюдатель за транспортной системой, возможно, будут еще больше. Начиная с модулей само-



МАШИНА МАССОВОГО ПОИСКА сопоставляет вновь найденную последовательность ДНК со всеми ранее известными последовательностями, хранящимися в базе данных. Главный модуль создает кортежи, содержащие известные последовательности; рабочие модули сравнивают их с новой последовательностью и генерируют кортежи, содержащие результаты сравнения. Затем главный модуль собирает кортежи, чтобы определить, какие из каталогизированных последовательностей обладают наибольшим сходством с новым образцом.

го низкого уровня, следящих за ситуацией на отдельных участках шоссе, железной дороги или взлетно-посадочной полосы аэродрома, и кончая модулями верхних эшелонов, отвечающих на сложные вопросы о транспортных альтернативах, решетка подобной системы наблюдения может состоять из миллиона или более узлов. Данные непрерывным потоком будут поступать на верхние уровни, в то время как тысячи запросов на новые данные с целью уточнения имеющихся сведений будут проходить через фильтры к модулям нижних уровней.

Где бы ни применялись машины типа «решетки», они всегда должны решать один и тот же основной вопрос — сопоставить новую последовательность с каждой последовательностью, уже значащейся в каталоге, и установить меру их сходства. Чем больше база данных, тем более длительным и дорогостоящим будет

поиск. Генетические базы данных уже сейчас велики и одна из целей исследований в молекулярной биологии заключается в том, чтобы сделать их еще больше. Эта проблема характерна, конечно, не только для биологии. Существует множество других примеров, как, скажем, поиск в каталогах химических реакций, идентификация изображений путем их сопоставления с имеющимися образцами или поиск в файлах данных по сложным поисковым критериям.

Нашей группой был построен прототип машины массового поиска для идентификации последовательностей ДНК. Он состоит из программных модулей двух типов: главного модуля, рассылающего данные для анализа, и произвольного числа рабочих модулей, выполняющих операции сравнения. По существу главный модуль выдает каждому исполнителю по одному искомому образцу (т. е. новой последовательности) и затем

ИНФОРМАЦИЯ О ПАЦИЕНТЕ	АНАЛИЗ И ВЫВОДЫ СИСТЕМЫ	КОММЕНТАРИИ																					
(ИД. 30) (ВОЗР. 42) (ПЛОТНОСТЬ ПОВЫШЕНА) (ГРАНИЦА ВЫРАЖЕНА? НЕТ)	<p>Выводы (УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОТОКА? НЕТ) (СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ? НЕТ)</p> <p>Анализ: ПЛОТНОСТЬ МЕНЯЛАСЬ? Предположение: МЕНЯЛАСЬ — напр. случ. ((ид. 14) (возр. 46) (диагноз инф. карцинома протока)) случ. ((ид. 20) (возр. 60) (диагноз инф. карцинома протока)) случ. ((ид. 50) (возр. 70) (диагноз инф. карцинома протока))</p> <p>Анализ: КОМЕТА? Предположение: ДА — напр. случ. 14 случ. ((ид. 40) (возр. 69) (диагноз инф. карцинома протока))</p>	<p>Хотя система не располагает информацией об изменении плотности в данном случае, она быстро находит несколько сходных случаев (все рак), в которых плотность опухоли, определяемая по рентгенограмме, увеличивалась со временем.</p> <p>Исходя из аналогичных случаев, система предполагает, что здесь должна наблюдаться «комета» (специфический ореол вокруг опухоли). Отсюда следует, что опухоль злокачественная.</p>																					
(КОНТУР БУГРИСТЫИ) (КОНТУР ОПРЕДЕЛЕННЫЙ? ДА)	<p>Выводы (ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ ОТЛОЖЕНИЕ ИЗВЕСТИ? НЕТ) (ВТЯГИВАНИЕ СОСКА? НЕТ)</p>	<p>По характеристикам границы опухоли на рентгеновском снимке выводит другие свойства, например когда нет втягивания соска, она заключает, что если опухоль злокачественная, то она либо находится в начальной стадии, либо далеко локализована от поверхности груди.</p>																					
(ПЛОТНОСТЬ МЕНЯЛАСЬ? НЕТ) (ЕСТЬ ОРЕОЛ? НЕТ)	<p>НЕТ — в данном контексте необычно см., напр. случ. 14 случ. 40</p>	<p>Сочетание этих двух признаков редко; первое предполагает доброкачественное новообразование, второе — злокачественное. Лишь в приведенных двух случаях на снимке также отсутствует ореол, но имеется то же сочетание остальных признаков.</p>																					
((ФОН — ПЛОТНОСТЬ ЖИРОВОЙ ТКАНИ) (СЛУЧАИ РАКА В СЕМЬЕ — НЕТ) (СЛУЧАИ РАКА В ТЕЧЕНИЕ ЖИЗНИ ПАЦИЕНТА — МИЕЛОМА)	<p>!! Никогда раньше не встречалось</p> <p>Ближайшие случаи в базе данных:</p> <table border="1" data-bbox="491 1294 954 1464"> <thead> <tr> <th>ИД</th> <th>Злокачественное?</th> <th>Диагноз</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>НЕТ</td> <td>ФИБРОАДЕНОМА</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>ДА</td> <td>КОЛЛОИДНЫЙ РАК</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>ДА</td> <td>КАРЦИНОМА ИНФ. ПРОТОКА</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>ДА</td> <td>МЕТАСТАЗИРУЮЩАЯ МЕЛАНОМА</td> </tr> <tr> <td>29</td> <td>НЕТ</td> <td>ФИБРОАДЕНОМА</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>НЕТ</td> <td>ФИБРОАДЕНОМА</td> </tr> </tbody> </table> <p>Анализ: ДИАГНОЗ Продолжение: ФИБРОАДЕНОМА Проверка предположения: В ТЕЧЕНИЕ ЖИЗНИ ПАЦИЕНТА БЫЛИ ОПУХОЛИ: ожидается НЕТ однако есть МИЕЛОМА. Предположение снимается.</p> <p>Анализ: ЗЛОКАЧЕСТВЕННОЕ? Предположение: ДА Проверка предположения ЕСТЬ ОРЕОЛ?: ожидается НЕТ Подтверждается.</p> <p>Предположение принимается.</p>	ИД	Злокачественное?	Диагноз	4	НЕТ	ФИБРОАДЕНОМА	6	ДА	КОЛЛОИДНЫЙ РАК	40	ДА	КАРЦИНОМА ИНФ. ПРОТОКА	16	ДА	МЕТАСТАЗИРУЮЩАЯ МЕЛАНОМА	29	НЕТ	ФИБРОАДЕНОМА	12	НЕТ	ФИБРОАДЕНОМА	<p>Миелома — очень редкая опухоль для молочной железы, поэтому неувидительно, что система никогда прежде не встречалась с ней.</p> <p>Система рассматривает другие случаи, сходные с данным. Три наиболее близкие — злокачественные (коллоидный рак, инфилтративная карцинома протока и метастазирующая меланома); остальные — доброкачественные.</p> <p>Основываясь на случаях с похожими характеристиками, система делает предположение, что наблюдаемая опухоль доброкачественная. Однако при доброкачественной опухоли естественно ожидать, что пациент ранее не наблюдался по поводу онкологических заболеваний. Найдя же запись в истории болезни, система снимает предполагаемый диагноз.</p> <p>Хотя система не может точно установить вид опухоли (никогда прежде не сталкивалась с плазмоцитомой), она все же способна определить, является ли опухоль злокачественной. Сравнение с аналогичными случаями и выводы из этих сравнений говорят о том что опухоль злокачественная. Предположение о диагнозе подтверждается отсутствием ореола (указывающего на доброкачественность новообразования) вокруг опухоли.</p>
ИД	Злокачественное?	Диагноз																					
4	НЕТ	ФИБРОАДЕНОМА																					
6	ДА	КОЛЛОИДНЫЙ РАК																					
40	ДА	КАРЦИНОМА ИНФ. ПРОТОКА																					
16	ДА	МЕТАСТАЗИРУЮЩАЯ МЕЛАНОМА																					
29	НЕТ	ФИБРОАДЕНОМА																					
12	НЕТ	ФИБРОАДЕНОМА																					

«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ» БАЗА ДАННЫХ анализирует возможность диагноза рака молочной железы на основании сходства между описанием данной рентгенограммы молочной железы и описаниями случаев, для которых диагноз уже известен. Существующая система пока является лишь прототипом и имеет доступ только к 70 описанным

случаям. Здесь рассматривается случай злокачественной опухоли (плазмоцитомой), с которой раньше машина никогда не встречалась. Она не может прийти к точному диагнозу, но все же по имеющемуся описанию определяет новообразование как злокачественную опухоль.

«прочесывает» всю базу данных, извлекая оттуда каждую последовательность и помещая ее в пространство кортежей. Рабочий модуль берет еще не проверенную последовательность из пространства кортежей, сравнивает ее с данным ему образцом и оставляет результат сравнения в пространстве кортежей. Главный модуль собирает все результаты и, когда поиск завершается, представляет свое заключение пользователю. (На самом деле, этот процесс несколько сложнее; например, в некоторых случаях главный модуль сосредоточивает на выполнении одного трудоемкого сравнения сразу много модулей, а не задействует на этой операции один рабочий модуль.)

Чтобы испытать в действии наши концепции, мы реализовали машину массового поиска на 64-процессорном параллельном компьютере Йельского университета. Каждый процессор этого компьютера основан на интегральной микросхеме «Intel 80386» и по быстродействию примерно соответствует самым быстрым персональным компьютерам последнего поколения. Одному такому процессору потребовалось бы около четырех часов, чтобы сравнить неизвестную последовательность средней длины со всеми последовательностями раздела приматов в генетической базе данных «GenBank». Машина массового поиска справляется с этой задачей приблизительно за четыре минуты. Такое ускорение подтверждает наше предположение о том, что часовую вычислительную работу можно выполнить за минуту, эффективно задействовав 60 процессоров на одной задаче.

Параллельный компьютер, которым мы воспользовались для этих испытаний, — это большая и дорогостоящая машина, однако система массового поиска так же хорошо должна проявить себя и на больших настольных параллельных компьютерах. Отметим также, что программа массового поиска может выполняться на «виртуальном параллельном компьютере», состоящем из многих самостоятельных машин, объединенных в сеть (подобную тем сетям, которые в настоящее время передают электронную почту и осуществляют обмен файлами данных между машинами). Сети остаются пока мало исследованной областью для параллельных вычислений; лишь небольшое число специалистов проявили интерес к изучению функциональных возможностей сетей для рассматриваемых целей. Многие программы, успешно работающие на обычных параллельных компьютерах, окажутся неэффективными в условиях сети. Од-

нако программа массового поиска, по-видимому, хорошо приспособлена для выполнения в сети, поскольку обладает относительно низким отношением объема коммуникаций к объему вычислений.

Летом 1988 г. Р. Уайтсайд из Национальной лаборатории Сандия в Альбукерке выполнил ряд программ «Линды» на 14 обычных компьютерах, объединенных в сеть, воспользовавшись версией системы «Линда», созданной Дж. Лейхтером из Йельского университета. Одна из этих программ сработала значительно быстрее в сети, чем на суперкомпьютере — исключительно мощной и дорогой, но последовательной (непараллельной) машине. (Показатели для других программ «Линды» не оказались столь хорошими.) Многие организации располагают большим числом недостаточно загруженных или бездействующих компьютеров, объединенных в локальные сети. Этими машинами можно было бы с успехом воспользоваться для быстрого поиска в больших базах данных.

ЭЛЕМЕНТЫ базы данных обычно анализируются один за одним, но если бы машина могла взглянуть на них как на единое целое, преобразуя множество отдельных случаев в некий единый «накопленный опыт», то у нее появился бы новый богатый источник знаний. Интеллектуальная база данных — это машина по переработке информации, помогающая пользователю разобраться в новых данных путем их сопоставления с уже накопленным опытом по многим сходным случаям.

Обычная база данных, содержащая, например, описания рентгенограмм молочной железы, может найти все записи о пациентах определенной возрастной группы, имеющих тот или иной диагноз или же историю болезни определенного пациента. Система, которую мы разрабатываем в настоящее время, сама будет пытаться заполнять пробелы в имеющихся данных. Например, если врач располагает полным описанием рентгенограммы опухоли, система может высказать предположение о том, является ли опухоль доброкачественной или злокачественной, основываясь на анализе уже зарегистрированных аналогичных случаев. Программа способна также отвечать (формируя ответ таким же образом) на не очень определенные запросы типа «найти все случаи, сходные с данным».

Более того, наша интеллектуальная база данных пытается имитировать (хотя и не очень точно) творческую деятельность квалифицированных экспертов. Настоящие эксперты не

просто занимаются интерполяцией по известным точкам и придерживаются статистически надежных вариантов; они также строят догадки и гипотезы и приходят к тем или иным выводам. Наша система построена так, чтобы в какой-то мере имитировать эту деятельность. Она привлекает внимание пользователей к интересным возможным вариантам, даже если они не могут быть твердо обоснованы (или являются вообще ошибочными). Такой тип поведения мы называем «моделируемым размышлением». (Антропоморфный термин применяется лишь для краткости; программа не пытается моделировать психологические процессы человека.)

Возможности системы должны расширяться с каждым новым сеансом ее применения. Всякий раз, когда пользователь формулирует запрос, обращенный к базе данных, этот запрос запоминается так же, как если бы это был новый регистрируемый случай. При поступлении новых данных или новых запросов система может проверить, не проливают ли они свет на уже зарегистрированные данные или запросы. Система могла бы, к примеру, ответить: «Новый случай, введенный вами, напоминает о запросе, сделанном XYZ шесть месяцев назад, и может открыть новую перспективу».

Прототип программы (пока рассчитанный на последовательное, а не параллельное выполнение) получил название FGP-машины (от слов fetch, generate, project — соответственно отыскивать, генерировать и проектировать). Он был написан С. Фертигом из Йельского университета и основан на более ранней работе М. Скляра при участии П. Фишера. Элементы базы данных представлены в FGP-машине как области пространства. Соседствующие области соответствуют элементам, имеющим близкое сходство друг с другом. (Эта модель заимствовала подходы, широко применяемые при поиске фрагментов текста.) По представленному ей запросу машина строит область, соответствующую характеристикам запроса, и затем исследует ее окрестность в поисках наиболее сходных случаев. Затем машина анализирует эти случаи, пытается найти общие атрибуты — те, которые вероятно будут справедливы и для области, представляющей запрос. Эти атрибуты вместе с их сравнительными вероятностями машина и представляет пользователю.

Сформулировав выводы, представляющиеся разумными, машина переходит к тому, что мы называем моделируемым размышлением. Отвлека-

ясь на время от текущего запроса, она фокусирует внимание на любых «напоминающих» о чем-то интересном возможностях, которые могли проявиться в ходе исследования соседних областей, — о неизвестных фактах, которые могли бы значительно сузить фокус поиска, если бы они были известны. Например, при первом представлении рентгенограммы молочной железы могла возникнуть версия наличия «кометы» — своеобразного кометообразного следа вокруг опухоли. Такие кометы являются полезными диагностическими индикаторами, поэтому система может переключить свое внимание на вопрос о том, где и в каких случаях они обычно наблюдаются. Машина переходит к той области базы данных, которая представлена подобными интересными возможностями, и исследует новую окрестность так же, как она исследовала окрестности исходного запроса.

В какой мере FGP-машина может себе позволить, так сказать, отвлечься, зависит от параметра, называемого уровнем концентрации. Когда степень концентрации максимальна, программа вообще не размышляет; на более низких уровнях она начинает отвлекаться от поставленной перед ней задачи. Когда же уровень концентрации достигает нулевого значения, система пускается в свободные ассоциации, переходя от одной интересной возможности к другой, уже никогда не возвращаясь к исходному запросу (разве что случайно). Большинству людей, конечно, не нужна машина, игнорирующая их вопросы и проводящая все время в свободных ассоциациях; эта способность машины является лишь любопытным (и возможно, заставляющим задуматься) побочным эффектом самой ее конструкции.

В отличие от системы, наблюдающей за состоянием больных в реанимационном отделении, или машины массового поиска FGP-машина пока не является параллельной программой. Она работает настолько медленно, что даже при небольшой базе данных ею почти невозможно пользоваться. Мы уже начали модернизировать FGP-машину, чтобы сделать ее параллельной. Появление относительно дешевой параллельной аппаратуры и — что еще важнее — простых и эффективных методов создания параллельных программных машин позволило продолжить работу над проектом, который лет 10 тому назад был бы (в практическом смысле) обречен.

Мы собираемся воспользоваться методами, аналогичными тем, что

применяются в машине массового поиска, чтобы ускорить работу FGP-машины и чтобы она могла вычислять расстояния между поисковой областью и многими другими областями базы данных одновременно. Затем мы применим методы сетевого программирования, подобные тем, что были продемонстрированы в Национальной лаборатории Сандия, благодаря чему FGP-машины получат доступ к базам данных всей страны (или даже мира). Когда эта технология будет полностью отработана, станет возможным извлекать полезную информацию из баз данных, содержащих описания различных объектов или событий — будь то каталоги диких цветов, клинописные дощечки, архивы уголовных дел, газетные статьи или места летнего отдыха. Пользователь сможет сделать, скажем, такой запрос: «Мы пытаемся идентифицировать преступника (или цветка), обладающего следующими характеристиками. Кто (или что) соответствует этим характеристикам? Если не удастся найти хорошего соответствия, то какими другими характеристиками этот человек (или цветок) может обладать?» В конечном итоге мы намереваемся применить FGP-машину к разнообразным и неоднородным данным; она будет служить в качестве развитого интерфейса с энциклопедией, затем, возможно, с библиотекой, а еще позже — со всеми библиотеками страны.

ПРЕЖДЕ чем подобные планы осуществятся, предстоит проделать много работы. Однако возможности здесь поистине безграничны. Системы наблюдения за работой транспорта или состоянием здоровья пациентов реанимационного отделения и подобные им открывают новый подход к рассмотрению больших систем — программный микрокосм. Исследователи нашей группы пытаются построить программные «теневые системы», которые прослеживали бы эволюцию реальных систем или организаций (таких как больницы или университеты). В основе, по-

видимому, будут лежать программные машины, в которых за эволюцией каждой отдельной части системы будет следить свой отдельный модуль. Программный микрокосм сам по себе будет выполнять минимальную работу по анализу моделируемой системы, но пользователь будет иметь возможность задавать разнообразные вопросы, следить за качеством выполняемой работы, фиксировать постоянные запросы по каким-либо данным или просто осуществлять поиск нужной информации.

Цель всех этих проектов — решение интеллектуальных баз данных, микрокосма — по существу одна и та же: поместить огромный мир в маленький ящик, так чтобы люди могли исследовать его по своему усмотрению. Методы, разработанные нашей исследовательской группой и многими другими, показывают конкретные пути дальнейшего развития средств обработки и методов использования информации. Однако в недалеком будущем проекты подобного рода уже выйдут за пределы возможностей академических научных исследований. Продолжить работу должны будут другие организации, располагающие большими ресурсами.

К сожалению, в промышленных, правительственных и даже научных кругах имеется лишь смутное представление о проблемах программного обеспечения. Слово «метаморфоза» не случайно было вынесено в заголовок статьи, оно само претерпело метаморфозу благодаря творению Кафки. Новая технология, наверное, не избежит критики, злоупотреблений, шарлатанства и даже нападков в духе луддитского движения «разрушителей машин». Людям, которые сами не занимаются программированием, в их же собственных интересах следует в полной мере осознать потенциальные возможности новых информационных машин. Тем самым они защитят себя от всевозможных недоразумений, расширят свой кругозор и, может быть, придут в восхищение перед открывающимися перспективами.

Наука и общество

Мантейная циркуляция на экране компьютера

КОГДА одна из литосферных плит, из которых состоит по-

верхность Земли, заканчивает свое геологическое существование, она загибается вниз по линейной зоне субдукции и погружается как пластинообразное тело в мантию. Однако ког-

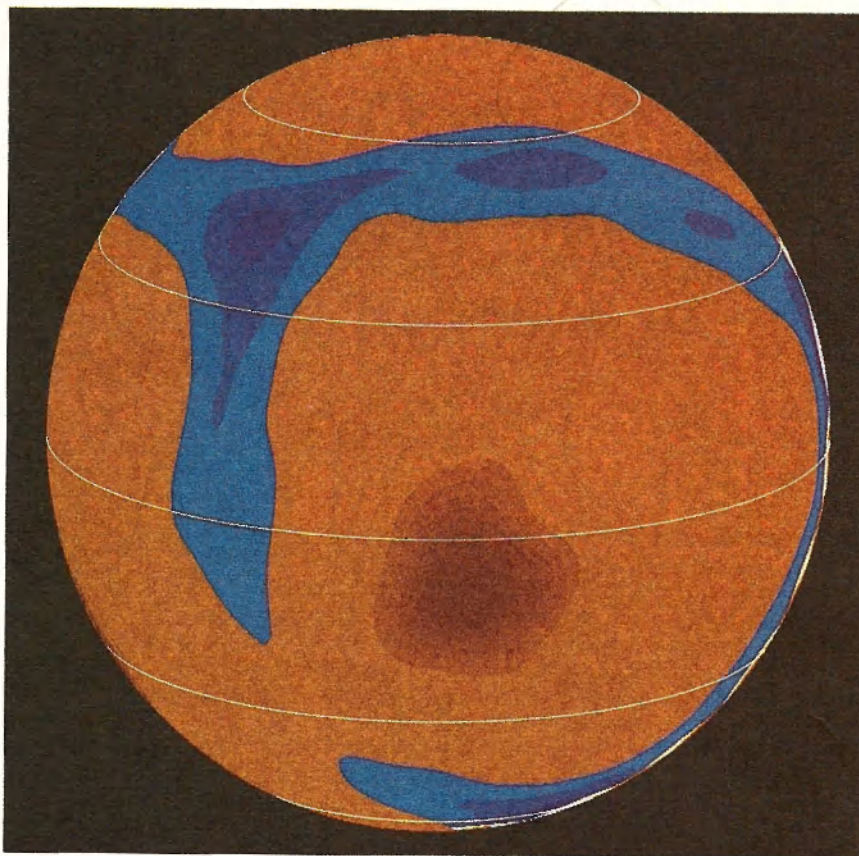
да горячий материал поднимается из мантии — слоя твердых, но пластичных пород мощностью 3000 км, расположенного между корой и металлическим ядром, — он часто образует узкие мантийные струи. Почему же так сильно различаются нисходящие и восходящие течения в мантии?

Компьютерная модель показывает, что существование погружающихся пластинообразных тел и восходящих мантийных струй может быть обусловлено сферической формой мантии. Модель, разработанная Дейвом Берковичи и Джералдом Шубертом из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, а также Гари А. Глатцмайером из Лос-Аламосской национальной лаборатории, представляет собой попытку воспроизвести конвективную циркуляцию в мантии. Тепловая энергия, поступающая из ядра или образующаяся в результате распада радиоактивных элементов в мантии, обуславливает конвекцию: горячая порода всплывает и перемещается по горизонтали. Такой поток заставляет двигаться поверхностные плиты до тех пор, пока материал в нем не остынет и не начнет погружаться в зоне субдукции.

Ранее считалось, что форма зоны субдукции отражает степень жесткости поверхностных плит, которые сгибаются по некоторой линии и в ходе погружения сохраняют свою пластинообразную форму. Современные результаты моделирования, о которых сообщалось в журнале «Science», позволяют предположить, что зона субдукции сохраняла бы свою форму, даже если бы плиты не были жесткими.

Более ранние модели конвекции в мантии не смогли объяснить геометрию потока, поскольку в них конвекция мантийного материала рассматривалась в параллелепипеде или в вертикальном сечении Земли. Как правило, предполагалось также, что породы однородны по плотности, хотя в действительности плотность возрастает с глубиной. Берковичи и его сотрудники, используя исключительные возможности суперкомпьютеров и модель, разработанную ранее Глатцмайером для изучения конвекции во внешних слоях Солнца, построили математическую модель, которая воспроизводит конвекцию в трехмерной сферической оболочке с радиальной стратификацией плотности, аналогичной стратификации, существующей в реальной мантии.

Даже в таком виде модель была значительно упрощенной, поскольку в ней не учитывалась поверхностная оболочка из жестких плит. Предполагалось также, что конвекция менее интенсивна, чем в реальной мантии, а



РАДИАЛЬНЫЙ ПОТОК в мантии, рассчитанный по модели, в которой мантия рассматривается как сферическая оболочка с конвективным движением жидкого материала. В картине циркуляции возникают узкие восходящие потоки (красный) и погружающиеся пластинообразные тела (синий). Рисунок предоставлен Гарри А. Глатцмайером.

вязкость постоянна (хотя в действительности она изменяется и по вертикали, и по горизонтали). Помимо этого, поскольку соотношение между количеством тепла, которое поступает в мантию из ядра, и количеством тепла, которое генерируется в самой мантии, не известно, исследователи проанализировали несколько вариантов модели, соответствующих разным значениям указанного отношения потоков тепла. Во всех случаях модель давала погружение холодных пластинообразных тел до самого основания слоя с конвективным движением и восхождение горячих мантийных струй.

Сейсмические данные подтверждают, что пластинообразные структуры сохраняются до больших глубин в зонах субдукции. Авторы утверждают, что это открытие трудно объяснить исходя только из жесткости плит. Геофизические данные также подтверждают предположение, что восходящие потоки «привязаны» исключительно к мантийным струям. Хотя мантийный материал поднима-

ется в виде «простынь» в срединно-океанических хребтах (линейных рифтах между расходящимися плитами), горячий материал, характеризующийся низкой скоростью прохождения сейсмических волн, по-видимому, образуется вблизи поверхности, как реакция на раздвижения плит. Глубинные мантийные струи под такими «горячими точками», как Гавайские острова и Исландия, возможно, представляют собой обычную форму восходящих течений.

Почему погружающиеся пластинообразные тела и восходящие мантийные струи возникают в сферической оболочке с конвективным движением? Берковичи и его коллеги продолжают анализировать полученные результаты в надежде ответить на этот вопрос. Исследователи также надеются создать более реалистичные модели, которые будут учитывать существующую изменчивость вязкости мантии. Такие модели должны воспроизвести дополнительные особенности тектоники плит, а возможно и движение самих плит.

Мышцы среднего уха

Когда человек говорит или поет, а также когда на него воздействует громкий шум, крохотные мышцы за барабанной перепонкой непроизвольно сокращаются. Эта нервно-мышечная "контрольная система" защищает слуховой аппарат от перегрузок и позволяет лучше распознавать звуки

ЭРИК БОРГ, С. АЛЛЕН КАУНТЕР

НАУЧНО-техническая революция сделала мир очень шумным. Слишком часто мы слышим оглушительный грохот могучих прессов, рев реактивных самолетов, неистовые вопли электрогитар. Однако природа как будто предвидела наступление такой какофонии и снабдила человеческое ухо весьма изощренной системой защиты от чрезмерного шума. Основную роль в ней играют две крохотные мышцы, прикрепленные к так называемым слуховым косточкам, соединяющим барабанную перепонку с улиткой (вместолицем рецепторных клеток, воспринимающих звуки). Когда эти мышцы сокращаются, колебания слуховых косточек уменьшаются и звуковой сигнал, поступающий во внутреннее ухо, ослабляется.

Хотя обе мышцы относятся к скелетным (это самые миниатюрные скелетные мышцы в теле человека), сокращаются они непроизвольно. Сокращение вызывается рефлекторно — примерно через 0,1 с после того, как одно или оба уха подверглись воздействию громких внешних звуков. Характеристики этого рефлекса настолько хорошо изучены, что отклонения их от нормы используют в качестве диагностического показателя при различных нарушениях слухового восприятия, в том числе неврологических обусловленных.

Мышцы среднего уха сокращаются не только в ответ на громкие внешние звуки, но и непосредственно перед тем, как человек начинает говорить или петь. Этот предвокализационный рефлекс действует, даже когда человек говорит шепотом, тихо напевает или едва слышно всхлипывает при плаче. Многие данные указывают на то, что рефлекторное сокращение этих мышц обеспечивает защиту внутреннего уха от переутомления, звуковых помех и даже от поврежденный под действием громких внутренних звуков, издаваемых самим чело-

веком, особенно при громкой речи или крике. В противном случае у детей, например, выпускаемые ими вопли и крики раздавались бы в их собственных ушах с громкостью проходящего рядом поезда.

Мышцы среднего уха человека обеспечивают не только неискаженное ослабление внутренних и громких внешних звуков; они также приглушают громкие низкочастотные звуки, которые при сочетании с высокочастотными как бы подавляют последние. Такая частотная избирательность в конечном счете улучшает слуховое восприятие, особенно сложных звуков, содержащих много высокочастотных компонент, как, например, звуков речи. Фактически именно благодаря мышцам среднего уха человек может слышать разговор других людей даже тогда, когда говорит сам.

ВОСПРИНИМАЕМЫЕ ухом звуки, независимо от их происхождения, всегда преобразуются в колебательные движения барабанной перепонки; при внешних звуках они возникают под действием колебаний давления воздуха в наружном слуховом проходе. Через три звуковые косточки среднего уха (молоточек, наковальню и стремя) колебания барабанной перепонки передаются улитке. Механизм среднего уха (барабанная перепонка и три звуковые косточки, связывающие ее с внутренним ухом) служит для преобразования звуковых колебаний воздуха, обладающего низкой плотностью, в аналогичные колебания значительно более плотной жидкости в улитке. Колебания этой жидкости передаются чувствительным отросткам рецепторных клеток, выстилающих основную мембрану улитки. Механические деформации отростков возбуждают эти волосковые клетки, посылающие электрические импульсы через слуховой нерв в мозг, где происходит переработка информации.

К звуковым косточкам прикреплены две мышцы среднего уха: мышца, напрягающая барабанную перепонку (*m. tensor tympani*), и стремечная мышца (*stapedius*) (см. рисунок на с. 51). Первая мышца крепится одним концом к рукоятке молоточка, а другим уходит в толщу стенки евстахиевой трубы (вентиляционной трубы, соединяющей носоглотку и среднее ухо). Стремечная мышца начинается в стенке полости среднего уха (барабанной полости) и кончается у головки стремени, вблизи суставного сочленения с наковальней. Общую анатомию мышц среднего уха описал в 1562 г. Бартоломео Евстахио (чьим именем и названа евстахиева труба). Что же касается их функции и роли в слуховом восприятии человека, то споры по этому вопросу продолжались до нашего столетия, пока с помощью экспериментов на животных, клинических наблюдений и сравнительного анализа не удалось понять физиологическую роль этих мышц.

Система мышц среднего уха имеется у позвоночных всех классов, однако у некоторых видов она имеет определенные особенности. Так, например, у лягушек определенных видов орган слуха содержит только одну слуховую косточку, к которой прикреплена мышца, подобная стремечной. Примечательно, что такие лягушки не квакают и не устраивают "лягушачьи концерты".

Среди низших позвоночных наиболее совершенной системой слуха и звуковой коммуникации обладают птицы. В каждом ухе у них есть аналог стремечной мышцы, которая крепится к барабанной перепонке и к единственной слуховой косточке — так называемой колонке. У птиц стремечная мышца обычно расположена вне полости среднего уха, поэтому ее можно изучать, не опасаясь повредить тонкие структуры среднего уха.

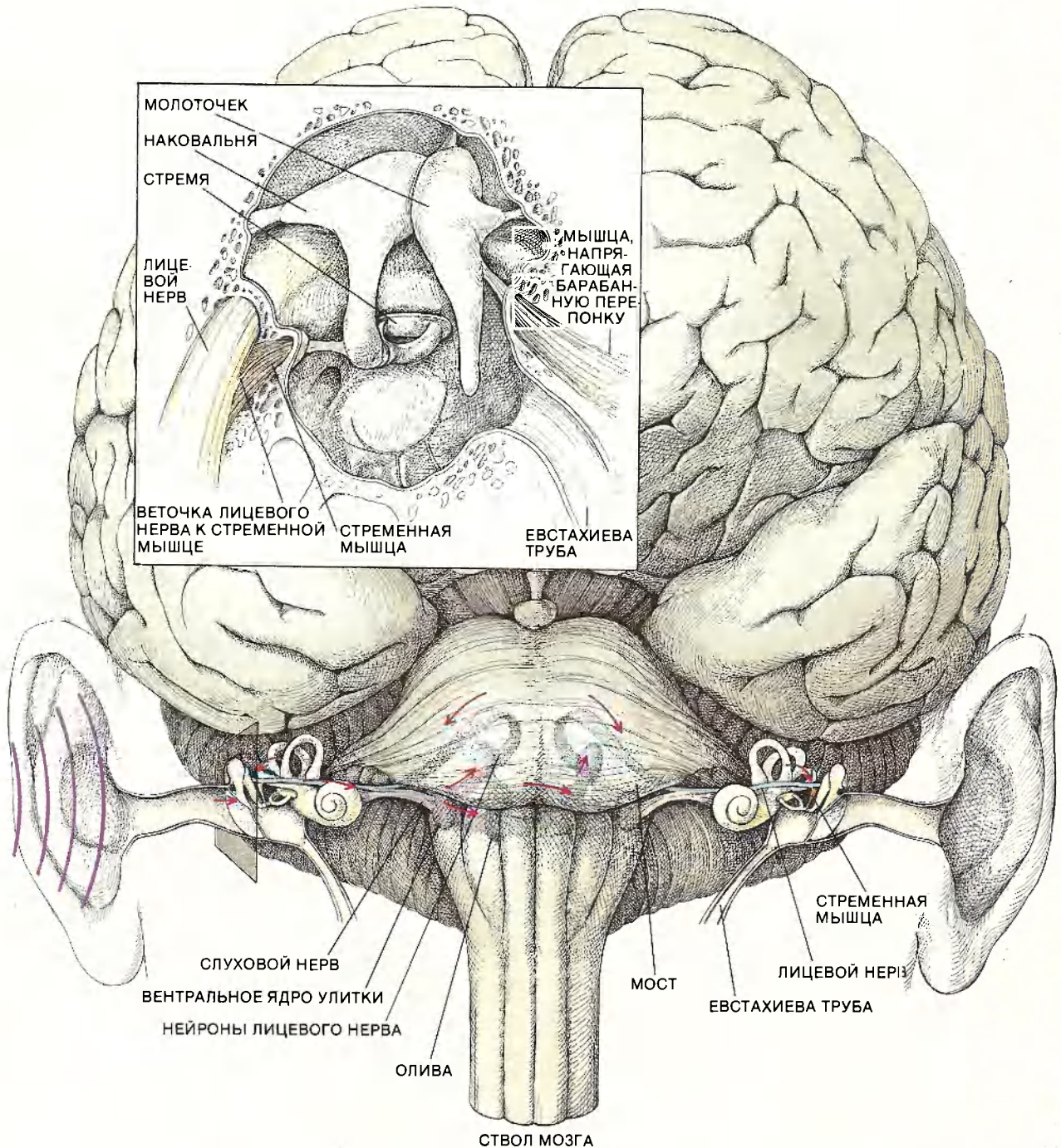
Мы изучали физиологию стремечной мышцы в экспериментах с обыч-

ными домашними птицами, в частности с курами; эти исследования велись в Королевском институте в Стокгольме и в Гарвардском университете. Прикрепив тензометрический датчик к сухожилию стремечной мышцы, мы с помощью электрической стимуляции мышцы убедились, что она способна сокращаться с частотой более 100 раз в секунду.

Присущие этой мышце быстродействие и способность к длительной работе без утомления подтверждаются также данными электронной микроскопии: мышечные волокна содержат много митохондрий (которые поставляют энергию), имеется густая сеть саркоплазматического ретикулума (из которого высвобождаются ионы кальция,

инициирующие сокращение), а также многочисленные Т-трубочки для поступления ионов кальция.

Хотя у птиц стремечная мышца сокращается всякий раз, когда птица издает звуки или глотает, она, по всей видимости, не сокращается рефлекторно в ответ на громкие внешние звуки. Главная функция этой мышцы



МЫШЦЫ СРЕДНЕГО УХА (стремечная мышца и мышца, напрягающая барабанную перепонку) видны через наружный слуховой проход с удаленной барабанной перепонкой (в квадрате). Сокращаясь, эти мышцы демпфируют колебания слуховых косточек (молоточка, наковальни и стремени). Цепочка из этих трех косточек соединяет барабанную перепонку с улиткой — вместилищем слуховых рецепторов. В итоге сокращение мышц приводит к уменьшению

громкости звука, поступающего в улитку. Громкий звук (фиолетовые волны слева), подаваемый на одно ухо, активирует стремечные мышцы обоих ушей через рефлекторную дугу (красные стрелки), в которой участвуют нейроны (розовый, голубой и зеленый), расположенные в стволе мозга и в области моста. В эту дугу входят слуховой нерв, вентральное улитковое ядро, трапециевидное тело (не показано), олива и лицевой нерв.

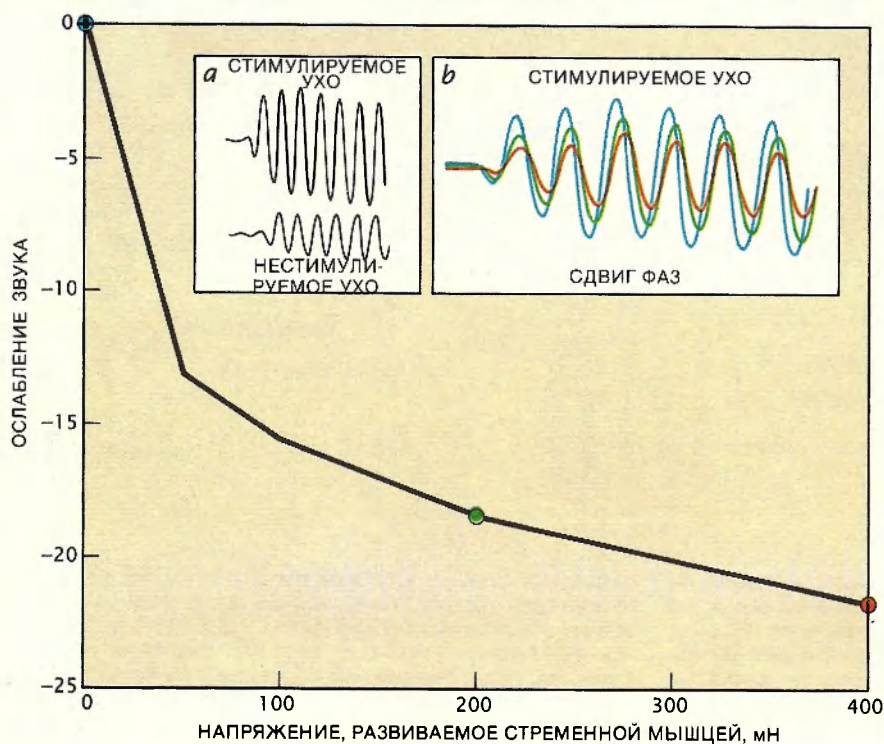
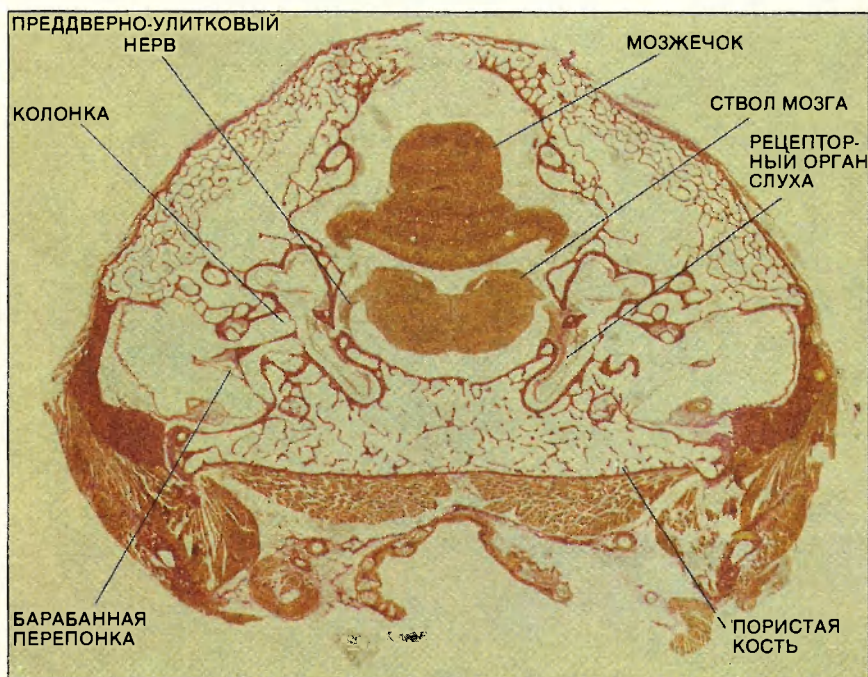
у птиц заключается, по-видимому, в предотвращении перегрузки чувствительных слуховых рецепторов во время собственных громких криков. Действительно, крики чаек или карканье ворон создают звуковое давление в голове кричащей птицы, соответствующее громкости не менее 130 дБ, что равносильно громкости реактивного двигателя на расстоянии 15 м.

Эта гипотеза о роли сокращения стременной мышцы у птиц получила прямое подтверждение в опытах по

регистрации микрофонного эффекта в улитке: как известно, электрические сигналы, генерируемые волосковыми клетками улитки, в точности повторяют звуковые колебания, поступающие на эти клетки. Если же в условиях стабильного воздействия на ухо птицы стандартным тоном мы вызывали незначительное сокращение стременной мышцы (регистрируя одновременно развиваемое мышцей механическое напряжение), то это приводило к существенному снижению ам-

плитуды генерируемых электрических колебаний, а значит — к уменьшению количества звуковой энергии, поступающей на рецепторы внутреннего уха. При этом ослабление звука под действием вызываемого нами сокращения стременной мышцы оказалось у птиц совершенно одинаковым для всех частот птичьего звукового диапазона.

Кроме того, эксперименты показали, что сокращение стременной мышцы у птиц приводит не только к снижению амплитуды электрических колебаний, генерируемых в улитке, но и к смещению их по фазе; при этом несколько видоизменяется положение пиков и впадин, а значит, и форма их огибающей и все это слегка изменяется во времени. Возникает вопрос — в чем целесообразность такого сдвига по фазе? По-видимому, это связано с наличием внутри черепа птиц заполненного воздухом канала, который



СТРУКТУРЫ СЛУХОВОЙ СИСТЕМЫ у птиц расположены непосредственно во фронтальной области черепа (вверху). В ухе птицы имеется только одна мышца среднего уха — стременная мышца (не показана) и единственная слуховая косточка — колонка. Особенность птиц — наличие канала из пористой кости, который соединяет обе полости среднего уха, позволяя звуку — в буквальном смысле — входить в одно ухо и выходить из другого. В результате барабанная перепонка уха, более удаленного от источника звука, колеблется не в фазе с барабанной перепонкой уха, в которое входит звук. Разность фаз отчетливо выделится (внизу) при сопоставлении синхронно записанных сигналов от обоих ушей (а): электрические колебания, генерируемые в каждой из улиток рецепторными клетками, которые производят звуковые колебания (в данном случае чистый тон 800 Гц), поступающие во внутреннее ухо. Экспериментально вызываемое сокращение стременной мышцы приводит к снижению интенсивности звука, поступающего на рецепторы внутреннего уха (черная кривая). Поскольку стременная мышца энергично сокращается, когда птица поет или кричит, можно предполагать, что основная функция этой мышцы — ослабление звуков, доходящих до внутреннего уха птицы при ее собственных криках. Наряду со снижением амплитуды звуковых колебаний экспериментально вызываемое сокращение стременной мышцы приводит к небольшим сдвигам их по фазе, что показывает сравнение наложенных друг на друга электрических сигналов от улитки при разных значениях напряжения, развиваемого сокращенной мышцей (b). Ослабление звуков и сдвиг фаз, по-видимому, помогают птицам в локализации источников звуков.

соединяет оба уха и позволяет звукам — в буквальном смысле слова — “входить в одно ухо и вылетать в другое”. Звуковая волна, идущая от одного уха сквозь всю голову, воздействует на барабанную перепонку другого уха уже изнутри и вызывает в улитке этого уха электрические сигналы, которые слегка ослаблены и почти совсем не совпадают по фазе с сигналами того уха, через которое звуковая волна “вошла” в голову. Мы полагаем, что сокращения стременных мышц у птицы могут так модулировать бинауральные соотношения амплитуд и фаз, что это помогает птице осуществлять звуковую локацию — определять направление на источник звуков.

Одна из наиболее специализированных мышечных систем среднего уха имеется у летучих мышей, которые, как известно, ориентируются с помощью эхолокации. Их мощные стременные мышцы и мышцы, напрягающие барабанную перепонку, непрерывно сокращаются и расслабляются с большой частотой все время, пока летучие мыши в полете испускают свои “охотничьи крики” — частые залпы коротких щелкающих звуков. За время каждого щелканья мышцы среднего уха успевают сократиться и развить максимальное напряжение, а затем они столь же быстро расслабляются, чтобы повысить чувствительность уха для восприятия эха — щелкающего звука, отраженного от тела потенциальной добычи. Весь цикл сокращения — расслабления длится всего несколько миллисекунд и может повторяться с частотой более 100 раз в секунду, пока летучая мышь не достигнет свою жертву. О. Хенсон из Йельского университета и Нобуо Суга из Вашингтонского университета в Сент-Луисе показали, что у летучих мышей мышцы среднего уха рефлекторно сокращаются за несколько миллисекунд до начала испускаемого звука и в сокращенном состоянии могут снизить интенсивность звука, достигающего внутреннего уха, на 20 дБ и более.

ИССЛЕДОВАНИЕ людей с перфорированной барабанной перепонкой показало, что и у человека мышцы среднего уха активируются при произнесении звуков. Через отверстие в барабанной перепонке в стременную мышцу вводили игольчатый электрод; эта безвредная процедура позволяет регистрировать электромиограмму (ЭМГ) мышцы, в том числе и в процессе артикуляции. ЭМГ отражает электрическую активность мышечных волокон и позволяет судить об их функциональном состоя-

нии, поскольку электрическая активность резко возрастает при сокращении. С помощью ЭМГ удалось показать, что у человека электрическая активность стременной мышцы возникает непосредственно перед произнесением гласной и заметно усиливается при более громкой вокализации. Исходя из этого, можно полагать, что стременная мышца автоматически сокращается не только в ушах кричащих младенцев, но и в ушах успокаивающих их шепотом матерей, т. е. в диапазоне от самых тихих до самых громких внутренних звуков. Мышца, напрягающая барабанную перепонку, также, по-видимому, сокращается перед вокализацией.

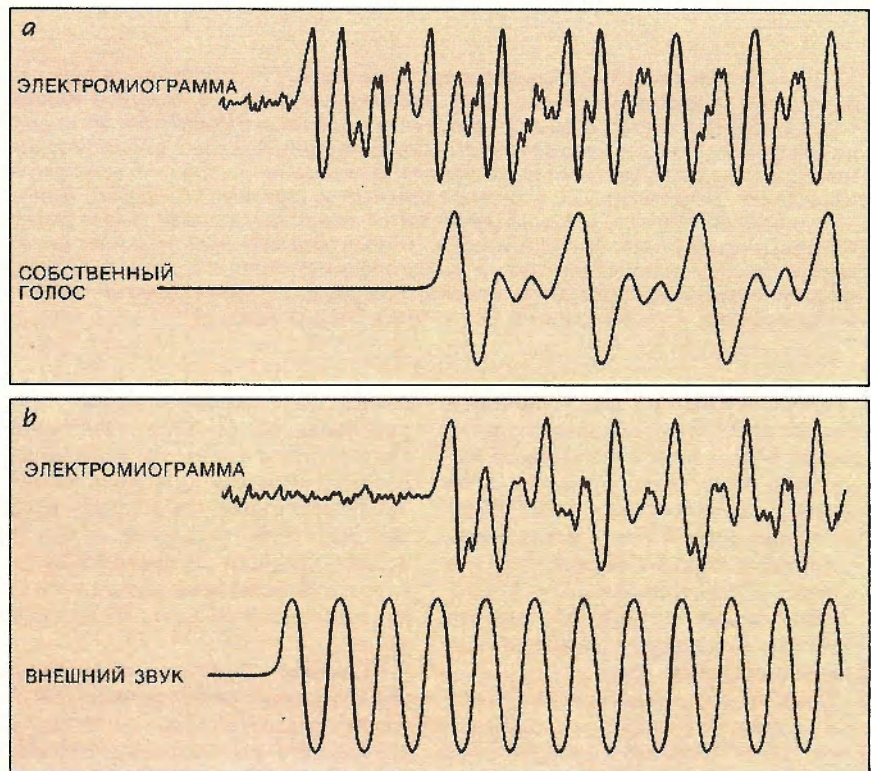
Мышцы среднего уха могут активироваться также спонтанно, в отсутствие каких-либо звуков, что приводит к ощущению непрерывного и нередко весьма неприятного шума в ушах. Кроме того, сокращения стременной мышцы можно вызвать путем почесывания или электрической стимуляции определенных участков кожи на лице или на ушной раковине.

В отличие от птиц у людей и других млекопитающих рефлекторное сокращение мышц среднего уха вызывается громкими внешними звуками. У боль-

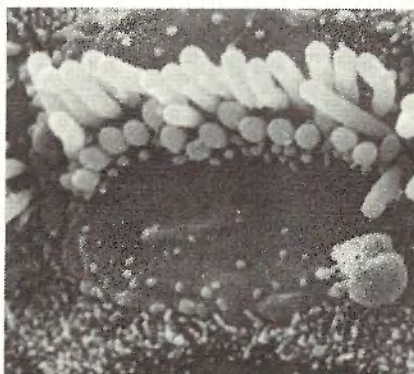
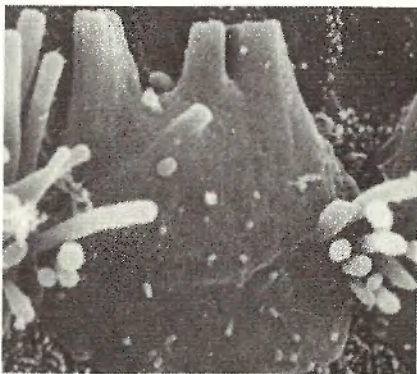
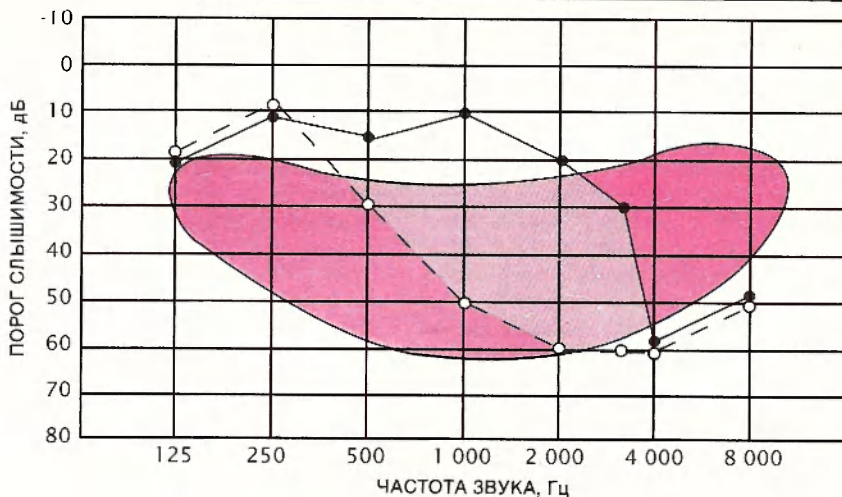
шинства млекопитающих рефлекторно сокращаются как стременная мышца, так и мышца, напрягающая барабанную перепонку, у человека же — только стременная мышца. Поэтому реакцию на громкий звук мышц среднего уха у человека называют акустическим рефлексом стременной мышцы (АРСМ).

АРСМ вызывает смещение стремени от его положения в состоянии покоя примерно на 50 мкм, что повышает жесткость суставной связки. Это в свою очередь приводит к ухудшению звукопередачи во внутреннее ухо — к снижению громкости на 20 дБ и более. Подобно зрачковому рефлексу (при котором в ответ на освещение одного глаза происходит сокращение обоих зрачков), АРСМ наблюдается, как правило, в обоих ушах, даже если звук подается только на одно ухо. Рефлекс обычно вызывают звуки, на 80—90 дБ превышающие порог индивидуальной слышимости, что примерно соответствует уровню уличного шума при интенсивном движении транспорта.

ВТЕЧЕНИЕ долгого времени вопрос о роли мышц среднего уха для нормального слуха человека про-



ЭЛЕКТРОМИОГРАММА, отображающая электрическую активность мышечных волокон, записанная синхронно с поступающими изнутри или извне звуковыми колебаниями. Сравнение кривых показывает, что стременные мышцы человека произвольно сокращаются непосредственно перед тем, как он начинает произносить звуки (а) или сразу после того, как на него извне действуют громкие звуки (б). (Кривые даны в схематическом виде.)



АУДИОГРАММА (вверху) демонстрирует клинические последствия нефункционирования стременной мышцы. Слух человека с парезом стременной мышцы, часто и подолгу подвергающегося воздействию громкого шума (пунктир), гораздо хуже, чем у человека в сходной шумовой ситуации, но с функционирующими мышцами среднего уха (сплошная линия). Эти различия особенно заметны на частотах от 250 до 4000 Гц. В этот диапазон частот (розовый), попадают многие составляющие нормальной речи (красный). Физическая причина такого дефекта слуха — повреждение чувствительных отростков на волосковых клетках, являющихся слуховыми рецепторами (внизу слева). В норме эти отростки образуют тонкие длинные пучки (внизу справа). Микрофотографии Верит Энгстрём и Агнеты Виберг из Королевского института в Стокгольме.

должал оставаться дискуссионным. Выдвигались гипотезы, согласно которым эти мышцы должны были выполнять либо одну функцию, либо другую, либо третью. Однако сопоставление результатов многих исследований позволило понять, что и в данном случае природа ведет свое хозяйство экономно: она наделила эти мышцы несколькими взаимосвязанными функциями.

Роль мышц среднего уха начал изучать в опытах на животных еще в начале XX в. японский отоларинголог Тору Като. Его результаты, дополненные более современными исследованиями АРСМ, включая и наши данные, привели к однозначному выводу о том, что стременная мышца способна защитить волосковые клетки внутреннего уха человека от длительного

воздействия громкого шума, который иначе мог бы привести к потере слуха, причем в наиболее важном для речевого общения диапазоне частот. Такое оглушение происходит, когда внутреннее ухо подвергается акустическому удару, от которого ломаются отростки волосковых клеток и те утрачивают способность к рецепции звука.

Защитная функция стремных мышц, однако, не безгранична: они не могут предотвратить повреждение внутреннего уха при очень резких и сильных ударных звуках. Максимальное сокращение стременной мышцы достигается через 100—200 мс; такое быстрое действие все же недостаточно для того, чтобы приглушить звук, например, орудийного выстрела, до того как он достигнет рецепторов внут-

ренного уха. (Кстати, риск повреждения внутреннего уха при таком залпе можно уменьшить, если перед выстрелом тихонько мурлыкать какой-нибудь мотив: при этом мышцы среднего уха активируются автоматически.) Стременная мышца способна ослабить и отрывистые громкие звуки, но только если они приходят один за другим, в частой последовательности, чтобы в мышце могло поддерживаться состояние тетанического (слитного) сокращения. По-видимому, защитная функция мышц среднего уха сложилась в ходе эволюции исходно для того, чтобы избежать вреда от громких природных звуков — раскатов грома или оглушительного рева животных, а эти звуки нарастают по громкости не слишком быстро. И тем не менее мышцам среднего уха удается отлично справляться с нелегкой задачей — защитой человеческого слуха почти от всех промышленных шумов современной цивилизации.

Недавние исследования показали, что стременная мышца играет и другую — еще более удивительную — роль, облегчая речевое общение. Аудиологам известно, что люди с нефункционирующими стремными мышцами обычно испытывают затруднения в распознавании звуков речи при наличии громкого шумового фона или чрезмерном усилении самой речи. Отсутствие функционирующих стремных мышц, по-видимому, затрудняет идентификацию слов, произносимых другим человеком. Как это может быть?

Ответ легко найти, если проследить за тем, как происходит разложение звуковой волны на составляющие ее частоты вдоль длинного спирального канала улитки. Звуковая волна, преобразованная в колебания жидкости внутреннего уха, генерирует бегущую волну, распространяющуюся вдоль основной мембраны, которая делит улитковый проток на две части от самого его начала до верхушечного завитка. При этом низкочастотные компоненты возбуждают волнообразные колебания (ондуляции) мембраны, бегущие от места прикрепления стремени вдоль всей мембраны до верхушки улитковой спирали, тогда как ондуляции мембраны, вызванные высокочастотными компонентами, затухают значительно быстрее и поэтому ограничены областью мембраны только вблизи стремени. Поскольку в ондуляциях основной мембраны улитки доминируют низкочастотные компоненты, низкие громкие звуки могут приглушить высокие звуки и даже полностью заглушить их.

Такое «маскирование» высокочастотных звуков низкими звуками

стотных звуков низкочастотными сводится к минимуму при наличии АРСМ, так как повышение жесткости суставных связок в среднем ухе приводит к ослаблению низкочастотных компонентов сложного звука в большей степени, чем высокочастотных. Поскольку ключевые звуки речи высокочастотные, получается, что сокращение мышц среднего уха действительно может улучшить восприятие речи.

Роль стремени мышца в поддержании достаточной чувствительности уха к наиболее распространенным речевым частотам даже при значительных шумовых помехах продемонстрировали Роланд Нильссон из Гетеборгского университета и Джон Эрик Закриссон из Университета в Умео в Швеции. Они показали, что АРСМ может снизить порог слышимости высокочастотных звуков на фоне шумов примерно на 50 дБ.

Стремени мышца повышает также способность человека слышать внешние звуки при говорении. В среднем ухе говорящего возникают интенсивные низкочастотные колебания, возбуждаемые главным образом произнесением гласных звуков. К счастью, предвокализационное сокращение мышц среднего уха предотвращает маскирующее действие собственной речи на восприятие внешних вы-

сокочастотных звуков. Таким образом, именно эти мышцы позволяют говорящему слышать даже тихие внешние звуки.

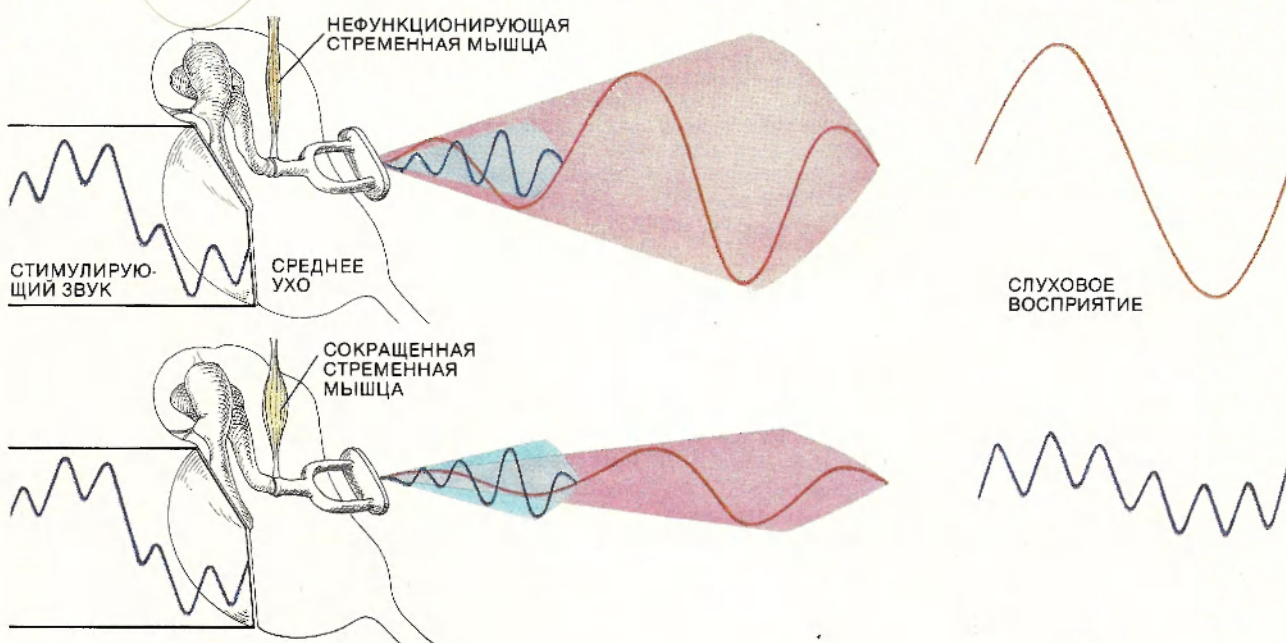
МЫ ТОЛЬКО сейчас начинаем разбираться в нейронных цепях в составе рефлекторной дуги при АРСМ и предвокализационном рефлексе. Современные методы визуализации нейронов в комплексе с электрофизиологическими исследованиями позволяют выявить сложную систему связей между нейронами, которые участвуют в активации мышц среднего уха.

АРСМ осуществляется при замыкании очень сложной рефлекторной дуги, включающей ряд ядер (скоплений нейронов) ствола мозга, слуховые нейроны и мотонейроны, отростки которых образуют лицевые нервы (см. рисунок на с. 51). Начинается эта дуга в улитке стимулированного уха: под воздействием звуковых колебаний в волосковых клетках возникают электрические сигналы; по слуховому нерву они поступают в ствол мозга — в область вентрального улиткового ядра и в оливу, после чего по лицевому нерву направляются к той его ветви, которая иннервирует стремени мышцу. Есть данные о том, что в другом — нестимулированном — ухе АРСМ инициируется нейронами вент-

цепи нейронов рефлекторной дуги АРСМ между мышцей и стволом мозга.

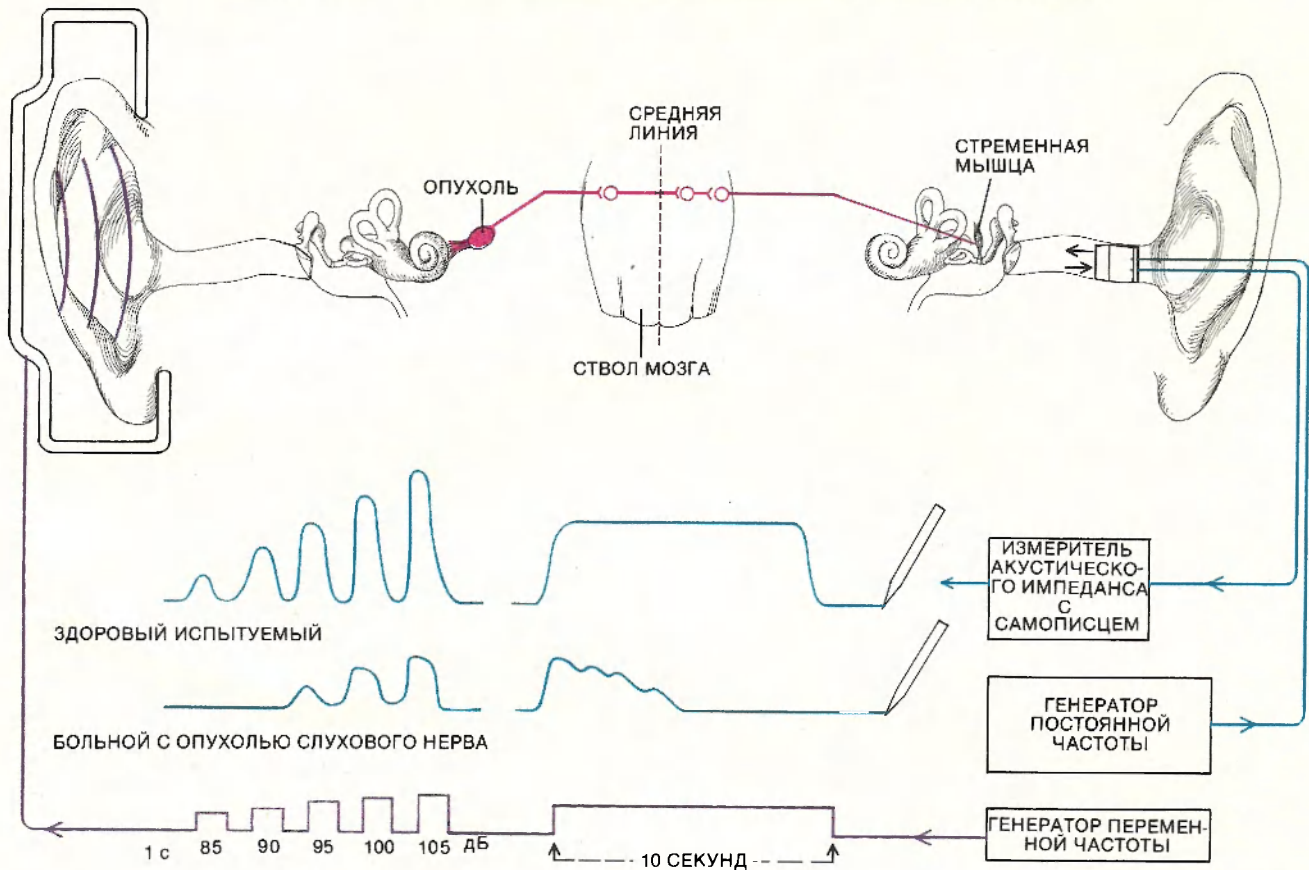
Тесная связь между слуховой цепью нейронов, перерабатывающих информацию от рецепторных клеток улитки, и мотонейронами, активирующими стремени мышцы, особенно четко продемонстрирована в экспериментах с введением в стремени мышцу меченых веществ, в частности красителей и некоторых вирусов. При этом метка обнаруживается именно в цепи нейронов рефлекторной дуги АРСМ между мышцей и стволом мозга.

Это позволяет определить точную локализацию мотонейронов, которые иннервируют стремени мышцы у млекопитающих (обладающих АРСМ): тела этих нейронов располагаются в краевых областях ядра лицевого нерва — в непосредственной близости от оливы и восходящего слухового тракта, от которых эти мотонейроны активируются. В отличие от млекопитающих у птиц (не имеющих АРСМ) тела мотонейронов, активирующих стремени мышцы, располагаются внутри ядра лицевого нерва — на некотором удалении от восходящего слухового тракта. Вряд ли можно сомневаться в том, что эти различия в морфологии соответствующих областей ствола мозга у млеко-



ОСЛАБЛЕНИЕ низкочастотных компонент громкого сложного звука при сокращении стремени мышца предотвращает "маскирование" высокочастотных компонент. Предполагается, что маскирование обусловлено способом разложения сложного звука в улитке на высоко- и низкочастотные составляющие. У человека с нефункционирующей стремени мышцей (вверху) низкочастотные

компоненты (красный) подавляют высокочастотные (синий), что показано путем наложения огибающих этих двух компонент. В норме стремени мышца устраняет такую интерференцию, приглушая низкочастотные компоненты еще до того, как звук достигнет внутреннего уха (внизу). Это позволяет воспринимать как высокочастотные, так и низкочастотные компоненты звука без искажений.



МЕТОД ТЕСТИРОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА использует благоприятную особенность акустического рефлекса стременной мышцы (АРСМ): непроизвольное сокращение этой мышцы в ответ на громкий звук происходит, как правило, в обоих ушах, даже если звук подается только на одно ухо. В этом методе источник звука, представляющий собой головной телефон ("наушник"), воздействует на одно ухо звуком достаточной громкости, чтобы вызвать АРСМ в обоих ушах. Рефлекторный ответ записывается с помощью зонда, вводимого в противоположное ухо. В зонде находится другой источник, испускающий постоянный тихий тон, а также датчик, воспринимающий звук, отраженный от барабанной перепонки. При сокращении стременной мышцы увеличивается жесткость как цепочки слу-

ховых косточек, так и барабанной перепонки, в результате чего резко возрастает интенсивность звука, отраженного от барабанной перепонки. В типичном опыте уровни отраженного звука (*синий*) записываются при ступенчато нарастающих интенсивностях звука, вызывающего АРСМ (*фиолетовый*). В конце опыта в течении 10 с подается постоянный по интенсивности звук, заведомо вызывающий АРСМ. Если у здорового человека с нормальным слухом запись отраженного звука полностью соответствует записи звука, вызывающего АРСМ, то у больного с опухолью, затрагивающей рефлекторную дугу на стороне стимулируемого звука уха регистрируются ослабленные ответы, повышенный порог АРСМ и быстрое затухание реакции на продолжающийся звук.

питающих и у птиц отражают наличие или отсутствие АРСМ.

Рефлекторная дуга из нейронов, контролирующая активацию мышцы среднего уха млекопитающих при вокализации, еще не идентифицирована до конца, однако она, по-видимому, содержит и некоторые общие элементы с рефлекторной дугой, активирующей мышцы гортани в процессе речи. Об этом свидетельствует тот факт, что у некоторых млекопитающих удалось обнаружить рефлекторную передачу возбуждения от рецепторов гортани к стременным мышцам.

Получается, что рефлекторная дуга АРСМ проходит через область ствола мозга, в которой находится целый ряд центров, взаимосогласованно управляющих различными жизненно важными функциями. Из этого следу-

ет, что исследование данного рефлекса открывает путь для изучения целостности и гармоничного единства этих центров. С этой целью был создан неповреждающий диагностический метод, названный "тестирование акустического импеданса", который основан на использовании АРСМ и позволяет определить точную локализацию повреждения внутричерепных нервов или поражения той или иной области ствола мозга, участвующей в АРСМ.

Первый вариант метода разработал датский врач Отто Мец в 1946 г. Он определял влияние АРСМ на колебания барабанной перепонки и слуховых косточек. Предварительно эти колебания возбуждаются с помощью миниатюрного источника чистого тона стандартной интенсивности, не

вызывающей АРСМ. Источник вместе с миниатюрным микрофоном вводят в наружный слуховой проход, герметично закупоривая последний, и с помощью микрофона записывают звук, отраженный от барабанной перепонки. Вслед за этим на то же или на другое ухо подают более громкий тон такой же высоты, заведомо активирующий АРСМ. При сокращении стременной мышцы возрастает жесткость барабанной перепонки и это изменяет уровень отраженного звука в слуховом проходе. Эти изменения, соответствующие изменению так называемого «акустического импеданса», регистрируются микрофоном и самописцем (см. рисунок сверху).

В норме сокращение стременной мышцы, вызванное таким способом,

можно поддерживать в течение нескольких секунд и за это время — судя по записи отраженного звука — акустический импеданс почти не уменьшается. Генри Андерсон из Королевской клиники в Стокгольме показал, что различные повреждения слухового нерва могут стать причиной необычно быстрого затухания АРСМ. Так, например, у больных с опухолью вблизи слухового нерва обнаруживается спад кривой акустического импеданса от пикового значения до исходного (при отсутствии АРСМ) урвня в первые же секунды. Такой спад объясняется давлением опухоли на нервные волокна и более быстрой утомляемостью сдавленных волокон.

Повреждения ствола мозга в области вентрального улиткового ядра также проявляют себя в аномально быстром затухании АРСМ и в повышении порога вызывания АРСМ для обеих ушей. А вот повреждения более удаленных участков рефлекторной дуги могут блокировать АРСМ в противоположном ухе, не влияя на рефлекс в стимулированном ухе. Аномальные амплитуды и скорости затухания АРСМ обнаружены также у лиц, страдающих рассеянным склерозом.

При парезах зрительного нерва (паралич Белла) АРСМ снижен или полностью блокирован только в одном ухе больного, если у него поражена область между начальным участком лицевого нерва и его ветвью, иннервирующей стремленную мышцу данного уха. В таких случаях повторные исследования акустического импеданса могут помочь в оценке эффективности лечебных процедур, а также при констатации спонтанного выздоровления. (Кстати, по жалобам больных, у которых стремленная мышца не функционирует из-за пареза зрительного нерва, можно судить о роли этой мышцы в слуховом восприятии: больные обычно жалуются, что их уши слишком чувствительны к громким звукам и что часто они не могут разобрать то, что слышат, из-за каких-то искажений.)

Исследование акустического импеданса — очень важный диагностический тест при выявлении прогрессирующей мышечной атрофии (*myasthenia gravis*) и наблюдении за течением этого тяжелого аутоиммунного заболевания. Болезнь проявляется в постепенно нарастающем ослаблении всех мышц, в чрезвычайной их утомляемости и обусловлена производством антител к собственным рецепторам ацетилхолина на поверхности мышечных мембран. Ацетилхолин — химический посредник передачи нервных импульсов — в норме стимулирует мы-

шечную активность; если рецепторы ацетилхолина не функционируют, мышца быстро атрофируется.

Исследование акустического импеданса у больных с прогрессирующей мышечной атрофией выявляет типичные аномалии: повышение порога АРСМ, снижение его амплитуды и очень быстрое угасание рефлекса. Эти аномалии удается устранять (к сожалению, ненадолго), вводя больному ингибитор фермента, разрушающего ацетилхолин, и тем самым повышая концентрацию последнего: вскоре после инъекции существенно снижается порог АРСМ, а его амплитуда и длительность нередко более чем удваиваются.

ЭВОЛЮЦИЯ среднего уха у позвоночных наделила их высокой чувствительностью к звукам. Это весьма полезное качество породило, однако, необходимость эффективной защиты от чрезмерно интенсивных шумов, которые иначе нарушили бы восприятие тихих звуков, существенных для выживания животного.

Мышечная система среднего уха — весьма изысканное творение природы, разрешающее эту проблему. Эта система “глушителей” и “настройщиков” эффективно подавляет громкие внешние и внутренние звуки, позволяя отделить нужные тихие звуки от мешающих громких. Специфическая функция мышц среднего уха состоит в том, что их рефлекторное сокращение защищает слуховые рецепторы от потери чувствительности, устраняет интерференцию высокочастотных и низкочастотных компонентов при восприятии сложных звуков и, наконец, предотвращает повреждение внутреннего уха. Не исключено, что именно мышцы среднего уха одарили позвоночных тем преимуществом, которое обеспечило их успех на всем пути эволюции от низших позвоночных до человека.

Врожденные рефлексы мышц среднего уха не только улучшают слух человека, но и позволяют надежно определять интегральную целостность всей системы слухового восприятия, включая ухо и нейронную цепь в стволе мозга. Последнее и послужило стимулом для широкого внедрения метода тестирования акустического импеданса в самые разные области клинической практики. Можно предположить, что в будущем этот метод приобретет еще большее значение, в частности, для раннего выявления людей, предрасположенных к утрате слуха под действием громких звуков, а также для лучшей реабилитации лиц, пользующихся слуховыми протезами.

Внимание инженеров!

Журнал «ТИИЭР»
(перевод журнала
Proceedings of the IEEE)

готовится к печати
тематический выпуск

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

(ТИИЭР, т. 77, № 8, август 1989)

В выпуск вошли обзорные работы, посвященные проблемам разработки и практического применения низко- и высокотемпературных сверхпроводящих материалов в электротехнике и радиоэлектронике. Рассматриваются вопросы технологии изготовления проводов и кабелей, их применение в обмотках электромагнитов и электрических машин, а также в линиях электропередач. В разделе, посвященном электронике, рассмотрены технология изготовления тонкопленочных материалов на основе ниобия и его соединений и их применение для изготовления интегральных схем, в частности ЗУ. Отдельные обзоры посвящены СКВИДам, элементам ИК- и миллиметровых приемников, сдвиговым регистрам, устройствам аналоговой обработки сигналов, АЦП, сверхмаломощным устройствам, проблеме гибридизации сверхпроводящих и полупроводниковых элементов. Объем выпуска 35 экз. л.

Цена номера 3 р. 30 к.

Читатели Москвы и Подмосковья могут оформить предварительный заказ в Московском Доме книги (пр. Калинина, 26, секция «Мир») и магазине № 19 «Мир» (Ленинградский пр., 78). Иногородним читателям заказы следует направлять на открытках по адресу: 129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2, издательство «Мир», редакция ТИИЭР. Заказы принимаются до 25 января 1990 г.



Письменность майя

Индейцы майя имели самую развитую систему письма в доколумбовой Америке. В последнее десятилетие ученые наконец смогли прочесть тексты майя, что позволило заполнить значительные пробелы в наших знаниях об этой цивилизации

ДЕЙВИД СТЮАРТ, СТИВЕН Д. ХЬЮСТОН

В ИСТОРИЧЕСКОЙ науке под словом «доисторический» понимается период в развитии общества, предшествовавший появлению письменности. Вместе с тем, несмотря на то что индейцы майя имели самую высокоразвитую систему письма в доколумбовой Америке, до недавнего времени они изучались как «доисторический» народ. Причина была проста: никто не мог прочесть их тексты. В течение последних десяти лет ситуация изменилась. Основываясь на системе критического анализа структуры и содержания майяского письма, предложенной в 1950-х годах, сравнительно небольшая группа ученых, включающая нас двоих, расшифровала значительную часть известных майяских текстов. Содержание текстов, вырезанных на каменных монументах или выведенных красками на керамических сосудах, дополняет наши представления о майяском обществе, полученные благодаря упорной работе археологов.

Было, например, подтверждено ранее высказанное предположение, что обряды кровопусканий, совершавшиеся аристократической элитой, играли важную роль в обществе майя. Менее драматично, но, быть может, более значительно то, что эти надписи рассказывают нам о политике и географии. Большая часть надписей — это по существу летописи, в которых отмечены наиболее важные события жизни отдельных правителей: их рождение, коронация, ритуалы, завоевания и смерть. Благодаря тщательному изучению этих текстов ученые начали понимать, сколь нестабильной была политическая жизнь майяского общества, в котором возникновение и распад союзов, а также войны между городами-государствами вели к быстрым изменениям «геополитического пейзажа». Эта обрастающая все большими деталями картина — один из первых результатов расшифровки письменности майя, и эти результаты, полученные после 100 лет безуспеш-

ных попыток, вводят майяское общество в «исторический» период.

ЦИВИЛИЗАЦИЯ майя, существовавшая в тропическом районе, где сейчас расположены восточная часть Мексики, Гватемала, Белиз, западный Гондурас и Сальвадор, до начала XX в. не была объектом основательных археологических исследований. Проведенные с тех пор раскопки показали, что приблизительно в 1500 г. до н. э. люди, вероятно, говорившие на одном из предковых майяских языков, заселили покрытые лесами низменности. В течение тысячелетия жизнь в лесных селениях протекала в основном без изменений. Однако около 250 г. до н. э. здесь произошли фундаментальные перемены в социальной и политической структуре. Следующие два или три столетия стали свидетелями появления могущественных городов-государств, правители которых, как указывают самые ранние иероглифические тексты, претендовали на роль богов на земле.

Иероглифическая система письма, к которой принадлежали эти ранние (и последующие) тексты, не была изобретена майя. Напротив, похоже, что она была создана на основе древней системы, которая использовалась в течение веков в развитых культурах к западу от майя. Письменность стала использоваться на территории современного мексиканского штата Оахака уже около 700 г. до н. э., как показало открытие там монумента с высеченными на нем ранними иероглифами. Родственная система письма была развита в современном штате Веракрус, о чем свидетельствует обнаруженный недавно в поселении Ла-Мохарра каменный монумент с надписью из 420 иероглифов. Хотя большую часть этого текста невозможно расшифровать, две календарные даты в нем соответствуют 143 и 156 гг. н. э. Надпись на каменном монументе из Ла-Мохарры и самые ранние известные тексты майя, датируемые

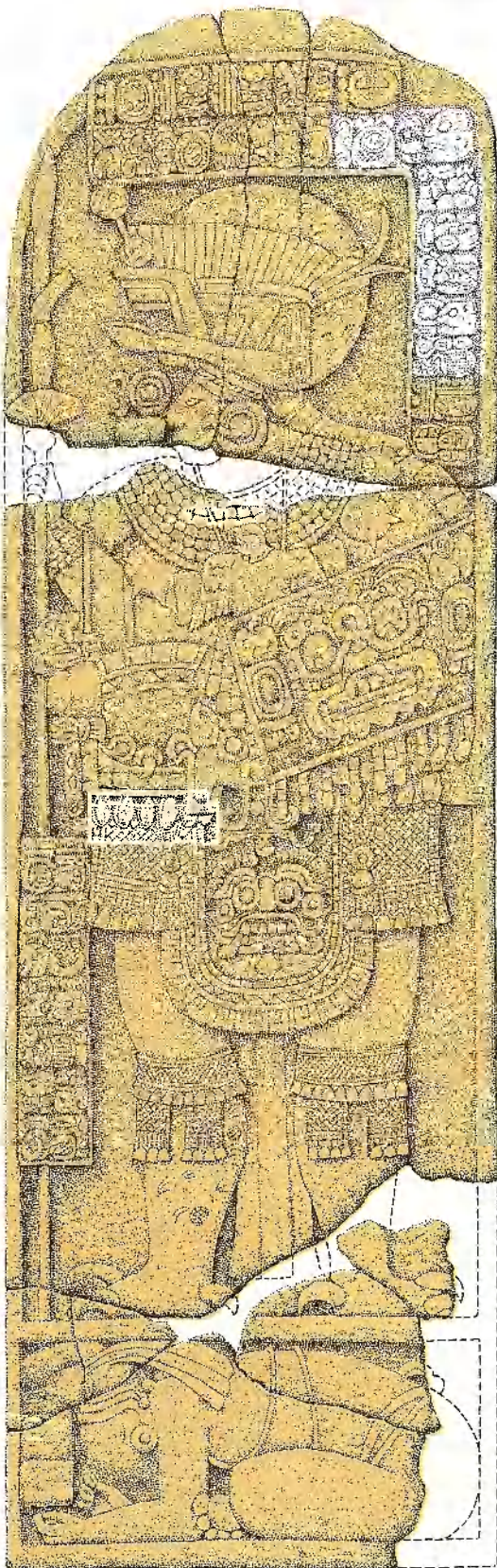
II в. н. э., могли иметь общих предшественников.

Каковы бы ни были истоки письменности майя, в начале классического периода майяской цивилизации (около 250 г. н. э.) иероглифами пользовались в сотне поселений. В течение классического периода, длившегося до 900 г. н. э. (к этому времени культура майя достигла наивысшего расцвета), бесчисленное количество каменных монументов было покрыто иероглифическими надписями. В этот же период появляются книги, изготовленные из луба и обернутые шкурой ягуара, и фигурная керамика с надписями. Политические объединения майя, в которых эти надписи создавались, были небольшими и, вероятно, слабыми по своей инфраструктуре. Последнее обстоятельство, возможно, способствовало внезапному упадку классической цивилизации майя, примерно в 900 г. н. э. (причина упадка до сих пор составляет предмет дискуссий между учеными).

В последующий, постклассический период письменность продолжала использоваться в монументальной скульптуре и архитектуре и в книгах из луба, из которых сохранились лишь четыре. В последнем независимом государстве майя в Северной Гватемале письменность существовала вплоть до конца XVII в. Сегодня, несмотря на то что письменная традиция майя утрачена, 4 млн. человек, говорящих более чем на 20 майяских языках, продолжают населять территорию древней родины майя. Это весьма благоприятное обстоятельство для ученых, изучающих письменность майя, так как словари (как современ-

СТЕЛА с рельефной надписью из Йашчилана датируется VII в. н. э., относящемуся к классической эпохе цивилизации майя. Иероглифический текст высечен в честь захвата пленника местным правителем по имени «Щит-Ягуар». Рельеф изображает правителя и стоящего на коленях пленника.





ТРАНСЛИТЕРАЦИЯ

НА-ХА-ВА/ИИ-Ч'А-КИ-
БАЛАМ(СЕЙБАЛЬ)-АХАВ/
ИИ-ЧИ-НАЛ/У-ЧАН-НУЛ(?)
К'ИН-НИ-БАЛАМ/Ч'УЛ-
[ДОС-ПИЛАС]-АХАВ/

ПЕРЕВОД

«ОН БЫЛ УКРАШЕН (ДЛЯ
ЖЕРТВОПРИНОШЕНИЯ?), КО-
ГОТЬ ЯГУАРА. ВЛАДЫКА
СЕЙБАЛЯ ПРИ СТРА-
ЖЕ (?) (ПЛЕННИКА) — СОЛНЦЕ-
ЯГУАРЕ, БОЖЕСТВЕННОМ
ВЛАДЫКЕ ДОС-ПИЛАСА»

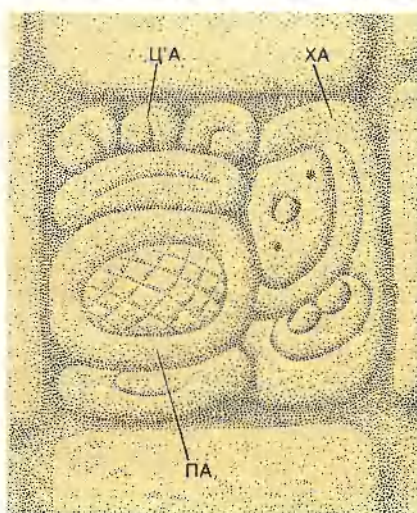
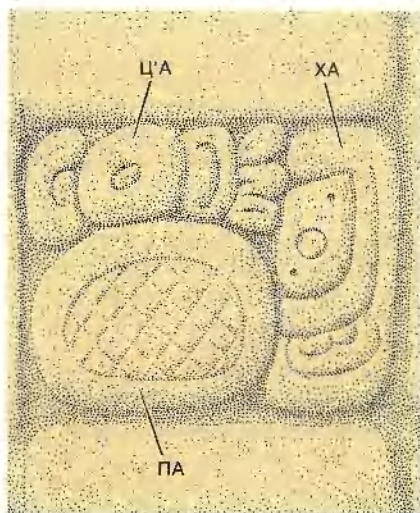
СТЕЛА 2 в Агуатеке имеет надпись, вероятно, указывающую на то, что один из изображенных правителей — «Коготь ягуара» из Сейбаля — одет в ритуальный костюм для обряда жертвоприношения. Стоящая фигура — правитель Дос-Пиласа в Гватемале; пленник — «Коготь ягуара» — изображен у его ног. Политическое объединение с центром в Дос-Пиласе в конце VII — начале VIII в. быстро расширилось за счет включения Агуатеки и других городов майя.

ные, так и изданные в колониальный период) и исследования лингвистов дают возможность проверять процесс расшифровки текстов — преимущество, часто отвергаемое теми, кто пытается разгадать древние письмена.

Попытки расшифровать майяскую письменность начались вскоре после испанского завоевания в 1520 г. Первыми исследователями иероглифики майя стали испанские монахи, которые пытались обратить майя в христианскую веру. Самым известным из них был Диэго де Ланда, третий епископ Юкатана, который в 1566 г. написал труд, названный «Сообщения о делах в Юкатане». В эту работу Ланда включил краткое изложение своего понимания майяской системы письма. По его мнению, иероглифические знаки были буквами алфавита, наподобие алфавитов индоевропейских языков. Он сделал наброски знаков, каждый из которых был отмечен буквами А, В, С и т. д. К сожалению, Ланда не смог понять, что знаки майя были всем, чем угодно, но только не алфавитными. Так или иначе, его труд лежал неопределенным в течение трех веков.

ПЕРВУЮ значительную научную попытку расшифровать письменность майя предпринял Эрнст Фёрстеманн, сотрудник Королевской библиотеки в Дрездене. В 1880 г. он занялся изучением иероглифов в кодексах (сохранившихся книг из луба, из которых самая известная — Дрезденский кодекс — имелась в Королевской библиотеке) и на нескольких известных в то время резных каменных монументах. За четырнадцать лет Фёрстеманн разгадал сложный календарь майя. Он показал, что календарь базировался на парных циклах в 260 и 365 дней и календарная дата обычно отмечалась по своей позиции в обоих циклах. Поскольку определенная комбинация даты, записанной в обоих циклах, повторялась каждые 52 года, летописцы майя записывали также положение даты в более точном «длинном счете», линейном летосчислении, начало которого приходится на 3114 г. до н. э.

Благодаря работам Фёрстеманна и других ученых (например, американца Джозефа Гудмэна, предложившего в 1905 г. корреляцию между майяским и христианским календарями, которая до сих пор широко принята) очень рано стало ясно, что счет времени был чрезвычайно важным для майя. Однако система летосчисления могла иметь множество контекстов, включая исторический, религиозный и мифологический, и ученым не было ясно, что содержали в себе некалендарные части майяских надписей.



ГРАФИЧЕСКОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ давало возможность писцам майя записывать каждое слово по-разному. Здесь показаны три варианта написания глагола «ц'апах» — («воздвигать», «устанавливать вертикально»). Каждый образец включает знаки для передачи трех слогов: «ц'а», «па» и «ха». В первом примере (слева) знаки следуют в обычном

порядке. Во втором (в центре) знак «па» вписан в знак «ц'а», изображенный вертикально. В третьем варианте (справа) писец использовал «фигурный» (лицевой) иероглиф для передачи слога «па»: сидящий мужчина «баюкает» на руках знак «ц'а».

Первый шаг к пониманию некалендарных надписей сделал другой немецкий ученый, Пауль Шелльхас, который определил многих богов и их имена в рукописях. Работа Шелльхаса над рукописями позволила с большей уверенностью предположить, что надписи майя были религиозными или мифологическими по своему содержанию, и эту точку зрения разделяли многие ученые вплоть до 60-х годов. По мере расширения археологических исследований в первые десятилетия XX в. были найдены многочисленные надписи на камне и керамике, которые могли служить материалом для проверки этой гипотезы. К сожалению, несмотря на значительные усилия ведущих специалистов по эпиграфике тех лет — Сильвануса Г. Морли и Дж. Эрика С. Томпсона, — ученые мало продвинулись вперед в расшифровке некалендарных текстов.

Удивительно, что ни в одной из ранних попыток расшифровки этих текстов не был использован загадочный «алфавит» Ланды, открытый вновь в 1860-х годах. Вероятно, одной из главных причин отсутствия научного интереса к этому «алфавиту» была уверенность в том, что по крайней мере некоторые из иероглифов майя были логографами: знаками, заменяющими целые слова. Например, один из двадцатидневных месяцев в 365-дневном цикле назывался «Летучая мышь», и знак месяца изображал летучую мышь. Там, где Ланда видел буквы, ранние эпиграфы видели целые слова, в результате интерес к его труду был утрачен.

ПЕРВОЕ достижение в понимании формальных аспектов письмен-

ности майя было сделано молодым советским ученым Юрием Кнорозовым из ленинградского Института этнографии АН СССР, который вернулся к Ланде и тщательно проанализировал его труд. Ю. Кнорозов убедился, что список Ланды не был алфавитом, но он не отверг его полностью по этой причине. Напротив, он пришел к выводу, что данный список есть результат непонимания, возникающего между представителями разных культур. Например, прося помогавшего ему индейца написать букву «b» (произносимую «beh» по-испански), Ланда получал майяский знак слога «beh».

КНОРОЗОВ предположил, что «алфавит» Ланды в действительности являлся «силлабарием», или списком слогов. Каждый знак в нем соответствовал определенной комбинации одного согласного с одним гласным. Соединенные вместе знаки были фонетической записью слов; часто слова имели форму согласный — гласный — согласный. Поскольку лишь немногие слова майя оканчиваются на гласные, конечный гласный мог выпадать при произнесении слова. Но когда слово записывалось, согласно Кнорозову, писец должен был выбрать слог, который включал бы тот же гласный, что и начальный слог. Принцип соответствия между начальным и конечным гласными Кнорозов назвал сингармонией.

Для подтверждения своей гипотезы Кнорозов обратился к рукописям. Он взял слово, которое, как считалось, означало «индюк». На языке юкатанских майя (крупная группа современных майяских языков — одна из наи-

более близко связанных с языком древних надписей) индюк называется словом «куц». Кнорозов начал со знака Ланды, передающего звук «к», который он интерпретировал как слог «ку». Второй знак в паре иероглифов, передающих слово «индюк» в соответствии с принципом сингармонии, похоже, означал слог «цу». Затем он обратился к двум знакам, которые в кодексах, как полагали, означают «собака». Первый знак был гипотетическим «цу», второй — буквой «л» алфавита Ланды, которая теперь интерпретируется как слог «лу». «Цул» или «цу-л(у)», как древние майя произносили его, было старым юкатекским названием собаки.

Работа Кнорозова была выдающимся достижением и обоснованность ее главных принципов — сингармония и слоги — теперь не вызывает сомнения. Прошло много лет после завершения Кнорозовым этой работы в 1950-х годах, прежде чем она была признана на Западе. В то же самое время двое западных ученых достигли столь же больших успехов в понимании содержания надписей. Генрих Берлин, независимый ученый, который жил в Мехико и занимался также бизнесом, отметил, что определенная категория знаков, которые он назвал эмблемными, или гербовыми иероглифами, по всей видимости, обозначает либо города, либо правящие в них фамилии. Как мы покажем дальше, эмблемные иероглифы в настоящее время являются важным объектом исследований в области письменности майя.

В 1960 г., всего через два года после работы Берлина, Татьяна Проскуракова из Института Карнеги в Вашинг-

тоне наметила другой поворотный этап в изучении майяского письма. Проскуракова, которая вошла в майянистику как архитектор, занималась составлением таблицы изменений в художественных стилях майя. Эта работа требовала точной фиксации дат на монументах для датировки стилистических фаз. Результат оказался неожиданным: группы дат на монументах соответствовали периодам жизни того или иного человека. На примере надписей из Пьедрас-Неграс в Гватемале Проскуракова убедительно показала, что записанные даты отмечали события в жизни указанных в надписях правителей и их семей.

Вклад Кнорозова, Берлина и Про-

скуряковой произвел переворот в представлениях как о форме майяского письма, так и о ее содержании. Впервые было установлено, что данная система письма включает как логографы, так и знаки для обозначения слогов типа С — Г (согласный — гласный). В то же время стало ясно, что содержание надписей чаще всего имеет отношение к историческим событиям из жизни правящей элиты, а не к персонифицированным религиозным или мифическим повествованиям. Значение этих новаторских работ еще не раскрыто полностью, и в последние 10 лет исследования в этой области продвигались вперед особенно быстро.

В РЕЗУЛЬТАТЕ в настоящее время стало возможным попытаться сделать обзор системы письменности майя и ее содержания. Основными элементами этой системы служили знаки, которых известно около восьмисот. Обычно знаки имеют вид квадрата или продолговатого овала; один или несколько знаков могут располагаться вместе, образуя так называемый иероглифический блок. Многие такие блоки расположены в определенном порядке в прямолинейной решетке, которая определяла пространственные рамки для большинства известных надписей. Внутри этой решетки иероглифические блоки образуют ряды и колонки, чтение которых подчинялось особым правилам.

Знаки были в значительной степени пиктографическими и часто изображали со многими деталями животных, людей, части тела и предметы быта. Пиктографический принцип наиболее заметно проявляется в надписях, состоявших из «полнофигурных» иероглифов, в которых индивидуальные знаки и цифры изображались как бы взаимодействующими друг с другом. Это, однако, не означает, что майя имели простое пиктографическое, или рисуночное письмо. Напротив, комбинация слогов С — Г и логографов давала писцам возможность записывать слова в текстах детально.

Отчасти эта гибкость проистекала от наличия двух типов знаков. Например, один очень распространенный почетный титул в текстах майя читается как «ахав», что означает «правитель» или «знатный». «Ахав» может быть записан в логографической форме в виде головы в профиль с особой головной повязкой или шарфом, которые отличали высшую знать в майяском обществе. Но это же слово можно было записать в виде комбинации из трех фонетических слоговых знаков: «а-ха-ва». Подобным образом слово «пакаль» — «щит» — могло быть обозначено изображением щита или комбинацией трех фонетических слоговых знаков: «па-ка-ла».

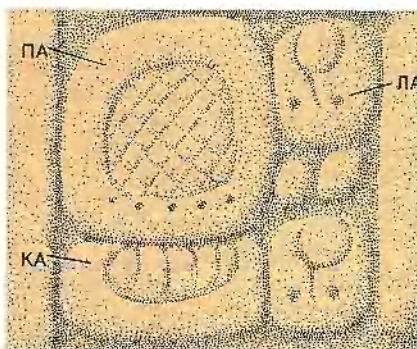
Поскольку многие знаки майя остаются нерасшифрованными, невозможно точно определить относительное соотношение логографических и слоговых знаков. Число расшифрованных слоговых знаков продолжает расти, и сегодня около половины слоговой решетки заполнено. (Силобическая решетка представляет собой схематическое соотношение гласных и согласных разговорного языка майя и тем самым совокупность знаков, необходимых в письменном языке.) Половина решетки может показаться недостаточной, однако следует



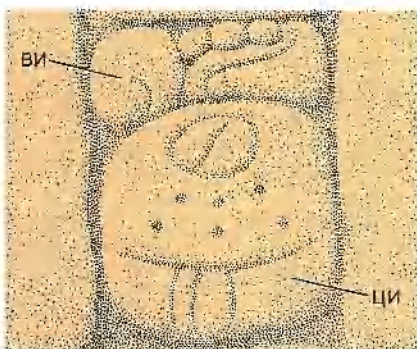
АХАВ («ВЛАДЫКА»)



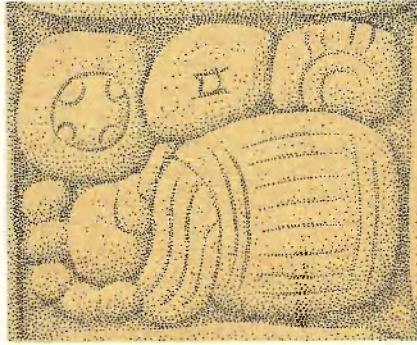
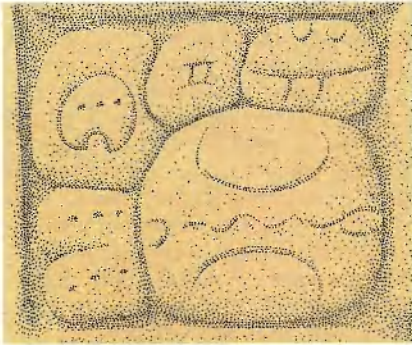
ПАКАЛЬ («ЩИТ»)



ВИЦ («ХОЛМ»)



ЛОГОГРАФЫ И СЛОГОВЫЕ ЗНАКИ давали писцам майя дополнительную гибкость. Логограф — это знак, обозначающий все слово. Здесь показана логографическая и слоговая запись майяских слов «ахав» — владыка, «пакаль» — щит и «виц» — холм.



ИЕРОГЛИФЫ-ЭМБЛЕМЫ представляют собой группы знаков, связанных с определенными политическими объединениями. Они содержат одно из первых указаний на то, что тексты майя имели историческое, а не мифологическое или религиозное содержание. Эти знаки-эмблемы происходят из Дос-Пиласа и Паленке в Мексике и Копана в Гон-

дурасе. Все три основаны на майяском титуле «к'ул ахав», означающем «божественный владыка». Первый знак — «к'у», или «к'ул» — «священный, божественный», второй — «ахав» — «владыка». Варьирующий третий знак, вероятно, имеет отношение к определенному городу-государству.

помнить, что открытие структуры слоговых элементов — главный вклад Кнорозова — было сделано чуть более 30 лет назад. Более того, многие слоги С—Г, которые уже понятны, встречаются часто. Много пустых мест в силлабической решетке остаются таковыми, потому что эти знаки редко встречаются в языке и их сложнее перевести, чем обычные.

Тем не менее по мере привлечения новых источников фонетическая расшифровка будет вестись все быстрее. Одна из характерных черт майяской письменности, которая может усложнить этот процесс, — наличие разных знаков с одним значением. Два знака, имевших одно и то же значение, известны как аллографы. Подобные графические эквиваленты обычны в текстах майя, и оценивая фонетическую интерпретацию слога, очень важно определить как можно больше вариантов форм. Процесс распознавания аллографов зависит от кропотливой работы по сопоставлению многих текстов для определения вариантов записи одного и того же слова.

АЛЛОГРАФЫ не связаны только с фонетическими слогами. В логографической форме замещения одного иероглифа другим для передачи одного слова могут быть использованы несколько знаков. Например, майяское слово «кан» (или «каан») может иметь значения «змея», «небо» или «четыре», подобно тому как английское слово «tie» может означать «галстук», а также «игру вничью», или равный счет в атлетическом соревновании. Одинаковое звучание этих слов служило древним писцам основой для игры слов. Правда, замена одного знака другим иногда граничит с каламбуром, как в случае, когда знак «неба» находится в контексте, в кото-

ром он должен быть переведен как «четыре».

Эти эквивалентные значения не просто определить и они могут служить примером тех трудностей, с которыми сталкиваются исследователи текстов майя. Несмотря на эти проблемы, расшифровка в последние годы ведется очень быстрыми темпами.

Что удалось узнать о самих майя на основе этих открытий? Интерпретируя информацию, содержащуюся в текстах, следует помнить, что иероглифика проливает свет только на одну страту пирамидальной структуры майяского общества — элиту. Надписи заказывались правящей элитой и включали в себя только ту информацию, которую правители считали важной. Эта информация весьма ценна для ученых, и она должна быть тщательно проанализирована. В отношении подавляющего большинства майяского населения — земледельцев, мелких ремесленников, торговцев, каменщиков — письменные памятники молчат.

Что считала для себя важным правящая элита? Первостепенное значение придавалось родовым связям и политической власти. Берлин и Проксурыкова раскрыли имена правителей и их жен в таких городах, как Паленке, Пьедрас-Неграс и Иашчилан, и составили списки правителей. Позднее работа велась вне списков правителей для выяснения родственных связей между людьми, поименованными в надписях. В ходе этой работы стало ясно, что в течение классического периода власть передавалась от отца к сыну, как это было в наследственных монархиях Европы.

В надписях много места уделено отношениям между отцами и сыновьями в правящих родах и другим родственными отношениями. Определенно,

эти отношения имели большое значение для правителей майя. По-видимому, семейные связи были основополагающими для политической организации общества майя. Браки между правящими родами разных государств играли важную роль в дипломатии и заключении союзов. Внутри отдельных государств члены царской семьи, не принадлежавшие к прямой линии трона, иногда выполняли важные роли в государственном управлении.

ДРУГИЕ представители знати становились искусными ремесленниками, как об этом свидетельствует керамический сосуд из района Наранхо в Северной Гватемале. Этот сосуд, происходящий, к сожалению, из ограбленного погребения (разграбление археологических памятников лишает аборигенных народов культурного наследия, а археологов — подробной информации о происхождении артефактов), подписан его создателем. Подпись частично читается: «Сын владыки (ахав) Наранхо и госпожи из Йашха». Многие художники оставляли свои подписи на керамике и каменных монументах. Несколько имен часто обнаруживают на одной скульптуре, что свидетельствует как о совместной работе нескольких скульпторов, так и о ценности, придаваемой произведениям знаменитых мастеров.

Из вышесказанного следует, что многие правители, их родственники и ближайшие подчиненные в настоящее время могут быть установлены по именам и положению в строгой социальной иерархии майя. Однако все это дает лишь смутное представление о культуре майя. Об укладе жизни остальных членов майяского общества практически ничего не известно, имеются только намеки. Большин-

ство текстов майя описывают лишь основные эпизоды в жизни правителей и только такие, которые имеют прямое отношение к статусу владыки, такие как рождение, восшествие на престол, смерть и погребение. Составить представление о майяском обществе, исходя из этой информации, в какой-то степени, все равно что пытаться реконструировать английское общество XIX в., изучая надгробия в Вестминстерском аббатстве.

Другие надписи чуть более содержательны и описывают некоторые

стороны ритуальной жизни элиты, включая игру в мяч, которой увлекались все мезоамериканские народы и которая до сих пор мало понятна ученым. Ряд очаровательных текстов сопровождает каменные «моментальные снимки» игроков в богатом убранстве. Обычно это двое мужчин, обменивающиеся ударами большого мяча из каучука. К сожалению, сопровождающие надписи ничего не говорят о правилах или количестве набранных очков в игре. В то же время они сообщают нам, что правители

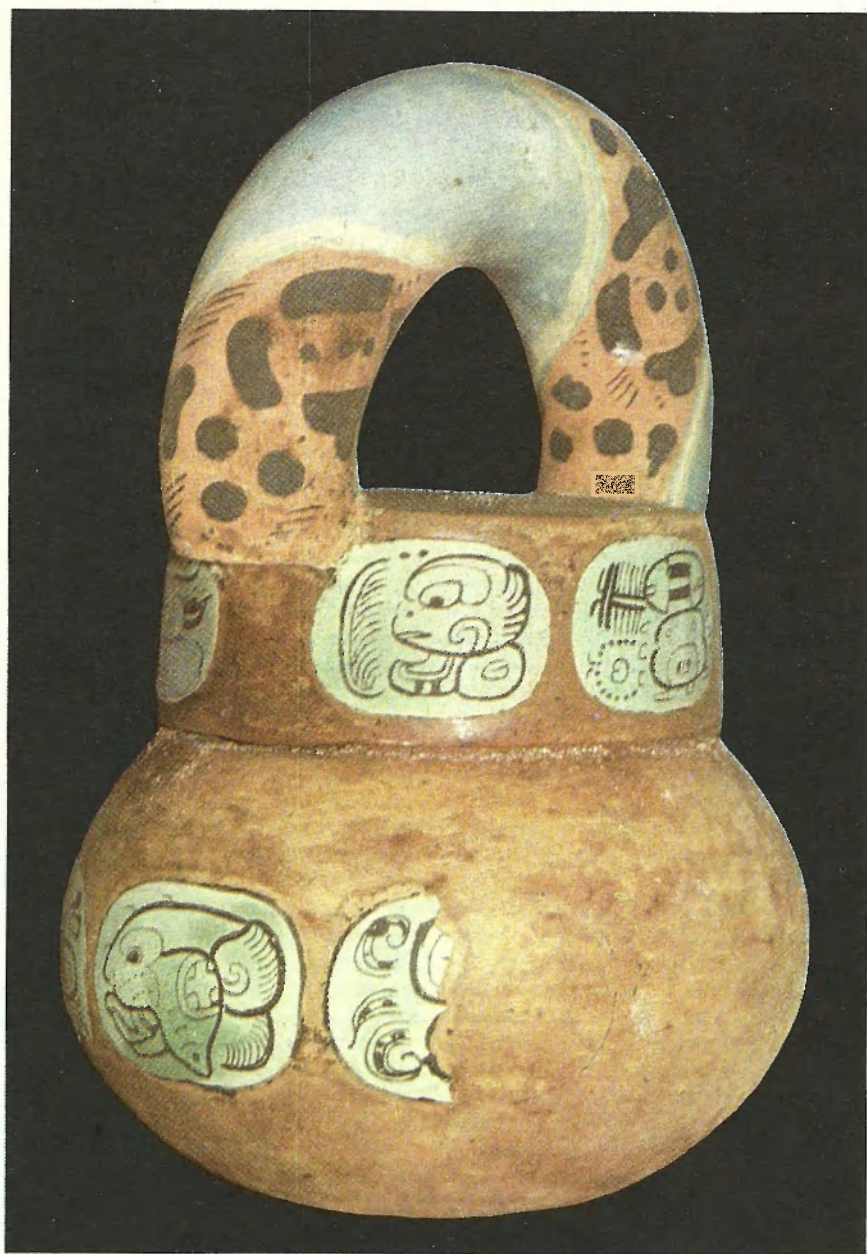
иногда самолично играли в мяч: часто в текстах правитель называется «ах пиц», или «игрок в мяч».

Из особых ритуалов, описанных в текстах, наиболее распространенными были обряды индивидуальных кровопусканий и сжигания благовонных курений, в которых представители знати предлагали самое ценное — часть своей крови — богам в обмен на божественное к ним благоволение и поддержку. Эти обряды часто совершались в такие важные моменты, как восшествие на престол, объявление наследника или празднование особого календарного цикла. Хотя эти ритуалы были очень существенны (и их дополняли другие, в которых проливалась кровь пленников), было бы неверным придавать обрядам кровопускания первостепенное значение.

Тем не менее, ведение войн между городами-государствами в действительности имело важное значение. Захват пленников, по-видимому, считался обязанностью владыки и предметом его гордости: один царь из Йашчилана почти всегда упоминается как «тот, у кого 20 пленников». В некоторых случаях, похоже, войны вели к тому, что власть и контроль над территориями переходили из рук в руки. Один из районов в низменностях майя, откуда происходят обширные свидетельства (памятники, письменные упоминания) о ведении войн между государствами, — это район озера Петешбатун в Гватемале. Согласно обнаруженным здесь надписям, на протяжении сорока лет отношения между городами-государствами изменялись от дружественных до враждебных и обратно. В это же время государство с центром в Дос-Пиласе в районе Петешбатун осуществило несколько военных набегов, быстро увеличилось в размерах и почти столь же быстро утратило свою власть над захваченными землями и сократилось до прежних размеров.

Памятники из Дос-Пиласа свидетельствуют, что войны играли существенную роль в майяском обществе. Вместе с тем надписи из других ареалов говорят о том, что войны не всегда велись с целью захвата и, возможно, во многом носили ритуальный характер. У исследователей пока отсутствуют данные, позволяющие оценить, в какой степени войны были захватническими. Однако недавнее открытие точных названий городов приведет к более ясному пониманию майяской территориальной политики.

Иероглифы, обозначающие населенные пункты, хорошо известны в других мезоамериканских системах письма, но вплоть до настоящего времени представления о названиях горо-



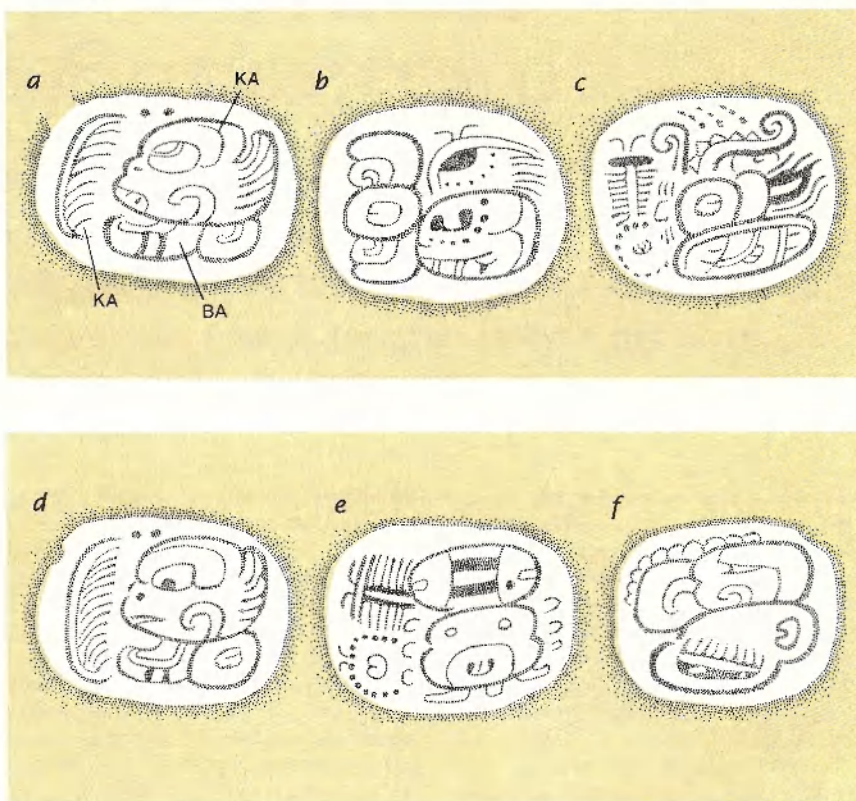
ГОРШОЧЕК ДЛЯ КАКАО был найден в 1984 г. в богатом царском погребении в Рио-Асуль в Гватемале. Изогнутая дугой ручка имеет свойство замка: она должна быть приведена в легкое вращение, чтобы снять с горшочка крышку. Сосуд был расписан по слою штука под шкуру ягуара. В каждый из пятнадцати овальных медальонов был первоначально вписан иероглиф. В горшочке находились превратившиеся в корку остатки жидкости, которую химический анализ определил как какао.

дов в арсале майя были довольно смутными. Понятие эмблемных иероглифов, выдвинутое Берлином, было большим шагом вперед, но оно не было убедительным. Хотя Берлин считал, что иероглифы-эмблемы имели географическое значение, он не мог быть уверен, к чему именно они относились: к династиям, отдельным городам или государствам, включающим в себя больше чем один город. Вслед за Питером Матьюзом из Университета в Калгари, большинство ученых в настоящее время полагают, что эмблемные иероглифы имеют отношение к политическим объединениям или городам-государствам, превышавшим размеры одного центра. Некоторые из их наиболее интересных новейших работ преследовали цель понять роль подобных центров в рамках майяской территориальной политики.

Внутри этих государств отдельные города также имели свои названия, которые, как показали авторы данной статьи в 1986 г., передавались иероглифами в надписях. Некоторые из названий объясняются природными особенностями определенных местностей. Город Агуатека, также в районе Петешбатуна, назывался древними майя «К'инич Виц», или «Обращенный к Солнцу Холм». Это название включает знак «холма», раздвоенного на вершине, поскольку сам город находился на вершине холма, разделенного на две части расщелиной глубиной более 50 м.

Вероятно, наибольшее число особых названий найдено в знаменитом городе Тикаль в Гватемале. Здесь в надписях указаны многие центры и районы города, и хотя не все из этих названий переведены, большинство из них, очевидно, относится к отдельным зданиям или комплексам зданий. Названия, которые майя давали этим сооружениям, содержат указания на то, как они выглядели. Некоторые из погребальных пирамид, например, имеют названия, включающие слово «виц» — «холм», которое говорит о том, что майя понимали их как рукотворные горы. Покрытые надписями каменные стелы, которыми усеяны площади майяских городов, часто упоминаются в надписях как «камни-растения» или «камни-деревья». В буквальном смысле майя мыслили свои города, состоящими из гор и деревьев.

Для майя наименования предметов не исчерпывались зданиями или монументами. Как было недавно установлено, нефритовые украшения, каменные сосуды, керамика, музыкальные трубы из раковин и другие предметы носили свои собственные названия и имена их владельцев. Больше всего этих надписей на керамических сосу-



НАДПИСЬ на горшочке для какао частично расшифрована одним из авторов (Стюартом). Здесь изображены шесть знаков, которые были на сосуде. Знаки *a* и *d* передают майяское слово «ка - ка - в/а», от которого произошло английское «какао». Знак *b*, возможно, означает «его сосуд». Расположенные парами упоминания какао могут означать, что в сосуде подавались два разных напитка из какао. Текст продолжается на основной части сосуда; он содержит имя владельца и, вероятно, указывает на его связь с лицом высокого ранга.

дах. В 1971 г. Майкл Ко из Йельского университета объявил, что большая часть текстов на сосудах включает один и тот же ряд иероглифов, который он назвал Первичным стандартным рядом. Основываясь на анализе сопровождающих тексты расписных сцен (в основном мифологических), Ко предложил свою трактовку содержания Первичного стандартного ряда, который, по его мнению, имел отношение к «Пополь Вух», эпосу о творении майя, пережившему испанское завоевание.

Совсем недавно, однако, многие из знаков в текстах на глиняных сосудах были расшифрованы фонетически и семантически, и появилась совершенно иная их интерпретация. Один из часто встречающихся иероглифов был переведен как «расписанный», другой — как «его блюдо» (или «горшок»), третий же — как «какао». Затем следует имя владельца сосуда. Эта частичная расшифровка позволяет утверждать, что надписи на сосудах в действительности указывали на их владельцев, назначение и содержание. Эта новая интерпретация — частный случай более общей тенден-

ции перехода от трактовки содержания надписей как мифических и непсонифицированных к историческим и личностным, наметившейся после первых же успехов в расшифровке письменности майя.

В течение последних десяти лет прогресс в расшифровке был впечатляющим. В результате мы получили новые сведения по истории, языку, социальной и политической организации и ритуальной жизни майя. Вместе с тем многие надписи остаются непонятными и почти все тексты содержат иероглифы, которые не могут быть полностью истолкованы. В некоторых досадных случаях знаки могут быть расшифрованы фонетически, но их значение, возможно, утрачено навсегда, так как эти слова больше не существуют в современном майяском языке или в дошедшем до нас словаре. Другие иероглифы тем не менее, несомненно, уступят будущим усилиям исследователей, занимающихся расшифровкой текстов. В дальнейшем нас ждут неожиданные открытия в неизведанной части этой самой развитой из доколумбовых письменностей.

Долгие дебаты о возрасте Земли

За последние три столетия в ходе спора, в который были вовлечены архиепископ Ашер, Джеймс Хаттон, лорд Кельвин, Эрнест Резерфорд, Бертрам Болтвуд и Артур Холмс, возраст Земли увеличился до 4,6 млрд. лет

ЛОУРЕНС БАДАШ

КОГДА 4,6 млрд. лет назад первые лучи термоядерной вспышки на Солнце пронизали Галактику, из вращающегося облака газа, пыли и твердых планетоземалей, окружавших новую звезду, возникла «первичная» Земля. В последующие 800 млн. лет этот сгусток вещества превращался в твердую планету — третью от Солнца.

На этих цифрах основаны вся геология и теория эволюции. По-видимому, они действительно составляют часть неизменного «банка данных», накопленного человечеством. Однако построена эта хронология совсем недавно. В последние 150 лет были отвергнуты две более ранние оценки возраста Земли; это стало возможным благодаря тому, что такие описательные науки, как биология и геология, обратились к достижениям более точной науки — физики.

Первая датировка была отброшена в XIX в. К большому неудовольствию Чарлза Дарвина и других геологов того времени физик Уильям Томсон (впоследствии лорд Кельвин) представил безупречный на первый взгляд расчет, согласно которому Земля существовала не вечно, как полагали тогда многие, а возникла 100 млн. лет назад. Ошибочность этой хронологии была доказана в конце XIX в., когда появился метод ядерной (абсолютной) геохронологии; с его помощью возраст Земли был оценен в несколько миллиардов лет. После ожесточенных дебатов между геологами и физиками ядерная геохронология получила всеобщее признание. Дискуссия о возрасте Земли помимо всего демонстрирует, что эмоции, интуиция и личная заинтересованность могут почти так же определять путь развития науки, как логика и эксперимент.

Надо полагать, что вопрос о возрасте Земли так же стар, как и рассуждения о строении Вселенной и месте человека в ней. Действительно, в мифах, созданных многими древнейши-

ми цивилизациями, сотворение Земли и происхождение Вселенной не разделялись. Космогоническим теориям была присуща идея цикличности. Например, древние греки считали, что естественная история все время повторяется. Майя думали, что в 3114 г. до н.э. произошло последнее новое сотворение Вселенной. В первом веке нашей эры похожую точку зрения разделяли многие китайцы. Они считали, что каждый 23 639 040 лет Вселенная разрушается и создается вновь.

В иудейской и христианской традициях рождение Земли и Вселенной также рассматривается как единое событие. Книга Бытия была использована учеными с целью определить число поколений людей, существовавших со времен Адама и Евы. В 1654 г. Джон Лайтфут уточнил до предельной точки известный расчет момента творения, сделанный архиепископом Ашером: 9 ч утра 26 октября 4004 г. до н.э. по юлианскому календарю в Месопотамии.

МИХАИЛ Васильевич Ломоносов, живший в XVIII в., был одним из первых ученых, кто предположил, что образование Земли происходило сотни тысяч лет назад независимо от остальной Вселенной. В 1779 г. граф Жорж Луи Бюффон попытался определить возраст Земли экспериментальным путем. Он исходил из того, что сначала Земля находилась в разогретом состоянии и с тех пор медленно остывает. Сконструировав небольшой глобус, копирующий внутреннее строение Земли, Бюффон измерил на этой модели скорость ее остывания. Полученный в результате расчетов возраст Земли составил 75 000 лет. По существу Ломоносов и Бюффон были одиноки в своих попытках определить абсолютный возраст Земли на научной основе. Если другие натуралисты XVIII в. и обращались к этой проблеме, то отдавали все в руки Создателя или же допускали попросту, что Земле и всему живущему на

ней потребовалось длительное время, чтобы достигнуть современного состояния. Джеймс Хаттон в своем классическом труде «Теория Земли» (1795) сформулировал идею длительного геологического развития следующим образом: «Мы не находим никаких признаков начала и никаких намеков на конец».

Однако некоторые современники Хаттона заинтересовались геохронологией. Они пришли к выводу, что последовательность залегания геологических слоев и почв в определенном месте соответствует порядку их формирования. В 90-х годах XVIII в. Уильям Смит сформулировал этот принцип таким образом: два расположенных в разных местах слоя имеют одинаковый возраст, если они содержат одинаковые ископаемые остатки. На основании этих представлений естествоиспытатели стали создавать геологическую летопись и определять продолжительность геологических периодов. Датировки сильно различались, поскольку ученые могли оперировать только грубыми данными о времени формирования геологических слоев.

В 1830 г. Чарлз Лайель создал теоретическую основу для подобных исследований. Лайель настойчиво утверждал, что формации горных пород и другие геологические объекты возникают, разрушаются и преобразуются с неизменной скоростью. Фактически никто из естествоиспытателей не воспользовался идеей Лайеля для вычисления возраста геологических образований — слишком скудными были еще данные о геологических процессах. Однако благодаря Лайелю многие натуралисты стали приверженцами униформизма — теории, отрицавшей возможность катастрофических геологических изменений или быстрой эволюции молодой Земли. Кроме того, изучение каменного материала и костей животных свидетельствовало, что каждый геологический период продолжался

очень долго, вероятно сотни миллионов лет, и что возраст самой Земли в несколько раз превышает это значение.

Поэтому натуралисты были удивлены, когда в 1862 г. лорд Кельвин, тогда еще просто Уильям Томсон, физик из Глазго, установил, что Земля возникла в период от 400 до 20 млн. лет назад. Томсон отвергал униформизм из-за его недоказуемости. Он, как и многие другие физики того времени, считал, что сначала Земля находилась в расплавленном состоянии, а впоследствии ее поверхность остыла и затвердела, но ядро осталось разогретым. Именно поэтому, утверждал он, температура увеличивается с глубиной.

Пытаясь определить возраст Земли, Томсон рассчитал, сколько времени потребовалось для уменьшения ее температуры от первоначальной до современной. Он исходил из предположения, что все земное тепло (за исключением небольшого количества, поступающего от Солнца) возникло в результате гравитационного сжатия, сформировавшего Землю. Затем он

установил, насколько хорошо Земля проводит тепло и какое количество тепла необходимо для ее расплавления или повышения температуры до определенного уровня. Он знал, что согласно второму началу термодинамики Земля постоянно охлаждается, отдавая энергию в холодное космическое пространство. Применив теорию теплопроводности Жана Батиста Жозефа Фурье, он нашел, как должно было измениться распределение температуры внутри Земли (см. статью: Р. Н. Брейсуэлл. Преобразование Фурье, «В мире науки», 1989, № 8). Он уточнил расчеты, учтя количество тепла, поступающего от Солнца, и величину трения, возникающего под влиянием приливов. В конечном счете он определил продолжительность земной истории в 20—40 млн. лет.

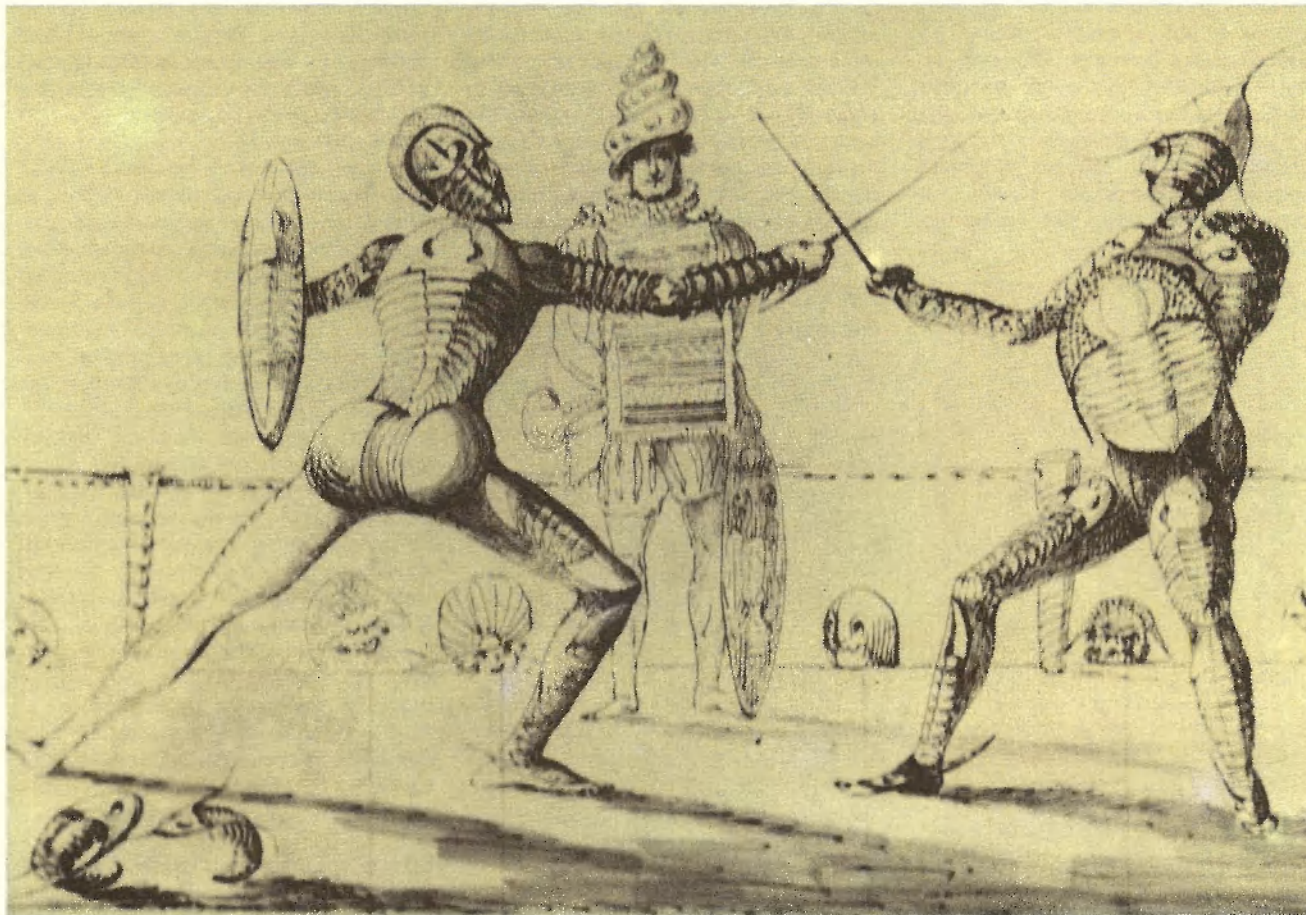
РАБОТА Томсона нарушила спокойствие геологов, которых вполне устраивала идея неограниченного времени. Они были возмущены бесцеремонностью физика, вторгшегося в их вотчину, но контраргументов они выдвинуть не смогли и опубликовали

лишь несколько статей по геохронологии.

Вычисления Томсона казались неувязимыми с позиции логики и физики. Со временем была доказана ошибочность его выводов. И все-таки Томсон нанес последний удар по описательной геохронологии, поставив на ее место количественные методы. До конца XIX в. оценки Томсона являлись теми стандартами, с которыми сравнивались все другие выводы.

Расчеты Томсона шокировали не только геологов, но и биологов. Дарвин и другие биологи утверждали, что для возникновения сложных организмов нужно было гораздо больше времени, чем 40 млн. лет. Однако данные по живущим и ископаемым организмам не могли служить основой для независимого расчета времени эволюции. Биологический календарь в конечном счете опирался на геологический.

Томас Г. Хаксли, ревностный сторонник теории Дарвина, обрушился на наиболее уязвимое место в построениях Томсона. Во взглядах Хаксли отразилось презрение к физической



СПЕЦИАЛИСТ по стратиграфии Ричард Гриффит в доспехах из палеозойских окаменелостей парирует атаку палеонтолога Джона Филлипса. На карикатуре 1843 г. высмеивается спор об относительном возрасте слоев горных пород, содержащих изображенные ископаемые остатки. Та-

кие относительные датировки способствовали установлению возраста Земли. Судит поединок геолог Родерик Мурчисон, на камзоле которого изображена стратиграфическая колонка палеозоя.

науке, свойственное геологам поздневикторианской эпохи. В своей президентской речи 1869 г. в Лондонском геологическом обществе Хаксли подчеркивал, что никто из геологов не собирается отстаивать абсолютный униформизм, речь идет лишь о применении его принципов. Затем Хаксли обратился к выводам Томсона. «Нельзя допустить, — сказал он, — чтобы точные математические вычисления властвовали над результатами, ибо страницы, исписанные формулами, не вытянут истину из множества фактов». Возможно, Хаксли полагал, что Земля отдает свое тепло не так быстро, как считал Томсон. Томсон считал свои расчеты скромными, но не мог быть уверен в своих оценках.

К ЭТОМУ времени, однако, Томсон уже не был одинок в своей борьбе. И американский астроном Саймон Ньюком, и немецкий физик Герман Гельмгольц рассчитали время, необходимое для того, чтобы в результате гравитационного сжатия газо-пылевая туманность приобрела размеры современного Солнца. Результаты, полученные ими независимо друг от друга, дали верхнюю границу возраста Земли — 100 млн. лет (при допущении, что до возникновения Солнца Земля не существовала). В дискуссию вступил Джордж Х. Дарвин, сын Чарлза Дарвина, профессор астрономии Кембриджского университета. Он предпо-

жил, что Луна образовалась в результате отрыва от быстровращающейся расплавленной Земли, и обнаружил, что оценка Томсона хорошо согласуется с временем, которое требовалось приливно-отливному трению, чтобы уменьшить период вращения Земли до 24 ч.

Некоторые геологи соглашались с оценкой возраста Земли, данной Томсоном. Еще до появления его расчетов Джон Филлипс, племянник и ученик У. Смита, заявил, что Земля должна была существовать 96 млн. лет (этот результат был получен на основании оценки скорости осадкообразования в результате речного сноса). В 1868 г. Арчибальд Гейки, директор геологической службы Шотландии, проанализировал эрозионные процессы и сделал вывод, что возраст Земли не превышает 100 млн. лет.

В 1899 г. Джон Джоли из Дублинского университета впервые предложил единственно верный в то время геологический метод измерения возраста Земли. Он утверждал, что вся соль, содержащаяся в морской воде, образовалась из минеральных отложений в результате выветривания и растворения. Кроме того, он предположил, что концентрация солей в океанах не могла уменьшаться. Поэтому Джоли смог установить связь между соленостью и возрастом Земли. Он взял наилучшие из имевшихся данных по поступлению воды в океаны и по ее солености. Затем он рассчитал ежегодное увеличение содержания соли.

Умножив соленость на весь объем океанов и разделив произведение на ежегодный прирост концентрации соли, Джоли определил, что существующую соленость морская вода могла приобрести за 80—90 млн. лет.

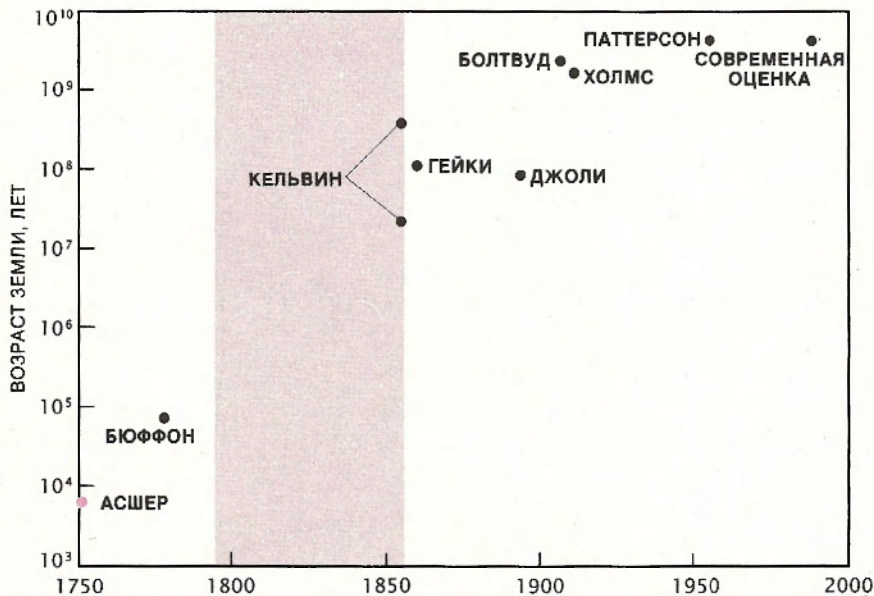
В последовавшие десятилетия все больше геологов приходили к убеждению, что Земля образовалась менее 100 млн. лет назад. Однако все попытки определить возраст Земли основывались на каком-либо допущении, аналогии или просто на догадке о скорости изменения геологических процессов.

Все эти предположения создавали почву для споров. Некоторые ученые выступали против того, чтобы объяснить излучение Земли и Солнцем тепла только одной причиной — гравитационным сжатием. Они допускали существование другого источника энергии. Одни утверждали, что Земля никогда не находилась в расплавленном состоянии, тогда как другие считали, что расплавленное ядро внутри планеты сохранилось до сих пор. (Конвективная передача тепла, обусловленная присутствием внутри Земли расплава, — это именно то, что не принял во внимание в своих вычислениях Томсон.) Ряд исследователей подвергали сомнению данные по скоростям эрозии и осадкообразования, а также расчеты солености.

К концу века геологи в общем пришли к выводу, что с момента рождения Земли прошло около 100 млн. лет. Однако они не уладили свои разногласия с Томсоном, который к тому времени за научные заслуги получил право именоваться лордом Кельвином. Проводя расчеты теплопотери, Кельвин оперировал «укороченной» геохронологической шкалой, игнорируя геологические факты.

К тому времени, однако, геологи уже настороженно относились к физическим методам Кельвина. Они полагались (возможно, неоправданно) на свои собственные методы геохронологии в большей степени, чем на допущения знаменитого физика. В конце концов они разработали несколько приемов, которые дали сходные результаты. После нескольких десятилетий геологоразведочных работ, картирования, проведения различных измерений и классификаций геологи почувствовали, что их обучение точным наукам завершено.

ОДНАКО прошло совсем немного времени и физики снова вторглись во владения геологии. На этот раз сигналом к атаке послужили исследования в области радиоактивности. Это явление было открыто в 1896 г. Анри Беккерелем. Первые ра-



ГЕОЛОГИ И ФИЗИКИ «увеличили» возраст Земли от жизни нескольких сотен поколений людей до нескольких миллиардов оборотов нашей планеты вокруг Солнца. Красная точка соответствует библейским исчислениям возраста Земли. В период между 1795 и 1862 гг. большинство геологов были уверены в том, что Земля существовала вечно или что по крайней мере продолжительность этого периода не поддается измерениям.

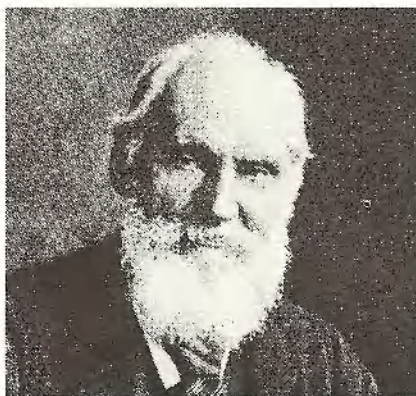
диоактивные элементы — полоний и радий — обнаружили в 1898 г. Мария Склодовская-Кюри и Пьер Кюри. Позднее, в 1902—1903 гг., Эрнест Резерфорд и Фредерик Содди в нескольких статьях дали теоретическое объяснение явлению радиоактивности, которое, как они верно заметили, представляет собой самопроизвольное превращение атомных ядер одних элементов в атомные ядра других.

Для геохронологии особое значение имело открытие α -, β - и γ -радиации, а не собственно радиоактивных элементов. (Позднее было установлено, что α -частицы состоят из двух протонов и двух нейтронов, т. е. представляют собой ядро атомов гелия; β -частицы — это излученные электроны, а γ -лучи — кванты электромагнитного излучения.) Еще раньше, в 1900 г., Резерфорд и Р. К. Мак-Кланг из Монреальского университета Мак-Гилла показали, что эти лучи несут огромную энергию. Однако кроме узкого круга физиков и химиков, занимающихся проблемой радиоактивности, на их статью мало кто обратил внимание.

Совершенно иной была реакция, когда в 1903 г. Пьер Кюри и Альберт Лаборд выступили с сообщением, что радий излучает тепловую энергию, достаточную для того, чтобы каждый час растапливать количество льда, превышающее количество радия. Интерес вызвал именно этот неисчерпаемый запас энергии. Откуда она берется? Ответ на этот вопрос дали Резерфорд и Говард Т. Барнес. Они установили, что количество тепловой энергии пропорционально числу излучаемых α -частиц. Эти относительно крупные частицы летят с большой скоростью и при столкновении с атомами их кинетическая энергия превращается в тепловую.

Геологи сразу же поняли, что существование связи между радиоактивностью и передачей тепла вносит существенную поправку в расчеты возраста Земли. Кельвин предполагал, что земное тепло имеет солнечное происхождение или сохранилось с того времени, когда Земля находилась в расплавленном состоянии. В обоих случаях единственным источником энергии считалось гравитационное сжатие. Однако, если на Земле и на Солнце радиоактивных элементов было достаточно для образования значительного запаса тепловой энергии, это зачеркивало хронологию, построенную Кельвином и другими на основании допущения о постепенном охлаждении Земли.

В 1903 г. Джордж Дарвин и Джозеф первыми высказали предположение, что солнечное и земное тепло, по крайней мере частично, обусловлено



ЛОРД КЕЛЬВИН (слева сверху) оценил возраст Земли в 20 млн. лет. Эрнест Резерфорд (справа сверху) и Бертрам Б. Болтвуд (слева внизу) с помощью радиологических методов установили, что Земля возникла более миллиарда лет назад. Артур Холмс (справа внизу) продолжил разработку этих методов.

радиоактивностью. Но много ли внутри Земли радиоактивного вещества? Частично на этот вопрос ответили Юлиус Эльстер и Ганс Ф. Гейтель, школьные учителя из Волфенбюттеля (Германия), которые в 1901 г. измерили радиоактивность воздуха, а позднее и почвы. Вскоре после них многие энтузиасты-любители, а также профессиональные ученые взялись за измерение радиоактивности дождя, снега и подземных вод, даже водяной взвеси у Ниагарского водопада. Скоро у геологов не осталось сомнений в широком распространении радиоактивности на Земле.

Что касается концентрации радиоактивных элементов, то Роберт Дж. Стратт обнаружил следы радия во многих горных породах. На самом деле найденного им радия было слишком много, для того чтобы этот элемент мог быть равномерно распределен по всему земному шару (даже без учета всех остальных радиоактивных элементов). Радиоактивность только одного радия должна была обеспечивать Землю внутренним теплом. Стратт предположил, что геохронологическая шкала не ограничена во времени, во всяком случае он не обнаружил ни признаков остывания

Земли, ни свидетельств, указывающих на ее возраст.

Научное сообщество по-разному отреагировало на это открытие. Джозеф и Уильям Дж. Соллас из Оксфордского университета были обеспокоены тем, что работа Стратта может опровергнуть их собственные расчеты возраста Земли — около 100 млн. лет. Кельвин находился в затруднении: в глубине души он признавал, что доказана ошибочность его вычислений, однако публично продолжал их защищать. Остальные были счастливы освободиться от датировки Кельвина. Итак, радиоактивность не только разорвала «оковы» созданной Кельвином теории, но и дала ключ к определению возраста Земли.

В ПЕРВЫЕ годы XX в. после того, как Резерфорд и Содди назвали радиоактивность «стихийной алхимией», интерес ученых переместился от радиации к изучению самих радиоактивных элементов. По мнению Резерфорда и Содди, за определенное время один радиоактивный элемент превращается в другой химический элемент. Скорость превращения выражается через период полураспада — время, необходимое для того,



КАРТОГРАФЫ, создавшие в 1500 г. глобус Ханта-Ленокса (слева), при определении возраста Земли могли опираться лишь на библейское летоисчисление, дававшее величину в 800 000 раз отличающуюся от истинной. Астронавты, сфо-

тографировавшие Землю из космоса (справа), знают, что Земля возникла 4,5 млрд. лет назад. Эта величина получена с помощью метода абсолютной геохронологии.

чтобы в пробе данного радиоактивного элемента половина его атомов превратилась в атомы продукта распада.

Период полураспада у разных элементов может составлять от миллиардов лет до миллионных долей секунды. Уран, торий и радий имеют большие периоды полураспада, поэтому присутствуют на Земле в заметных количествах, тогда как элементов с короткими периодами полураспада крайне мало. Следовательно, наличие или отсутствие отдельных радиоактивных элементов в горных породах связано с возрастом пород, и измерение концентрации радиоактивных элементов дает возможность определять абсолютный возраст породы.

Радиоактивные элементы образуют различные радиоактивные ряды: распад элементов продолжается до тех пор, пока в результате этого процесса не возникает стабильный элемент. В начале XX в. было доказано или предполагалось существование рядов урана-радия, актиноурана и тория. В результате изучения радиоактивных элементов и их рядов была разработана методика определения абсолютного возраста горных пород. Пионерами в этих исследованиях были Резерфорд и радиохимик Бертрам Б. Болтвуд.

Работая после окончания Йельского университета химиком-консультантом, Болтвуд изучал многочис-

ленные образцы руд, в том числе монацит — минерал, в состав которого входят уран и торий. Когда Резерфорд щедро делился своими знаниями на лекциях в Йельском университете, у Болтвуда зародился интерес к радиоактивным элементам и он стал собирать данные о превращениях элементов в радиоактивных рядах.

Спустя год Резерфорд разработал метод определения возраста Земли по содержанию гелия в минералах. Резерфорд предположил (а в 1908 г. и доказал), что гелий не является продуктом распада в каком-то определенном радиоактивном ряду, а образуется во всех рядах при столкновении двух электронов с α -частицей. Сэр Уильям Рамсей и Содди в Университи-Колледже в Лондоне к тому времени определили скорость образования гелия при распаде радия. Если расчет Рамсея—Содди был точен и с момента образования гелий не исчезал из минерала (и то, и другое казалось очень вероятным), то содержание гелия должно было указывать на возраст образца. Резерфорд мог похвастаться тем, что выполнил датировку имевшегося у него образца фергусонита, имеющего возраст 40 млн. лет.

Болтвуд вместе с тем попытался найти в радиоактивных рядах конечные продукты распада, количество которых со временем должно возрастать. Уже было известно, что радий является продуктом распада ряда урана; в 1905 г. Болтвуд назвал конеч-

ным продуктом распада уранового ряда свинец. Гипотезу превращения урана в свинец поддержал Резерфорд. Он утверждал, что если продуктом распада урана является радий и если радий (его атомный вес считался равным 225) и его производные излучают 5 α -частиц (атомный вес каждой из которых равен 4), то в результате распада должен образоваться элемент с атомным весом 205 — значение, близкое к атомному весу свинца — 206,9.

Болтвуд считал, что заслуга открытия основного метода определения возраста древних пород принадлежит Резерфорду, однако именно химик Болтвуд продемонстрировал возможность этого метода. К концу 1905 г. он определил возраст 26 различных образцов минералов и получил значения от 92 до 570 млн. лет. К счастью для репутации нового метода, эти результаты не были опубликованы. Болтвуд допустил неточность в определении отношения радия и свинца в радиоактивном ряду. Это было вызвано плохой калибровкой шкалы Резерфорда для измерения количества радия, а также неоднократно менявшейся в 1905—1906 гг. оценкой периода полураспада радия. Определение возраста пород существенно зависело от этих величин.

В РАБОТЕ, опубликованной в 1907 г., Болтвуд отметил поразительное постоянство отношения свинца и урана для минералов из од-

ного геологического слоя, т. е. таких, возраст которых считался одинаковым. Он отметил также, что содержание свинца в минералах возрастает с увеличением их относительного возраста. Минералы, обедненные свинцом, по-видимому, в результате выщелачивания, характеризовались более низкими отношениями свинца и урана, чем остальные минералы из того же слоя. Все эти данные хорошо увязывались между собой. Однако Болтвуд не обнаружил постоянства отношения свинца и тория в минералах; конечный продукт в ряду тория оставался тайной. Он решил не учитывать отношения свинца и тория и эта ошибка повлияла на определение возраста минералов, содержащих и уран, и торий.

Чтобы определить абсолютный возраст минералов, Болтвуд исследовал радиоактивный ряд уран—радий. По лучшим на то время данным Резерфорда, который в своих расчетах учел число α -частиц, излучаемых радием каждую секунду, период полураспада радия был оценен в 2 600 лет (по современным данным — 1 620 лет). С учетом того, что распад радиоактивных элементов идет по экспоненте, доля радия, распадающегося за год, должна была составлять $270\,000 \text{ млрд}^{-1}$. Резерфорд и Болтвуд установили, что почти по всех горных породах на 1 млрд. частей урана приходится 380 частей радия. Таким образом, доля ежегодно распадающегося радия, умноженная на долю радия в уране, дает 1 часть ежегодно распадающегося радия на каждые 10 млрд. частей урана.

Болтвуд правильно предположил, что радиоактивные ряды элементов, содержащихся в собранных им горных породах, находятся в равновесном состоянии. Например, радиоактивный ряд урана—свинца находится в равновесии, когда число атомов урана, распадающихся за единицу времени, равно числу распадающихся атомов радия, а также числу возникающих атомов свинца. Для сохранения равновесия радиоактивные элементы с большим периодом полураспада должны присутствовать в больших количествах, чем элементы с коротким периодом полураспада. (Несмотря на то что со временем количество урана уменьшается, Болтвуд оценил эти потери как незначительные.)

Болтвуд пришел к выводу, что если каждый год на 10 млрд. частей урана приходится распад 1 части радия, то образуется и 1 часть свинца. Это соотношение Болтвуд выразил формулой: возраст горной породы равен 10 млрд. лет, умноженным на отношение содержаний свинца и урана.

Затем он рассчитал, что образец уранинита (для которого это отношение равно 0,041) имеет возраст 410 млн. лет, а образец торинита с отношением 0,22 образовался 2,2 млрд. лет назад.

Когда было установлено точное значение периода полураспада радия, возраст образцов Болтвуда был пересчитан: они составили от 250 млн. до 1,3 млрд. лет. Однако даже с учетом этой поправки возраст торинита был определен неверно, так как свинец образуется в процессе распада не только урана, но и тория. Тем не менее результаты были впечатляющим — они свидетельствовали, что возраст Земли составляет около миллиарда лет.

СТРАННО, но такой серьезный вывод был встречен равнодушно. Хотя статья Болтвуда появилась в главном геологическом журнале США, никто не захотел повторить или продолжить его исследования. Не смогли результаты Болтвуда поколебать и уверенности геологов в том, что значение радиоактивности переоценивается. Они не только не принимали в расчет тепловой эффект радиоактивного распада на Земле, но и «отшлифовали» свои геологические и физические данные для доказательства того, что шкала геологического времени Кельвина все-таки верна!

Больше Болтвуд не писал о свинцовом методе в геохронологии. Он вернулся к исследованиям радиоактивных рядов и открыл новый радиоактивный элемент — ионий. Резерфорд со своей стороны изредка возвращался к проблеме возраста Земли, публикуя примерно одну статью в десять лет, что вряд ли можно считать знаком всепоглощающего интереса. Стратт занимался совершенствованием гелиевого метода определения возраста горных пород до 1910 г., после чего также отошел от этой темы и обратился к еще не изученным проблемам.

Однако Стратт оставил после себя «наследство». Он возбудил интерес к геохронологии у молодого английского студента-геолога Артура Холмса, который почти в одиночку стал заниматься этой темой. В конце концов, именно Холмс за долгие годы работы в промышленности и в университетах Даргема и Эдинбурга заставил геологов признать ядерную геохронологию. Однако до 1930 г. Холмс и Джולי были единственными геологами, владевшими методикой определения абсолютного возраста пород, к тому же Джולי сомневался в точности полученных результатов.

У Холмса сомнений не было. Он

считал также, что свинцовый метод по сравнению с гелиевым является более надежным методом абсолютной геохронологии. В 1911 г. в результате изучения множества образцов он определил возраст наиболее древней горной породы — 1,6 млрд. лет. По его мнению (основанному, скорее, на догадке, чем на доказательстве), при формировании горных пород, образцы которых он исследовал, свинец в них отсутствовал; образовался же свинец в результате радиоактивного распада урана, и любые внешние воздействия не влияли на количество как свинца, так и урана.

Двумя годами позже, однако, были получены результаты, позволившие торжествовать противникам Холмса. Первым было открытие изотопов: атомов с одинаковыми химическими свойствами, но с разными весами, определяющимися числом нейтронов и протонов. Так, например, ядро атома свинца содержит 82 протона, а его атомный вес может составлять от 195 до 214. Вторым достижением стало открытие физических законов, точно определяющих конечные продукты радиоактивного распада каждого элемента. Согласно этим законам, конечным продуктом распада ряда тория должен быть один из изотопов свинца.

Хотя для многих специалистов в области наук о Земле эти новые открытия делали метод абсолютной геохронологии более сложным и менее надежным, Холмс возглавил исследования в этом направлении, публикуя непрерывный поток работ по геохронологии до и после первой мировой войны. Он учел в своей работе наличие изотопов и уточнил прежние результаты. Благодаря его успехам открытое сопротивление абсолютной геохронологии было сломлено, однако метод не пользовался большой популярностью среди ученых.

Исключение составил Джозеф Баррелл, профессор геологии Йельского университета, который в 1917 г. дал новую интерпретацию геологической истории с учетом данных абсолютной геохронологии. Особое значение Баррелл придавал тому, что изменение интенсивности геологических процессов носят циклический, а не монотонный характер. Поэтому современный темп геологических изменений не может быть, как утверждали униформисты, ключом к познанию прошлого.

Методы абсолютной геохронологии постепенно получали признание. К 1921 г. на собрании Британской ассоциации по развитию науки геологи, ботаники, зоологи, математики и физики, выступавшие с докладами, казалось, разделяли мнение о том, что

возраст Земли составляет несколько миллиардов лет и что для его определения можно использовать как радиологические, так и геологические методы. Однако конкретных рекомендаций выработано не было. Неудивительно, что «старая гвардия» оставалась настроенной скептически. Соллас упорно настаивал на том, что возраст Земли не превышает 100 млн. лет. Он заявил: «Геологи не очень обеспокоены тем, какой отрезок времени им могут предоставить физики; для них не имеет большого значения, длинный он или нет, но, прежде чем приступить к перестройке своей науки, геологи хотели бы получить доказательства надежности этих данных».

Окончательная победа пришла в 1962 г., когда в Национальном научно-исследовательском совете национальной академии наук США был создан комитет для изучения проблемы определения возраста Земли. Холмс как один из немногих экспертов вошел в состав комитета и написал большую часть отчета (почти две трети). Комитет пришел к единодушному выводу, что анализ радиоактивности позволяет создать единственно надежную геохронологическую шкалу. Отчет содержал много четких и

подробных доказательств. Были надежно определены константы радиоактивного распада, включены в расчеты изотопы свинца, а также показано, что продукты распада не исчезают со временем из породы. Методы определения абсолютного возраста, впервые предложенные Резерфордом и Болтвудом и разработанные впоследствии Холмсом, получили наконец благословение геологов. Они не только нашли следы начала геологической истории, но и получили возможность датировать ее целиком.

За последние шесть десятилетий свинцовый метод определения абсолютного возраста пород постепенно совершенствовался, и теперь для наиболее древних пород, образовавшихся на Земле, он дает значение 3,8 млрд. лет. Эта цифра относится скорее к минимальному возрасту твердой земной коры, чем ко времени образования Солнечной системы в результате сжатия спиралевидной газо-пылевой туманности. В 1955 г. Клер Паттерсон и его коллеги из Калифорнийского технологического института впервые определили возраст Солнечной системы по возрасту метеоритов. Последние датировки метеоритов показали, что возраст «первичной» Земли составляет 4,6 млрд. лет.

ны разгоняются, приобретают энергию и покидают плазму в виде пучка излучения высокой энергии.

Уилкс, Доусон и их коллеги опубликовали в журнале «Physical Review Letters» результаты выполненного ими компьютерного моделирования такого процесса ускорения фотонов. Основываясь на современном состоянии лазерной и плазменной технологии, ученые предсказывают, что в таком ускорителе энергия фотонов может быть увеличена в 10 раз; в результате фиолетовый свет превратится в рентгеновское излучение. Они полагают, что если удастся увеличить продолжительность периода взаимодействия фотонов с плазмой, то коэффициент усиления дополнительно возрастет. Теоретически подобный ускоритель должен быть более эффективен в смысле передачи энергии фотонам, чем существующие лазеры на свободных электронах и рентгеновские лазеры. Получаемое в ускорителе излучение может использоваться в военной технике, в качестве хирургического инструмента или для ускорения процесса термоядерного синтеза.

Для первых испытаний фотонного ускорителя ученые планируют приспособить устройство, ускоряющее электронные пучки в плазме (см. статью: Дж. Доусон. Плазменные ускорители частиц, «В мире науки», 1989, № 5). Серф уже стоит на калифорнийском берегу, и в ближайшие несколько месяцев станет ясно, сумеют ли физики «поймать» волну.

Наука и общество

Ускоритель фотонов

ПРЕДСТАВЬТЕ себе океанский лайнер, пересекающий спокойный морской залив. На берегу человек с доской для серфинга ждет появления самой большой волны. Он может «поймать» поднятую лайнером волну и пересечь на ней залив в кильватере судна.

Этим примером можно проиллюстрировать физические процессы, которые лежат в основе идеи о преобразовании коротких импульсов светового излучения лазера в интенсивные сфокусированные пучки рентгеновского излучения. Новая технология, предложенная С. Уилксом и Дж. Доусоном из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, может со временем развиваться в более мощную и эффективную альтернативу лазерам на свободных электронах и рентгеновским лазерам. Новый метод состоит в следующем: пучок частиц пропускают через облако электронов, в котором генерируется мощная кильватерная

волна, которая передает фотонам энергию, достаточную для их превращения в рентгеновское излучение.

Для создания облака электронов газ, помещенный в длинную камеру, нагревают до температуры, при которой электроны отрываются от атомных ядер, т. е. образуется плазма. Затем в нее направляют пучок частиц, скорость которых близка к скорости света; в кильватере пучка возникает волна электронов. Ее можно рассматривать как «стену» отрицательного заряда (плазменную волну), движущуюся в том же направлении и с той же скоростью, что и пучок частиц.

Идея Уилкса и Доусона состоит в том, чтобы импульс лазерного света определенной частоты направить в плазму позади пучка частиц, но впереди фронта движущейся «стены» отрицательного заряда. Лазерный импульс проникает в плазму в виде пакета фотонов. «Стена» отрицательного заряда будет разгонять фотоны, т. е. они будут поглощать энергию плазменной волны. Таким образом, фото-

Микросхемы на товарном рынке

ДЕЛЬЦЫ на товарной бирже никогда не упустили возможность заключить контракт на продажу всевозможных стандартных товаров по оговоренным на определенный срок ценам. Свиная кожа, нефть, золото, ценные бумаги и даже луковицы для тюльпанов — все это было предметом выгодных сделок. Теперь на двух биржах дельцам предлагают заключать срочные контракты на продукцию современной технологии — микросхемы динамической памяти произвольного доступа.

Динамическая память — это важнейшая функциональная часть компьютеров и таких устройств, как лазерный принтер и факсимильные машины. Микросхемы динамической памяти производятся в огромных количествах, и в основном японскими фирмами. В настоящее время, например, список бестселлеров возглавляют микросхемы емкостью 1 Мбит, содержащие миллион запоминающих элементов.

Можно ли рассматривать динами-

ческую память как обычный товар, которым торгуют на бирже? Определенно да, считают представители недавно организованной в Миннеаполисе торговой фирмы Twin Cities Board of Trade и известной биржи Pacific Stock Exchange в Сан-Франциско. В конце мая они заявили, что в следующем году намереваются начать торговлю микросхемами динамической памяти после того, как будет получено официальное разрешение властей. «Кажется, это неплохая идея», — заявил Э. Дейвис, бизнесмен из Чикаго, занимающийся торговлей товарами. В то же время изготовители микросхем и потребители этой продукции встретили данное предложение несколько настороженно и с большим любопытством.

«Микросхемы нельзя называть товаром, — возразил представитель фирмы Texas Instruments, одной из трех американских компаний, производящих блоки динамической памяти. — Микросхемы различаются по быстродействию, а требования, предъявляемые к корпусам, неодинаковы у различных фирм, производящих компьютеры и т. п.». Другой бизнесмен, пожелавший остаться неизвестным, сказал: «Мы считаем это предложение возмутительным».

Специалисты по торговле товарами заявляют, что они неплохо справляются с большим разнообразием сельскохозяйственных продуктов. На различающиеся продукты нужно заключать контракты с точным указанием соответствующих характеристик этих продуктов.

Как утверждает У. Таи, вице-президент корпорации Memory Clearing в Сан-Франциско, которая готовится к выходу на товарный рынок динамической памяти через биржу Pacific Stock Exchange, людям, покупающим и продающим товары, срочные сделки помогают застраховаться от изменения цен. Значительные колебания цен на микросхемы — явление обычное. Согласно данным фирмы Dataquest, занимающейся изучением рынка, в третьем квартале 1988 г. цена одной микросхемы памяти составляла 18,92 долл., а к третьему кварталу 1989 г. ожидается, что она упадет до 16,53 долл. Такие изменения опасны: во втором квартале нынешнего года доходы компании Apple Computer значительно снизились отчасти вследствие того, что компания приобретала мегабитные микросхемы динамической памяти по высоким ценам. (Представители Apple пока не комментировали предложение о создании товарного рынка микросхем.)

Возьмем, например, пользователя микросхем, решившего заключить срочный контракт на покупку микросхем. В январе он уже может знать,

что в июле его компании, вероятно, потребуется 10 000 микросхем емкостью 1 Мбит, но его беспокоит возможное повышение цен. Тогда он заключает срочный контракт с указанием фиксированной цены 18 долл. за штуку; к июлю цена выросла на 50 центов за штуку. В этой ситуации пользователь может продать свой товар по текущим ценам, заработав по 50 центов на каждой микросхеме, что покрывает дополнительные расходы при покупке микросхем за наличный расчет. Или же он может потребовать доставку микросхем, поставляемых по контракту, за счет поставщика. В любом варианте микросхемы не обойдутся дороже, чем он рассчитывал.

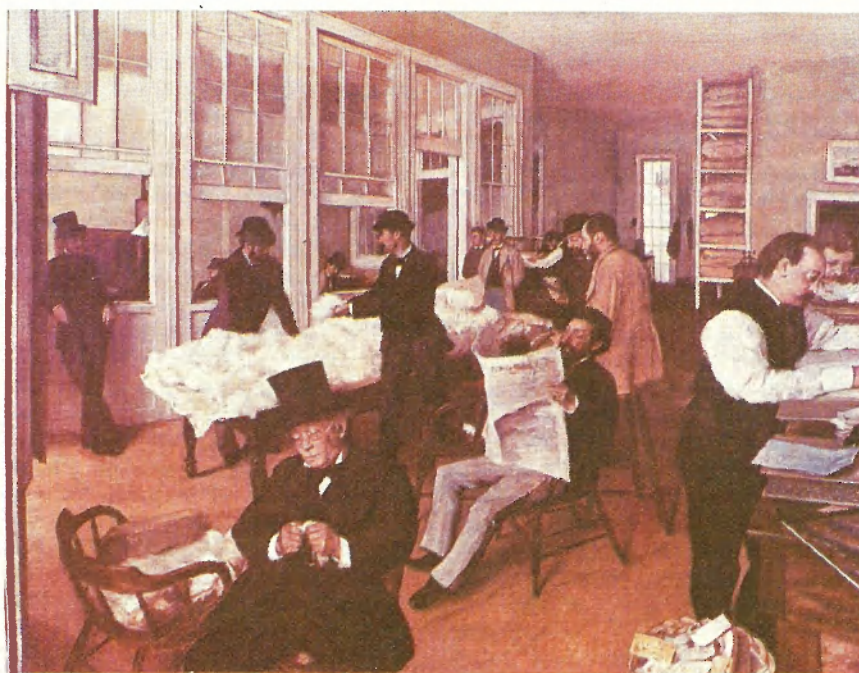
Представители фирм—изготовителей микросхем, таких как Texas Instruments, говорят, что они предпочитают сами строить «долговременные, стратегические взаимоотношения» со своими пользователями, с тем чтобы колебания цен и сроков поставок сделать более умеренными. Поэтому Таи считает, что первыми дельцами на товарном рынке динамической памяти будут агенты небольших компаний, избегающих вступать в рискованные взаимоотношения с крупными производителями.

Тем не менее обеим биржам, в Миннеаполисе и Сан-Франциско, предстоит еще многое сделать. Представители первой биржи, которая пока еще ничем не торгует, говорят, что сначала они собираются открыть «наличный» рынок динамической памяти, а

затем, если эта попытка окажется успешной, перейдут к торговле по контрактам. (Наличный рынок означает немедленную доставку покупателю приобретенного товара.) Биржа Twin Cities финансирует создание своей собственной информационной сети, чтобы обеспечить базу данных для потенциальных покупателей, продавцов и биржевых маклеров, торгующих микросхемами. Pacific Stock Exchange, крупнейшая биржа на западном побережье США, предлагает организовать только торговлю по контрактам.

Как говорят наблюдатели, успех или неудача торгового рынка динамической памяти зависит от того, какие именно микросхемы станут предметом торговли и насколько широко будут сформулированы условия контрактов. Многие компании уже предложили целый ряд пунктов, которые, по их мнению, должны быть оговорены в контрактах. Однако получит ли достаточную перспективу торговля микросхемами динамической памяти по контрактам с такими конкретными указаниями характеристик, как, скажем, время доступа 100 нс, пластмассовый корпус с 4 выводами для ввода/вывода, сказать пока трудно.

«Я не знаю, хороша или плоха эта идея [организация товарного рынка динамической памяти], — говорит Дж. Айверсон, президент американской ассоциации электроники, — однако интересно посмотреть, каков будет результат».



ТОВАРНАЯ БИРЖА ХЛОПКА в Новом Орлеане, изображенная Эдгаром Дега в 1873 г. Можно ли ее считать предшественником товарного рынка микросхем? Репродукция воспроизведена с картины из Granger Collection.

О скачках уплотнения, распространяющихся вдоль потока машин



ДЖИРЛ УОЛКЕР

ПРИ НЕ ОЧЕНЬ интенсивном движении на автостраде водитель может ехать примерно с постоянной скоростью и даже передать управление системе автоматического контроля скорости, если автомобиль ею снабжен. Напротив, при большой плотности машин водитель должен вовремя изменять скорость движения, если он хочет, двигаясь в основном потоке, избежать столкновений. Это довольно нудная процедура, но часто не требующая особого внимания. Иногда, впрочем, едущий впереди автомобиль так резко замедляет ход, что водитель вынужден изо всей силы давить на педаль тормоза: это заставляет его «проснуться» и переключить внимание на дорогу. Какие же условия создают столь опасную ситуацию?

Движение автомобилей на дороге определяется таким множеством факторов, что описать его количественно чрезвычайно трудно. И все-таки начиная с 1950-х годов было предложено несколько методов анализа, которые со временем совершенствовались. Все эти методы основаны на том, что поток машин уподобляется потоку жидкости; они позволяют рассчитать средние свойства потока, не принимая во внимание случайные флуктуации.

Один из первых результатов в этой области был опубликован в 1955 г. Майклом Дж. Лайтхиллом и Джералдом Б. Уиземом из Манчестерского университета. Они высказали предположение, что небольшие вариации плотности машин и их скорости распространяются вдоль по потоку в виде «кинематических волн». Если такие волны, имеющие существенно различные скорости, встречаются, образуется «скачок уплотнения»; в этом месте водители как раз и вынуждены резко тормозить. В зависимости от условий скачок уплотнения может распространяться в том же направлении, что и машины (вниз по потоку), в обратном направлении (вверх по потоку) или стоять на месте.

Две первые ситуации иллюстрируются на с. 79: это две серии «мгновенных» изображений потока машин, движущихся в одном ряду. Три «снимка» слева показывают скачок уплотнения, движущийся вниз по потоку, а три правых снимка — скачок уплотнения, движущийся вверх по потоку. В каждой серии снимков левый относится к более раннему моменту, а правый — к более позднему. В обеих ситуациях едущие быстро и с большими интервалами машины (в нижней части снимка) приближаются к плотно сбитой группе машин, движущихся медленнее (в верхней части снимка). Скачок уплотнения находится в том месте, где расположен автомобиль, который только что резко затормозил, чтобы избежать столкновения с последним из группы медленнее движущихся автомобилей. Заметим, что в первом случае (левая серия снимков) скачок уплотнения движется вниз по потоку, т. е. каждый последующий автомобиль проезжает несколько дальше, чем предыдущий, прежде чем его водитель вынужден начать тормозить. Во втором случае (правая серия снимков) скачок уплотнения движется вверх по потоку. Вначале я вкратце опишу метод, использованный Лайтхиллом и Уиземом, а затем покажу, как проверить их выводы, имея секундомер, видеокамеру и видеомагнитофон.

При анализе используются измерения, которые довольно трудно выполнить, но в результате мы получаем простой, но мощный метод, позволяющий описать возникновение и распространение кинематических волн и скачков уплотнения. Измерения позволяют рассчитать характеристики потока машин: «расход» (пропускную способность), плотность и среднюю скорость. Вначале проведем мысленно поперек дороги две линии на небольшом расстоянии L (скажем, 40 м) друг от друга. Теперь возьмем определенный промежуток времени T (например, 60 с) и посчитаем, сколько автомобилей проедут за время T че-

рез отрезок дороги длиной L , а также за сколько времени каждый автомобиль пройдет этот отрезок (назовем его транзитным временем). (Если вы просто стоите на обочине и наблюдаете за движением, измерить вторую величину невозможно; задача, однако, становится выполнимой, если снимать поток машин видеокамерой, так чтобы пленку можно было прокручивать многократно.)

Расход потока машин на отрезке L определяется как число машин, которое вы насчитали, деленное на время T . Чтобы определить плотность потока, вы суммируете все транзитные времена и делите сумму на произведение T и L . Наконец, средняя скорость равна делимому от расхода на плотность. (Это «уравнение» можно переписать в форме, которая будет использована ниже: расход равен произведению плотности на среднюю скорость.) Предположим, к примеру, что 20 машин проходят через отрезок дороги длиной 40 м за 60 с и что сумма их транзитных времен равна 36 с. Тогда расход на отрезке равен $1/3$ машины в секунду, плотность 0,015 машины на метр, а средняя скорость 22,2 м/с.

Эти результаты являются следствием выборочных измерений, поскольку от одного момента к другому число машин и их транзитные времена на отрезке L меняются. Если измерения повторить многократно, можно получить более определенные данные о том, каков средний поток машин на отрезке L . Я должен особенно подчеркнуть, что рассчитанная скорость — это условная величина. Если дорога очень загружена или, наоборот, свободна, большинство машин движется со скоростью, близкой к средней, но при других значениях плотности машин может оказаться, что ни один из автомобилей не движется со средней скоростью. Часть из них может двигаться даже намного быстрее, в особенности на шоссе с несколькими полосами, где нетерпеливый водитель меняет полосу движения при приближении к более медленно движущейся машине.

Представим теперь, что мы смотрим видеофильм и видим, как плотность дорожного потока постепенно растет от небольших значений до максимума, соответствующего «пробке», когда все машины останавливаются. Вначале редкий автомобиль, проходящий через отрезок L , движется с предельной скоростью. По мере возрастания плотности потока расстояние между машинами уменьшается до такой степени, что водители начинают зависеть друг от друга. Снижение скорости в такой ситуации может быть вызвано соображениями безо-

пасности: водитель боится, что идущая впереди машина может внезапно затормозить. Снижение скорости может быть вызвано также и тем, что при интенсивном движении затруднено маневрирование и водители вынуждены скапливаться за каким-нибудь медлительным водителем. По мере того как плотность потока возрастает, мы видим на экране телевизора, как средняя скорость продолжает падать по одной из указанных причин. В пределе плотность потока достигает максимума и машины останавливаются бампер к бамперу.

Что происходит с расходом при возрастании плотности потока? Вспомним, что расход выражается как произведение плотности и средней скорости, причем возрастанию плотности сопутствует уменьшение скорости. Вначале расход увеличивается благодаря возрастанию плотности и несмотря на уменьшение скорости. Затем эта тенденция сменяется на обратную: расход уменьшается в результате уменьшения средней скорости машин, несмотря на возрастание плотности. Результат можно выразить в виде «графика расхода», на котором величина расхода является функцией плотности (см. верхний рисунок на следующей странице). Заметим, что при некотором промежуточном значении плотности расход достигает максимума; такая ситуация наблюдается довольно редко. Интервалам между часами пик соответствует левая часть графика. В часы пик движение описывается правой частью. Переход от одного состояния движения к другому происходит обычно довольно быстро.

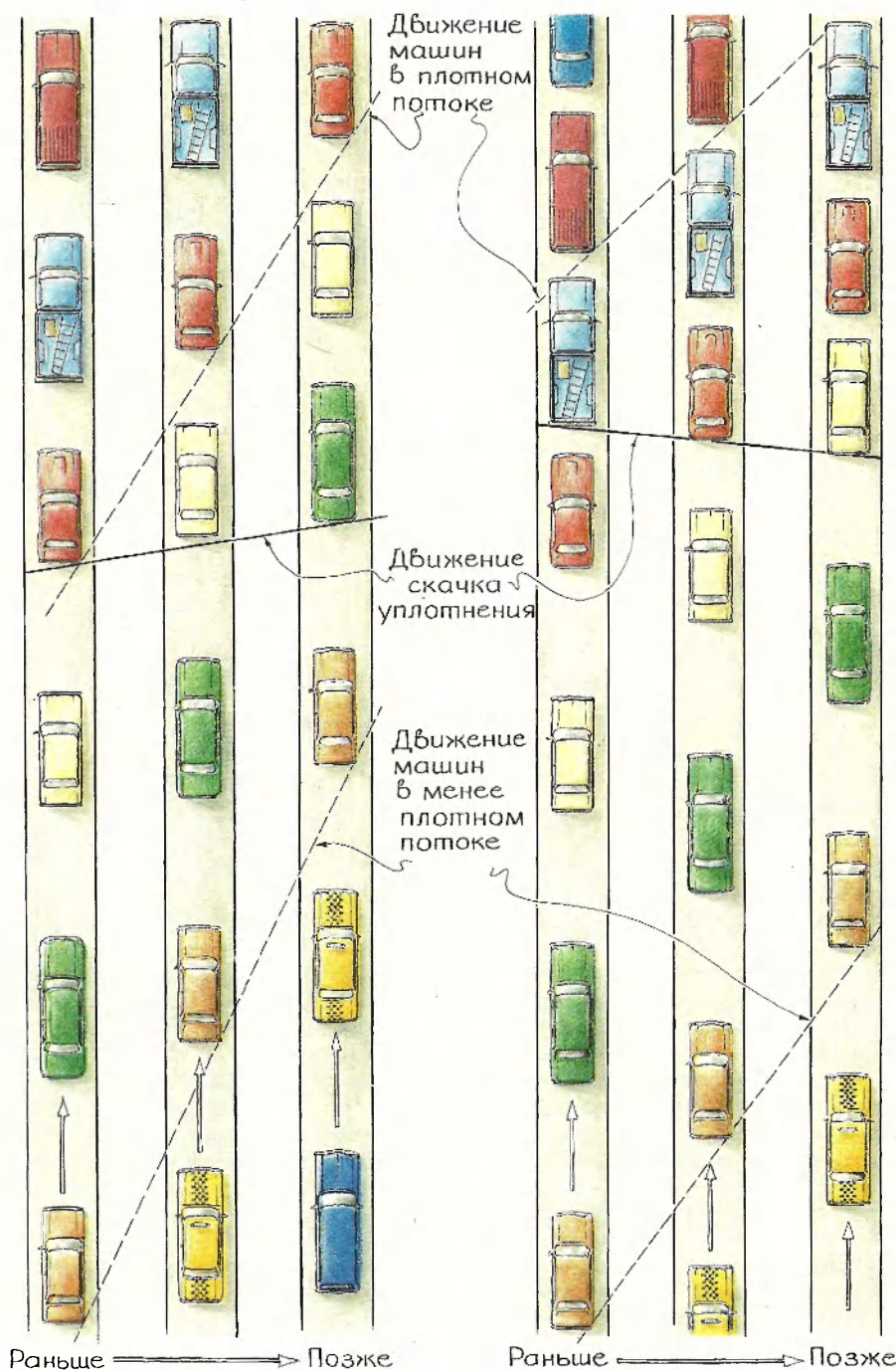
Если у вас есть график расхода, построенный по данным измерений, вы можете найти среднюю скорость автомобилей для данной плотности. Проведем прямую линию из начала графика в точку на кривой, которая соответствует интересующей нас плотности. Наклон этой линии и дает среднюю скорость при данном значении плотности. Возьмем одну точку в левой части графика (А) и одну в правой его части (В); нетрудно видеть, что наклон линии, как и ожидаемая средняя скорость, уменьшается. Взяв крайнюю правую точку на кривой, получим линию с нулевым наклоном, соответствующим автомобильной пробке.

В таком виде, в каком он был сейчас изложен, этот метод не имеет большой ценности для прогнозов, но Лайтхилл и Уизем указали и на другую особенность графика, показывающую, как распространяется по потоку машин кинематическая волна. Волна возникает в результате тех колебаний скорости машин, которые

являются результатом реакции водителей на небольшие изменения плотности потока. Предположим, вы движетесь в потоке с умеренной плотностью. Если ваш автомобиль и автомобиль, едущий впереди, движутся одинаково быстро, и если вы не хотите обогнать его, вам нужно просто поддерживать данную скорость. Если же водитель перед вами сбрасывает скорость, расстояние между вашими машинами сокращается, плотность увеличивается, и вы должны также снизить скорость. Ваша реакция не мгновенна: все действия занимают около

секунды. В следующую секунду начинает тормозить водитель, едущий за вами. Таким образом, процесс замедления движения распространяется назад в виде кинематической волны.

Аналогичная волна возникает и в том случае, когда едущая перед вами машина ускоряет ход, так что расстояние между вами увеличивается и плотность в данном месте падает. Спустя секунду вы тоже прибавляете скорость. Спустя следующую секунду ускоряет ход следующая за вами машина и т. д. В обоих случаях измене-



Автомобили, движущиеся в одном ряду, встречаются со скачком уплотнения, который распространяется вниз по потоку (слева) или вверх по потоку (справа)

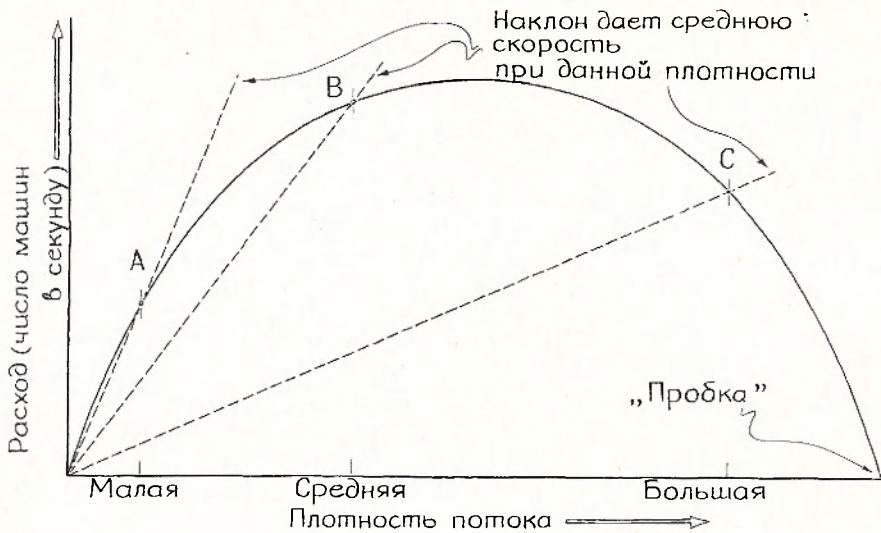
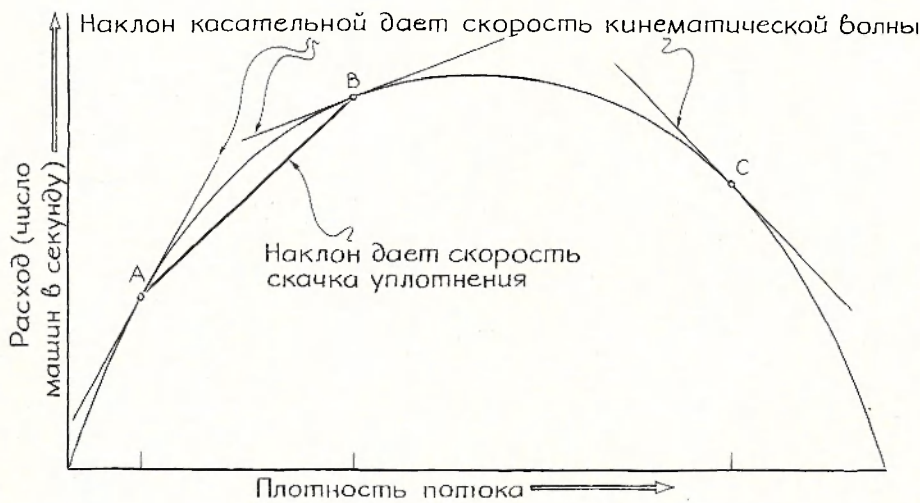


График расхода и определение средней скорости



Скорость распространения волн

ние скорости примерно компенсирует изменение плотности потока, так что расход (равный произведению этих двух характеристик) остается постоянным. По этой причине кинематические волны называют волнами с постоянным расходом: прохождение этих волн оставляет расход неизменным несмотря на небольшие флуктуации скорости отдельных машин.

Скорость распространения кинематических волн по потоку зависит от средней плотности потока и может быть определена из графика расхода (см. нижний рисунок на этой странице). Найдите на кривой точку, соответствующую данной плотности, и проведите к кривой касательную в этой точке. Скорость кинематических волн (относительно дороги или наблюдателя, стоящего у края дороги) равна наклону касательной. Если точка находится в левой части графика,

наклон положительный, и это означает, что волны распространяются вниз по потоку. Если точка лежит в правой части графика, наклон отрицательный и волны распространяются вверх по потоку. Если точка лежит на вершине кривой, касательная имеет нулевой наклон и волны неподвижны.

Во всех случаях скорость волн меньше средней скорости автомобилей и поэтому относительно потока волны движутся назад. Наблюдатель, стоящий на обочине, может не увидеть эти волны, поскольку связанные с ними флуктуации весьма незначительны. Их не замечаешь, даже если проезжаешь сквозь них на машине: вы лишь оцениваете расстояние до ближайшей машины и можете проследить за своими действиями, которые вам придется выполнять, чтобы согласовать скорость вашей машины со скоростью машины, идущей впереди.

Данные по средней скорости машин и скорости кинематических волн можно представить в более удобном для практического использования виде, если с графика расхода перенести их на «график расстояния», на котором расстояние вдоль дороги отложено как функция времени (см. левый рисунок на следующей странице). Нижняя часть нового графика соответствует началу данного отрезка шоссе, а верхняя — концу этого отрезка. Левая часть отражает условия в начале наблюдений, а правая — в более поздние моменты.

Предположим, что плотность и расход определяются точкой A на графике расхода. Проведем на этом графике прямую из начала координат в точку A, а затем проведем на графике расстояния линию с таким же наклоном. Эта вторая (пунктирная) линия отражает продвижение автомобиля, едущего со средней скоростью. Автомобиль «въезжает» в рисунок в начальный момент времени и затем равномерно движется по дороге. Можно провести и другие линии, соответствующие автомобилям, которые «въезжают» в рисунок в другие моменты времени и также движутся со средней скоростью.

С одного графика на другой можно перенести и информацию о кинематических волнах. Проведем касательную к кривой расхода в точке A, а затем, уже на графике расстояния, проведем серию линий с тем же наклоном, что и у касательной. Интервалы между ними не связаны ни с какими реальными характеристиками, но их наклон показывает, как распространяются эти волны вдоль отмеченного отрезка дороги. Волна, которая появляется в начале отрезка дороги, постепенно распространяется вниз по потоку (на рисунке снизу вверх). То же построение можно сделать, взяв точку B на графике расхода. В этом случае линии, представляющие среднюю скорость и кинематические волны, имеют меньший наклон, чем в предыдущем примере.

Если плотность машин достаточно велика, ей будет соответствовать часть графика в окрестности точки C. Средняя скорость в данном случае меньше, чем в предыдущих примерах, а кинематические волны теперь представляются линиями, имеющими отрицательный наклон. Это означает, что волна появляется где-то впереди на отрезке дороги и распространяется назад к его началу.

Графики помогают вообразить, как движется вдоль потока машин скачок уплотнения. Он может возникнуть в том случае, если по какой-то причине плотность машин внезапно увеличи-

ваются, так что средняя скорость резко падает. Например, скачок уплотнения может возникнуть тогда, когда на автостраду въезжает грузовик, который движется медленнее, чем весь поток. Водители, подъезжающие к грузовику сзади по той же полосе, вынуждены тормозить и плотность машин в этом месте возрастает. Флуктуации скорости и плотности распространяются назад по потоку приближающихся машин в виде скачка уплотнения.

Предположим, что до появления на дороге грузовика условия движения характеризовались точкой *A* на графике расхода, а после появления грузовика — точкой *B*. Наклон прямой, соединяющей точки *A* и *B*, равен скорости скачка уплотнения. Он составляет около половины среднего наклона касательных в точках *A* и *B*. Прямая имеет положительный наклон; это означает, что скачок уплотнения движется вниз по потоку. Чтобы проследить за его распространением, перенесем построенную линию на график расстояния (см. правый рисунок на этой странице). Дополним этот график, проведя линии, которые должны представлять кинематические волны и движение автомобиля со средней скоростью в условиях, характеризующихся точками *A* и *B* на графике расхода. Перед скачком уплотнения (выше на графике) условия описываются точкой *B*. За скачком условия они описываются точкой *A*. Заметим, что скачок уплотнения представляется линией, где кинематическая волна, распространяющаяся с одной скоростью, встречается с другой волной, распространяющейся с существенно отличной скоростью. В данном примере встреча волн приводит к возникновению скачка уплотнения, который распространяется вниз по потоку.

Предположим, вы должны проехать через такой скачок уплотнения. Вначале вы двигаетесь с умеренной скоростью в умеренно плотном потоке машин. Затем вы замечаете, что водитель перед вами резко замедляет скорость, и вы, чтобы избежать столкновения, должны резко тормозить. После этого вы продолжаете двигаться медленнее в более плотном потоке машин. Если скачок уплотнения возник в результате появления на дороге грузовика и если вы находитесь достаточно далеко от него, ситуация может показаться странной, поскольку, двигаясь по шоссе, вы не видите ничего, что указывало бы на причину задержки — например, следы аварии или ремонта дороги. Если грузовик постепенно набирает скорость, движение за ним также убыстрится и скопление машин рассасыва-

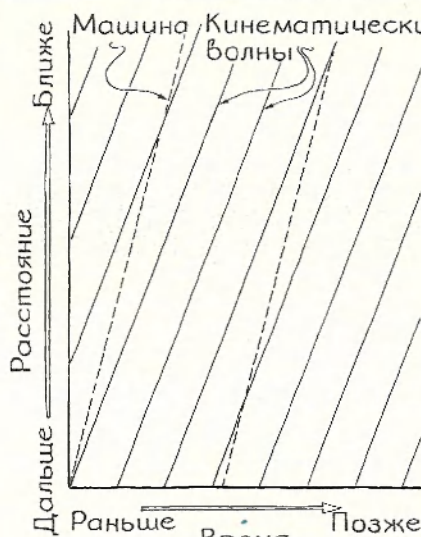
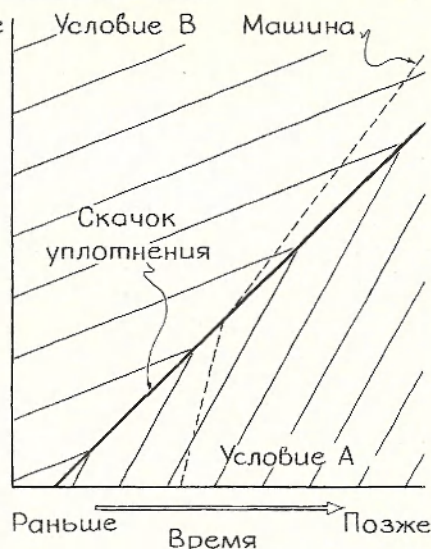


График расстояния



Построение скачка уплотнения, движущегося вниз по потоку

ется. Изменения скорости и плотности распространяются через плотно сбитую колонну машин и постепенно, быть может намного позже, докатываются и до вас.

Описанный скачок уплотнения распространяется вниз по потоку, поскольку линия, соединяющая точки *A* и *B* на графике расхода, имеет положительный наклон. Можно проанализировать ситуации, в которых линия, соединяющая две точки на графике расхода, имеет отрицательный наклон; в этом случае скачок уплотнения распространяется вверх по потоку. Если же наклон прямой равен нулю, скачок уплотнения неподвижен относительно дороги.

Однажды я решил понаблюдать за движением на участке автострады вблизи Кливлендского университета. Я хотел увидеть, как изменяется движение от полудня до часа пик, когда машины заполняют все три полосы шоссе. Для этого я расположился на мосту через автостраду, установив на нем видеокамеру. Камера смотрела навстречу движению, т. е. вверх по потоку. Съемка продолжалась около двух часов. Камера была снабжена весьма полезным устройством, которое записывало на пленке цифры часов и минут. (В такой ситуации важно установить видеокамеру над средней дорогой: если она сдвинута в какую-либо сторону от центральной линии, большой автобус или грузовик может заслонить легковые машины на соседней полосе.)

Вернувшись домой, я изучил видеопленку, применив метод Лайтхилла и Уизема для построения графика расхода. Чтобы привязаться к фиксированному отрезку *L*, я приклеил к экрану телевизора две узкие полоски

липкой ленты — одну у верхнего края экрана, другую у нижнего. В качестве начала интервала *T* я выбрал момент, когда на экране изменились цифры, указывающие минуты. Следующее изменение цифр дало конец интервала. За эти 60 спс экрану от нижней полоски до верхней «проехало» достаточно много машин. Затем я перемотал пленку и в начальный момент интервала *T* приступил к измерению с помощью секундомера того времени, которое потребовалось первому появившемуся в поле зрения автомобилю «проехать» от нижней полоски до верхней. Затем я снова перемотал пленку назад и измерил время проезда второго автомобиля и т. д. В определенный момент цифры минут на экране изменились на единицу. Это был конец интервала *T*. Автомобиль, за которым я следил в это время, стал последним из тех, что я включил в данные наблюдений.

Для того чтобы измерить действительное значение *L*, я мог бы привязаться к каким-то хорошо заметным особенностям дороги, расположенным рядом с полосками ленты на экране (следы колес, оставляемые при резком торможении, мусор и т. д.), а затем вернуться на место съемки и измерить расстояние между этими метками. Однако я выбрал более надежный метод. Дождавшись, когда появился школьный автобус, я остановил пленку и измерил на экране его длину и расстояние *L*. Позже, измерив действительную длину автобуса, стоявшего на школьном дворе, я определил и действительную величину *L*.

Измерения я проводил только для среднего ряда. Это создавало определенные трудности. Нужно ли было, например, включать в расчеты авто-

мобиль, если на отрезке L он перешел из одного ряда в другой? Если на соседних полосах движение отличается от движения на средней полосе, продвижение такого автомобиля будет отличаться от его продвижения в случае, если бы он оставался на одной полосе. В конце концов я решил включать такой автомобиль в расчеты, если он находился на средней полосе больше половины того времени, за которое он проезжал отрезок L .

Произведя такие измерения несколько раз на протяжении двухчасового периода съемки, я построил график расхода. Хотя точки оказались довольно разбросанными, проведенная через них кривая была похожа на идеальную кривую, построенную Лайтхиллом и Уиземом. Точки, характеризующие движение до часа пик, попали в левую часть графика, а те, что ассоциировались с часом пик, — в правую. Самая высокая точка на гра-

фике находится примерно посередине отрезка на оси плотности, отражая тот факт, что в данном месте расход был максимальным.

Я провел довольно много времени перед телевизором и смотрел «фильм», который снял, не производя никаких измерений. Я видел ускоряющиеся и замедляющие ход машины, но не замечал никаких кинематических волн. Вероятно, они были слишком слабыми. До часа пик они обычно движутся вниз по потоку, однако если в какой-то момент плотность машин существенно возрастает, они начинают двигаться вверх по потоку. В часы пик они всегда распространяются вверх по потоку. Всякий раз, когда возникал скачок уплотнения, — а судить об этом можно было хотя бы по визжанию тормозов, — я радовался, что наблюдаю за движением машин с экрана, а не из окна автомобиля.

Т. Уотсона фирмы IBM, высказываются в пользу гипотезы о «колоссальных смещениях потока». В этом процессе, как они считают, отдельные силовые линии под действием силы, создаваемой током, «перескакивают» с одного места на другое; в конце концов вся решетка «скользит» в направлении тока.

Д. Бишоп из AT&T Bell Laboratories, который с помощью электронного микроскопа получил небезынтересные для рассматриваемой проблемы снимки с изображением «дрожащих» линий потока, является сторонником гипотезы о фазовом переходе. Точку зрения Бишоп разделяет Д. Нельсон из Гарвардского университета, который уподобил сплошную решетку силовых линий коробке, наполненной макаронами; по мере увеличения температуры, как указывает Нельсон, линии потока «размягчаются» и растекаются, образуя в конечном итоге массу перепутанных линий.

Фактически из расчетов Нельсона следует, что магнитные силовые линии могут вести себя подобно длинным полимерным цепочкам, которые на неожиданно возникающие силы реагируют так же, как твердые вещества, но «перетекают» они медленно за более долгий период. Даже нежесткие линии магнитного потока, как говорит Нельсон, могут сильно противостоять растеканию.

А тем временем, не задумываясь над ходом полемики, ученые-материаловеды работают над созданием сверхпроводников, которые сохраняли бы решетку силовых магнитных линий устойчивой. Как утверждает М. Бисли из Стэнфордского университета, сверхпроводящие тонкие пленки, способные проводить большие токи при сильных магнитных полях, «являются доказательством существования» структур, которые могут удерживать решетку силовых линий не смещенной. Сунхо Цзинь из Bell Laboratories считает, что тонкие пленки имеют больше кристаллических дефектов, которые способны захватывать и удерживать силовые линии магнитного потока, но никто не знает, как воспроизвести такие дефекты в сплошных сверхпроводниках.

Р. ван Доувер, коллега Сунхо Цзиня, указывает, что сверхпроводники на основе иттрия, излучающие быстрые нейтроны, могут увеличивать пороговое значение тока в 10 раз, что свидетельствует о возможности подобного повышения этого порога у материалов с более высокими критическими температурами. Однако Бишоп считает, что это же свойство, обуславливая у некоторых сверхпроводников высокие критические темпе-

Наука и общество

От надежды к разочарованию

КОГДА в 1986 г. впервые широко заговорили о высокотемпературных сверхпроводниках, некоторые ученые и многие обозреватели предсказывали наступление «золотого века», когда сверхбыстродействующие компьютеры, поезда на магнитной подушке и сверхмощные магниты преобразят облик мировой экономики. Все эти новые технические средства будут охлаждаться жидким азотом, который «дешевле пива». Прошло три года, и сейчас уже вырисовывается менее оптимистичная картина. «Радужные надежды на сверхпроводники начали меркнуть», — восклицает «Нью-Йорк таймс», «Партия проиграна?» — задается вопросом «Сайенс».

Мрачный смысл этих заголовков навеян не столько неверием в значимость самого научно-технического достижения, сколько неожиданно принявшим широкий размах соперничеством между сторонниками двух теорий, в которых делаются попытки объяснить, почему высокотемпературные сверхпроводники утрачивают высокую проводимость больших токов при воздействии магнитных полей. Это нежелательное явление, как заявляют ученые, делает невозможным в настоящее время реализацию идей о создании систем магнитно-

резонансного изображения и поезда на магнитной подушке, поскольку нельзя изготовить требующиеся для них дешевые электромагниты. В то же время те области, где применение сверхпроводимости не связано с большими токами и сильными магнитными полями, такие как создание сверхпроводниковых датчиков магнитных полей и не имеющих сопротивления проводников для микросхем компьютеров, развиваются быстрыми темпами.

Физикам и материаловедам уже более года известно, что при пропускании электрического тока по высокотемпературному сверхпроводнику, находящемуся в магнитном поле, возникает сила, действующая на силовые линии магнитного потока, пронизывающего этот сверхпроводник; под воздействием этой силы магнитный поток становится направленным вдоль проводника и создает в нем электрическое сопротивление. Спорным является вопрос о том, остается ли при этом «решетка» силовых линий магнитного потока фактически целой в процессе деформирования или она претерпевает фазовый переход, подобный тому, который имеет место, когда лед превращается в воду. Эксперименты, которые могли бы ответить на этот вопрос, еще предстоит провести.

Представители одного направления, в числе которых А. Малоземофф из Исследовательского центра

ратуры (за счет ослабления связи между проводящими плоскостями), способствует тому, что решетки силовых линий магнитного потока становятся гибкими и легко «расплавляющимися».

Бишоп полагает, что и широкая реклама, и достаточно длительное время, потраченное на то, чтобы новые открытия достигли стадии практической реализации, содействуют неизбежному и в дальнейшем колебанию между восторгом и отчаянием. А. Вольски из Аргоннской национальной лаборатории заявляет: «Нас не должно удручать сознание трудности стоящей перед нами задачи».

Усилитель солнечной энергии

ЭНЕРГИЯ, излучаемая Солнцем, на пути к Земле существенно ослабляется за счет дисперсии. К тому моменту, когда солнечное излучение достигает нашей планеты, оно уже настолько слабо, что по крайней мере все живое может выносить его, не прибегая ни к какой иной защите, кроме той, которую обеспечивает атмосфера.

Ослабление, о котором идет речь, ограничивает возможности использования солнечной энергии. Перед нами, как утверждают специалисты, открылось бы немало новых ее применений, если бы мы нашли способ, обеспечивающий доступ к «первородному» излучению Солнца. Группа ученых во главе с Роландом Уинстоном из Чикагского университета продемонстрировала, как достичь этого. Ученые соорудили коллектор, который способен концентрировать солнечный свет и создавать такую его интенсивность, которая, похоже, выше, чем на поверхности самого светила.

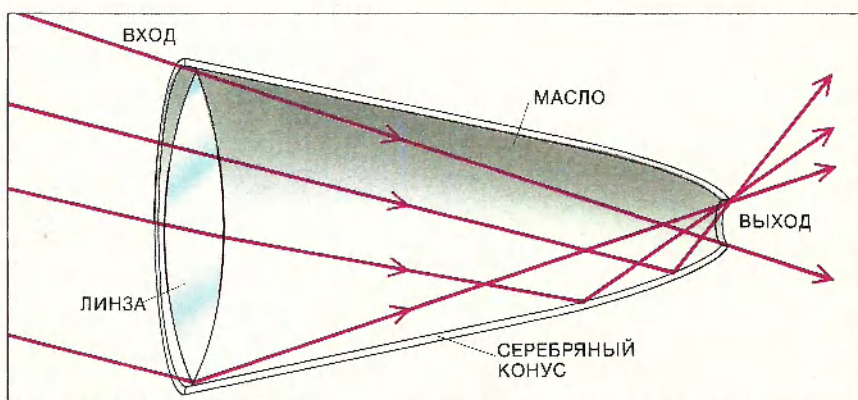
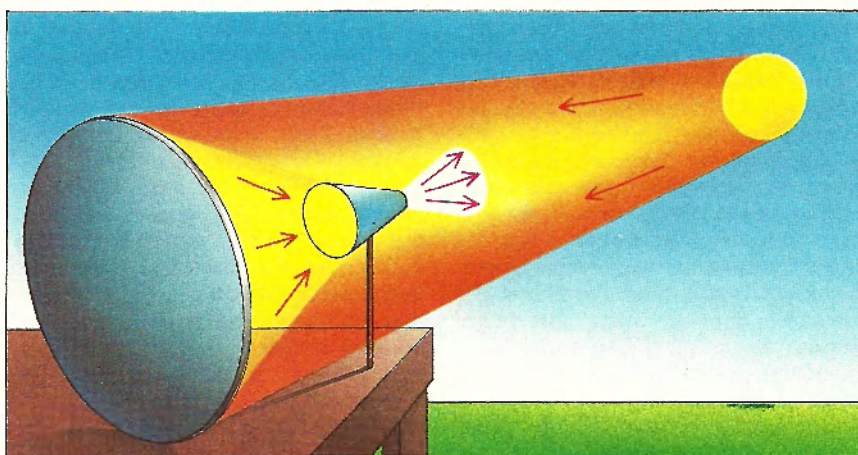
Вместо обычных оптических систем, которые используются для получения изображений и возможности которых концентрировать световую энергию весьма ограничены, Уинстон использовал иной подход, не имеющий ничего общего с принципом формирования оптического изображения. В его установке параболическое зеркало направляет свет на линзу, установленную на широком конце полого серебряного конуса, заполненного маслом с высоким показателем преломления. Секрет установки заключается в особой конфигурации внутреннего пространства конуса, которое образуется искривленной поверхностью, описываемой сложными математическими формулами. По словам Уинстона, это сделано с помощью метода «краевого луча»: все

световые пучки, поступающие на вход конуса даже под самыми большими углами падения, отражаются не более одного раза от внутренней поверхности, прежде чем достичь выходного отверстия на узком конце конуса. «Такая конфигурация, — говорит Уинстон, — обеспечивает максимально возможную концентрацию».

Устройство Уинстона, имеющее небольшие размеры, способно усиливать солнечный свет в 56 тыс. раз и создавать излучение плотностью 4,4 кВт/см². Если вместо серебряного конуса с масляным наполнением использовать сплошной конус из соединения иттрия, алюминия и гранита (широко используемого в лазерной технике), то, как надеются ученые, коэффициент усиления солнечного света можно довести до 80 000: указанное соединение обладает намного большим показателем преломления, чем масло, и способно отражать свет внутри практически без потерь. Выходной луч в экспериментальной установке Уинстона, описание которой приведено в журнале «Nature», имеет диаметр не более 1 мм. Лаборатория

Института солнечной энергии в Голдене (шт. Колорадо) планирует построить аналогичную установку, в которой, как предполагают, будет использовано отражающее зеркало диаметром около 1 м; диаметр луча на выходе будет не более нескольких сантиметров.

В Израиле и Японии некоторые другие виды коллекторов солнечной энергии с нетрадиционной оптикой уже начали находить коммерческое применение в различных установках, работающих на солнечной энергии. В США в настоящее время изучаются потенциальные возможности использования изобретения Уинстона для генерации энергии. По словам сотрудника Института солнечной энергии Дж. Торнтона, в перспективе установка Уинстона может также найти применение во многих других областях. Как предполагает Торнтон, солнечный свет чрезвычайно высокой интенсивности можно будет использовать для высокотемпературной обработки материалов, разложения токсичных веществ и для накачки лазеров.



УСТРОЙСТВО, созданное Р. Уинстоном и его коллегами из Чикагского университета, в схематическом изображении. На верхнем рисунке показано, как свет, попадая на параболическое зеркало, отражается от него и направляется в полый конус. В конусе (внизу) световые лучи концентрируются на его узком конце за счет использования принципа «краевого луча».

Занимательный компьютер

Клеточная вселенная и ее развитие во времени и пространстве



А.К. ДЬЮДНИ

«Клеточные автоматы — это стилизованные, синтетические вселенные... У них свой вид материи, кружащейся в своем пространстве и времени».

Т. ТОФФОЛИ и Н. МАРГОЛАС,
Машины на клеточных автоматах

НЕКОТОРЫЕ математические системы, хотя имеют простое описание, способны порождать миниатюрные вселенные невероятной сложности. Эти меры не доступны ни телескопам, ни космическим кораблям, их можно исследовать только с помощью компьютеров. Одним из примеров является множество Мандельброта (о котором уже неоднократно писалось в статьях нашей рубрики). Элементы множества определяются путем итерирования простых арифметических операций, однако, когда результаты появляются на компьютерном экране, мы видим потрясающие по сложности изображения. Клеточные автоматы порождают, по-видимому, еще более удивительные миры, потому что, подобно нашему, они изменяются во времени.

Ну а самый лучший пример такой миниатюрной вселенной дает нам но-

вый тип клеточного автомата, открытый Дейвидом Гриффитом из Висконсинского университета в Мадисоне. Стартуя из произвольно выбранного исходного состояния, автомат демонстрирует четыре различные фазы, завершающиеся причудливыми кристаллическими образованиями, сильно напоминающими примитивные формы жизни.

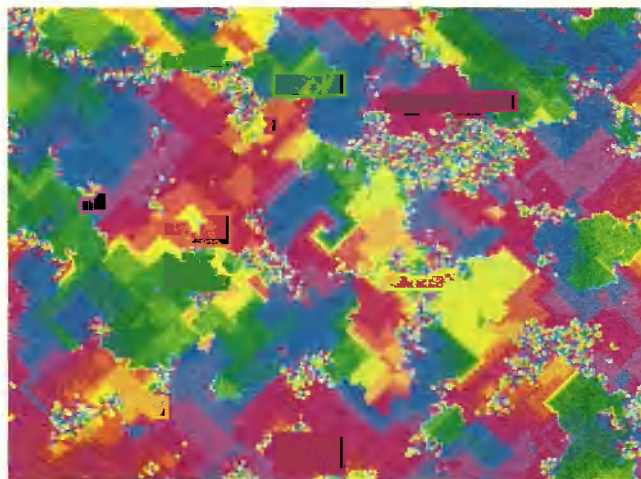
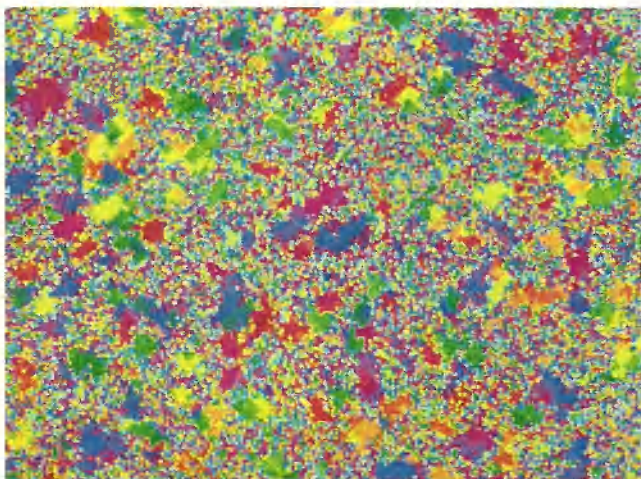
Клеточный автомат состоит из бесконечной решетки клеток, каждая из которых находится в одном из нескольких возможных состояний. Каждая клетка меняет свое состояние синхронно с очередным тактом воображаемого часового механизма и в соответствии с набором несложных правил. Реализованные на компьютере клетки представляют собой пиксели (точечные элементы изображения) на экране; различным состояниям клеток соответствуют различные по окраске пиксели. При правильно выбранном наборе правил и исходных состояний компьютерный клеточный автомат может порождать чрезвычайно интересные цветные узоры, изменяющиеся во времени.

Изобретение Гриффита, которое я буду называть циклическим про-

странством и которое способно продемонстрировать удивительные явления, представляющие научный интерес и необыкновенно красивое зрелище, основано на чрезвычайно простом правиле. Оно заключается в том, чтобы пронумеровать возможные состояния от 0 до $n - 1$ и считать, что если клетка находится на данном такте в состоянии k , то на следующем такте она должна «съесть» любые соседние клетки, находящиеся в состоянии $k - 1$. Съедание проявляется в том, что съеденная соседняя клетка переходит из состояния $k - 1$ в состояние k . Это правило напоминает действующую в природе систему поедания высшим существом низшего: клетка в состоянии 2 может съесть клетку в состоянии 1, в то время как последняя поедает клетки в состоянии 0. Однако в циклическом пространстве эта цепочка не имеет конца, потому что клетка в состоянии 0 может поедать соседние клетки в состоянии $n - 1$.

На основе этого одного простого правила циклическое пространство способно превращать случайное распределение окрашенных точек в стабильные спиралевидные образования. Исходную хаотическую стадию Гриффит называет «осколками» — и не без оснований: на начальном этапе циклическое пространство выглядит как беспорядочная свалка предметов неправильной формы. Однако через какой-то промежуток времени осколки сменяются маленькими капельками, по которым пробегают внутренние цветовые волны. Капельки растут, пока не заполнят все циклическое пространство. В этот момент начинают выкристаллизовываться спиралевидные объекты, изящные структуры, питающиеся в ходе непрерывного вращения.

Каждая спираль возникает из того, что Гриффит называет дефектом —



Циклическое пространство с 14 состояниями в фазе осколков (слева) и капель (справа)

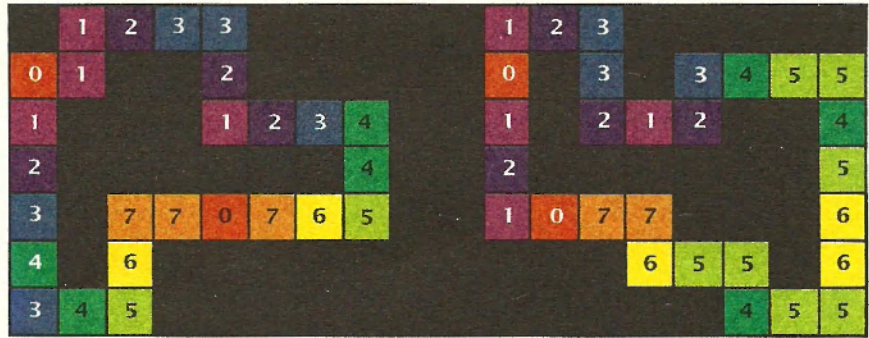
этот термин заимствован из кристаллографии. Спирали растут медленно и величественно, но в конце концов им становится тесно и они начинают бороться за жизненное пространство. Одни уступают в борьбе, другие же продолжают доминировать вплоть до заключительной фазы в развитии циклического пространства. Такие долгоживущие спирали Гриффит называют демонами.

Независимо от того, велико или мало количество возможных состояний, развитие всегда идет по одному и тому же сценарию: осколки сменяются каплями, затем появляются дефекты и демоны. Первые три фазы характеризуются свойством метастабильности: они удерживаются в течение большого количества циклов, прежде чем уступят место следующей фазе.

Рассмотрим циклическое пространство, обладающее двадцатью возможными состояниями. Почему первоначальное случайное распределение состояний оказывается метастабильным? Другими словами, почему требуется довольно длительное время, прежде чем обширные области на экране изменят свою мелкодисперсную хаотическую структуру? (Конечно, время от времени и на начальной стадии возникают пульсирующие капельки, но в целом они не меняют картины.)

На самом деле ответ тут очень простой. Скажем, если клетка находится в состоянии 5, то насколько велика вероятность, что по крайней мере одна из 4 соседних клеток будет в состоянии 4? Очевидно, невелика. При 20 дозволённых состояниях эта вероятность будет приблизительно равна 0,19. Но даже если одна из соседних клеток окажется «съедобной», велика ли вероятность, что на следующем такте либо у данной клетки, либо у «съеденной» по соседству окажется клетка в состоянии 4? Это вероятностное рассуждение объясняет картину, наблюдаемую на экране компьютера, когда циклическое пространство начинает эволюционировать от исходного случайного распределения клеточных состояний: после нескольких спорадических изменений циклическое пространство входит в состояние застоя.

Однако это не полный застой. Вспомним о нескольких изолированных каплячках. По поверхности каждой капли прокатываются волны, которые, отражаясь от окружающих осколков, изменяют направление движения. Этот процесс, по-видимому, не только поддерживает жизнь в капле, но и способствует ее росту: клетки из окружающих осколков вовлекаются в процессы, протекающие внутри капли. Увеличивающиеся кап-



Два цикла, один из которых (справа) является дефектом

ли постепенно сливаются друг с другом, оставляя все меньше рассеянных островков из осколков. Что заставляет капли расти?

Одним из факторов, гарантирующих постоянный рост капли, является наличие цикла: замкнутой цепочки клеток, в которой состояние каждой клетки отличается от состояния прилегающих к ней клеток не более чем на 1 (см. рисунок сверху). Таким образом, если взять любую клетку, принадлежащую циклу, то состояние следующей клетки можно получить прибавлением 1, -1 или 0 к состоянию данной. (Напомним, что в циклическом пространстве наивысшее состояние отличается от состояния 0 также на 1.) Если просуммировать по всей замкнутой цепи разности состояний при переходе от клетки к клетке, то окончательная сумма может получиться и не равной 0. Цикл, обладающий такой характеристикой, будет неопределенно долго поддерживать процесс роста капли. На самом деле

это и есть дефект, основа третьей метастабильной фазы в развитии циклического пространства.

Клеточные процессы, обусловленные дефектом, отличаются от процессов, протекающих в бездефектном цикле. Дефект заставляет окружающие клетки изменять состояние в регулярном ритме. На компьютерном экране область, окружающая дефект, приобретает изящную спиральную геометрию. В конце концов все циклическое пространство (или по крайней мере та его часть, которая видна на экране) полностью покрывается такими спиралями.

Каким образом образуются дефекты по мере того, как циклическое пространство эволюционирует от исходного состояния, когда оно представляет собой «грудю» осколков? Конечно же, дефект может существовать с самого начала клеточной вселенной. На самом деле, если учесть, что циклическое пространство бесконечно, то среди осколков статистически га-



Циклическое пространство в фазе дефектов



Циклическое пространство в заключительной фазе демонов

рантировано наличие дефектов. И все же дефекты обычно образуются там, где их раньше не было. Как? Я предлагаю читателям построить маленький прямоугольник из клеток, который на данный момент не содержал бы дефекта, но в дальнейшем породил бы его. Для этого нужно выработать некоторый несложный тест (конечно, не такой, который компьютер выполнял бы в течение долгого времени), определяющий области, где в дальнейшем должен появиться дефект.

Четвертую и последнюю фазу трудно визуально отличить от третьей. По словам Гриффита, некоторые дефекты оказываются «эффективнее» других в том отношении, что они действуют как часовой механизм с n состояниями: прохождение клеточных состояний по самому внутреннему циклу требует в точности n тактов. Спирали, движущиеся в более медленном ритме, поглощаются более эффективными спиралями. Такие эффективные спирали и являются демонами, которые населяют четвертую фазу циклического пространства. Они обустроиваются на вечное существование, отделяясь от соседних демонов невидимыми, но прочными барьерами.

Возможно Гриффит и не открыл бы циклическое пространство, если бы Норман Марголас и Томасо Тоффолли из Массачусетского технологического института не разработали машину на клеточном автомате (Cellular Automaton Machine), сокращенно САМ. Эта машина состоит из нескольких больших микросхем на плате, вставляемой в стандартные

гнезда персонального компьютера. В интегральных микросхемах каждая клетка автомата представляется отдельной ячейкой памяти, содержимое которой изменяется с помощью специальных управляющих логических схем. При максимальном быстродействии САМ способна перевычислять клеточный массив размером 256×256 со скоростью 60 раз в секунду.

К сожалению, стоимость этого устройства довольно высока. Тем не менее читатели могут создать свою собственную модель циклического пространства (хотя и более медленную по сравнению с САМ) под названием DEMON, переведя приведенное ниже алгоритмическое описание на наиболее привычный для них язык программирования. В алгоритме используются два массива: *new* (новый) и *old* (старый), содержащие соответственно текущие и предшествующие состояния клеток циклического пространства.

```
repeat until нажата клавиша
for i - 1 to 100
  for j - 1 to 100
    for каждый сосед (k, l) клетки (i, j)
      if old (k, l) = old (i, j) + 1
        then new (i, j) - old (k, l)
for i - 1 to 100
  for j - 1 to 100
    показать new (i, j)
    old (i, j) - new (i, j)
```

Внешний цикл, заканчивающийся, когда пользователь программы DEMON нажимает определенную клавишу, управляет повторением основных циклов проверки и высвечивания состояний клеток. Разумеется, возможны и другие способы построе-

ния такого цикла. Читателям, компьютеры которых имеют небольшую память, мы советуем ограничиться сравнительно маленьким массивом клеток, скажем 50×50 . В приведенных здесь двух внутренних циклах размеры клеточного массива предполагаются равными 100×100 . Клетка с координатами (i, j) находится на пересечении i -й строки и j -го столбца.

В самом внутреннем цикле программы DEMON проверяется состояние каждой из четырех клеток, прилегающих к клетке (i, j) . (Поэтому читателям в своих версиях алгоритма нужно включить инструкции, присваивающие значения $i - 1$ и $i + 1$ индексной переменной k , когда l равно j . Аналогичным образом, значения $j - 1$ и $j + 1$ должны быть присвоены l , когда k равно i .) Если состояние одной из соседних клеток оказывается на 1 больше состояния клетки (i, j) , то клетка (i, j) должна быть съедена: ее состояние становится равным состоянию этой соседней клетки.

В программе DEMON при вычислении значений $old (i, j) + 1$ должно применяться сложение по модулю. Другими словами, если $old (i, j)$ оказывается равным $n - 1$, т. е. наивысшему состоянию, то сумма $old (i, j) + 1$ должна быть равна 0. Следовательно, если число состояний было выбрано равным 10, то возможные состояния — это 0, 1, 2, ..., 9 и $9 + 1 = 0$. Если состояние клетки изменяется, то его новое значение нужно присвоить элементу массива $new (i, j)$.

В двойном цикле, следующем за циклом проверки, высвечиваются все клетки, содержащиеся в массиве *new*, а в массиве *old* старые значения заменяются соответствующими значениями из *new*. Чтобы выяснить, как высвечивать клетки на компьютерном экране, читатели могут ознакомиться с описанием этой процедуры в наших предшествующих статьях, в частности в статье за прошлый месяц.

Арифметические операции должны выполняться по модулю не только по отношению к значениям состояния клеток, но и по отношению к индексным переменным i и j . Простейший способ создать иллюзию бесконечного пространства заключается в том, чтобы придать экрану свойство замкнутости. Клетки в крайне правом столбце считаются прилегающими к клеткам крайне левого столбца, а клетки нижней строки — прилегающими к клеткам верхней. Для этого нужно воспользоваться значениями индекса от 0 до 99, а не от 1 до 100. Таким образом, клетка, прилегающая справа к клетке (23,99), будет иметь координаты (23,0). Следовательно,

числа $i - 1$, $i + 1$, $j - 1$ и $j + 1$, являющиеся индексами соседей клетки (i, j) , должны браться по модулю. В большинстве языков программирования существуют инструкции, которые делают это автоматически.

Конечно, программа DEMON должна позволять пользователю «инициализировать» клеточное пространство начальными значениями состояний. Для этого в алгоритме можно предусмотреть средство, позволяющее пользователю указать желаемое количество возможных состояний, а также организовать цикл, задающий каждой клетке пространства исходное, случайно выбранное состояние из допустимого диапазона чисел.

Каким же лучше всего выбрать число возможных состояний? Это зависит от того, как долго сможет ждать читатель, пока все четыре фазы не сменяют друг друга на экране компьютера. Если число состояний очень велико, скажем больше 25, то случайно проинициализированный массив размером 100×100 , вероятно, вообще не будет эволюционировать. С другой стороны, когда число состояний мало, то фазы сменяют друг друга слишком быстро, и это тоже не интересно. Гриффит рекомендует выбирать число состояний в интервале от 12 до 16.

Несколько месяцев назад я говорил, что собираюсь нанести визит в Висконсинский университет, чтобы рассказать о деятельности так называемой «мафии исследователей частиц», членом которой является также Гриффит. (Это название объясняется тем, что на раннем этапе область науки, изучающая системы частиц, была связана с именем Фрэнка Спитцера, математика из Корнеллского университета, т. е. из той местности, где (согласно голливудской легенде) скрывалась когда-то штаб-квартира мафии.) Публикации и лекции Спитцера, посвященные системам частиц, способствовали популяризации этой области науки в Северной Америке; аналогичную роль сыграла работа его коллеги Р.Л. Добрушина в Советском Союзе. Несколько студентов, учившихся у Спитцера в Корнеллском университете, а также ряд других его последователей занялись играми, основанными на системах частиц. Помимо Гриффита можно назвать также таких исследователей, как М. Брамсон (тоже из Мадисона), Р. Деррет из Корнеллского университета и Т. Лиггет из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе.

Что же собой представляет система частиц? Обычно под такой системой подразумевается клеточный автомат, в котором в каждый момент лишь од-

на клетка может изменять свое состояние — зачастую случайным образом. Алгоритм диффузионно-ограниченной агрегации, описанный в нашей февральской статье, является одним из примеров. В данном случае единственная частица совершает случайное движение по решетке клеток до тех пор, пока не встретится с растущим агрегатом. Она застывает на месте, и в тот же момент другая частица начинает движение. Со временем агрегат всегда приобретает форму в виде дерева.

Системы частиц поставили перед исследователями ряд важных и трудных проблем, не последнее место среди которых занимает, в частности, вопрос, касающийся долговременной устойчивости определенных фаз, возникающих в ходе эволюции подобных систем. Хотя циклическое пространство и не относится к традиционным системам частиц, Гриффит считает, что оно по крайней мере дает модель локально периодических волновых объектов, которая, благодаря своим простым правилам, значительно легче поддается математическому изучению. И действительно, недавно он доказал теорему, которая дает для каждого возможного размера массива и числа состояний вероятность того, что циклическое пространство никогда не выйдет из своей первоначальной фазы осколков.

Ну а для нас с вами циклический клеточный автомат по крайней мере представляет возможность исследовать свойства миниатюрной вселенной. Конечно, она намного проще той Вселенной, в которой мы живем, но у нее есть свои неведомые нам красоты и удивительные явления.

НАША статья в июньском номере Журнала, посвященная шуточной теме о получении материи из ничего, вызвала многочисленные отклики читателей. В статье рассматривались два метода получения «дополнительной» материи, оба основанные на парадоксах. Первый метод заключался в разрезании квадрата 8×8 дюймов на четыре части, из которых затем собирался прямоугольник размером 5×13 дюймов. Если эту операцию применить к квадрату, сделанному из золота, то можно было бы быстро обогатиться.

Большинство читателей решило «парадокс», тщательно изучив приведенный в статье чертеж. Собранный прямоугольник, конечно, был подделкой (на что явно указал Липоф). Если попытаться собрать из фрагментов квадрата прямоугольник, как показано на рисунке, то в его середине будет зазор. Его площадь в точности равна

одному квадратному дюйму. Следовательно, первый «парадокс» вовсе не является парадоксом. Это старый трюк, с которым я впервые познакомился, прочитав очаровательную книгу Р. Рида «Танграммы».

Второй парадокс совершенно реален, даже если он, несмотря на утверждения Липофа, и не может быть применен для производства материи. Парадокс Банаха — Тарского гласит, что шар можно разрезать на конечное число фрагментов таким образом, что из них можно собрать другой сплошной шар вдвое большего объема! Восклицательный знак, поставленный мною, возможно покажется излишним тем читателям, которые отдают себе отчет, что эти «фрагменты» совсем не просты и их лучше описывать как математические множества.

Схема, иллюстрирующая описание парадокса, была заимствована из книги С. Вэйгона, сотрудника колледжа Смита, под названием «Парадокс Банаха — Тарского». На рисунке двумерное гиперболическое пространство проектируется на плоский круг двумя различными способами. Рисунок служит наглядной демонстрацией парадоксальной природы пространства. Показаны три множества, каждое из которых одновременно равно половине и третьей части пространства. Теорема, положенная в основу иллюстрации, была результатом совместной работы Вэйгона и Яна Мицельски из университета Колорадо в Боулдере.

В последнее время парадокс Банаха — Тарского стал привлекать внимание математиков в связи с работами Миклоша Лашковича из Будапештского университета (см. заметку в рубрике «Наука и общество» в сентябрьском номере нашего журнала). Лашкович доказал, что круг можно разложить на конечное число фрагментов (на самом деле это число меньше 10^{50}), а затем собрать из них квадрат той же площади.

Перед читателями книги Д. Шаши «Удивительные приключения доктора Экко» было поставлено 10 задач, решение которых давало право на титул «всеведущего», учрежденный самим доктором Экко. Победителями конкурса стали Ф. Гэлвин из Лоуренса (шт. Канзас) и Л. Брайт из Линкольна (шт. Небраска), который выиграл также главный приз, шахматный набор, присужденный ему по жребию.

Одна из задач этого конкурса заключалась в том, чтобы придумать оптимальное расположение комнат в антарктическом исследовательском центре. Здание должно состоять из 31 комнаты, каждая площадью 20 квадратных футов. Ни одна из комнат не

должна иметь больше 4 дверей, а толщину стенок можно считать пренебрежимо малой. Комнаты и двери должны быть расположены так, чтобы из любой заданной комнаты можно было перейти в любую другую, не проходя по пути более чем через 6 дверей.

Наилучшее решение прислал Б. Л. Платт из Вудз-Кросса (шт. У Юта). Читатели могут попытаться повторить решение Платта, воспользовавшись древовидной структурой. Возможно, придется поэкспериментировать с натуральной моделью,

чтобы удостовериться в существовании разумного архитектурного решения. Может быть, нашим всемогущим архитекторам удастся и более оригинальная схема расположения, которая при тех же условиях может вместить больше чем 31 комнату. Решение можно послать на адрес Д. Шаши, я же опубликую имя победителя в одном из следующих номеров журнала. Шаши работает в Математическом институте им. Куранта при Нью-Йоркском университете, на отделении информатики.

де темных полос, положение которых соответствует длине фрагментов. Зная закономерности популяционной генетики и характеристики ДНК в конкретной популяции, можно рассчитать, как часто встречается данный аллель определенного фрагмента в этой популяции. Если число проб достаточно велико, вероятность того, что у двух индивидов «отпечатки пальцев» ДНК совпадут, очень мала. Однако в криминалистике результат анализа ДНК может оказаться трудно интерпретируемым. На конференции, состоявшейся осенью 1988 г. в Центре Бэнбери в Колд-Спринг-Харбор, молекулярные биологи, статистики, работники органов правосудия и юристы обсуждали критерии, которыми следует руководствоваться при принятии решения об идентичности образцов ДНК на основании визуального сравнения рентгеновских пленок и расчета молекулярных масс фрагментов по положению в геле с помощью компьютеров. Участники конференции подчеркнули необходимость контроля, поскольку фрагменты одного размера по разным «дорожкам» могут перемещаться с различной скоростью, что приводит к сдвигу полос. Кроме того, важно помнить, что материал, используемый для получения образцов ДНК, нередко претерпевает деградацию, а из-за этого картина может оказаться смазанной, могут появляться лишние полосы.

В единственной на сегодняшний день профессиональной проверке криминалистического анализа ДНК, осуществленной в 1987 г. Ассоциацией директоров лабораторий криминалистики шт. Калифорния, в фирму Lifecodes Corporation передали 51 пару образцов ДНК; из них в 37 случаях был дан правильный ответ, а в 14 результат получился неубедительным. Второй американской фирме, коммерчески занимающейся анализом ДНК для криминалистических целей, — Cellmark Diagnostics в Джермантауне (шт. Мэриленд) — было послано 49 пар образцов; в этой лаборатории в 44 случаях получился правильный ответ и в одном случае — ошибочный.

Хотя, если судить по этой проверке, фирма Lifecodes Corporation дает как будто надежные заключения, в деле Кастро всплыли некоторые обстоятельства анализа, заставляющие усомниться в его результатах. Чтобы определить, принадлежит ли убитой кровь на часах подозреваемого, была использована ДНК-проба на один из локусов Y-хромосомы, а в качестве контроля взяли женскую ДНК; контроля же с мужской ДНК, чтобы убедиться, что данная проба «работает», сделано не было. Защита предъявила

Наука и общество

Отпечатки в отпечатках

НЕКАЯ Вильма Понс и ее двухлетняя дочь 5 февраля 1987 г. были обнаружены зарезанными в своей квартире в Южном Бронксе. По подозрению в убийстве полиция арестовала их соседа Хосе Кастро. На браслете его часов оказалось пятно высохшей крови. Кровь послали для анализа в лабораторию фирмы Lifecodes Corporation в Валхалле (шт. Нью-Йорк) — одну из двух коммерческих лабораторий в США, применяющих в практических целях новый криминалистический метод, который можно назвать генетической дактилоскопией. Эта лаборатория дала однозначный ответ: кровь на часах Кастро и кровь Понс одна и та же. Однако в ходе предварительного слушания по делу Кастро, проведенного для того, чтобы убедиться в доверии научной общественности к новому криминалистическому методу, группа ученых, в том числе Э. Ландер из Института медико-биологических исследований Уайтхеда, который выступал как свидетель защиты, и Р. Робертс из Колд-Спринг-Харборской лаборатории, являвшийся свидетелем обвинения, предъявила претензии к заключению сотрудников фирмы Lifecodes Corporation. Ландер, Робертс и еще двое участвовавших в разбирательстве ученых пришли к выводу, отраженному в необычном совместном заявлении, что данные, полученные в Lifecodes Corporation, в научном смысле недостоверны. Между тем ожидалось, что в июле судья Дж. Шейндлин вынесет решение по делу Кастро именно на основании результатов генетической дактилоскопии.

После дела Кастро и нескольких других случаев, в которых выводы криминалистов, основанные на результатах анализа ДНК, были подвергнуты сомнению, общественность обеспокоилась тем, не слишком ли поспешно юридическая практика взя-

ла на вооружение генетическую дактилоскопию. Широко разрекламированный метод уже послужил в США основанием для 200 обвинительных приговоров и нескольких оправдательных (согласно оценке П. Ньюфилда и Б. Шека, бывших защитниками в деле Кастро). Хотя никто не оспаривает эффективность анализа ДНК, высказываются опасения, что его используют неправильно и из-за неблагоприятной репутации метода от генетической дактилоскопии могут вообще отказаться.

По общему мнению, настоятельно необходимы стандарты. Группа специалистов шт. Нью-Йорк, собранная по этому вопросу, скорее всего потребует учредить консультативный комитет для надзора за качеством контрольных процедур при анализе ДНК; этот комитет выдавал бы криминалистическим лабораториям соответствующее официальное удостоверение. Национальная академия наук США предложила провести исследование, чтобы выработать инструкции, которыми можно было бы руководствоваться. Национальный институт юриспруденции и Федеральное бюро расследований, которые сначала отказались финансировать это исследование, в июне 1989 г. приняли решение поддержать его.

Генетическая дактилоскопия — в принципе прямой метод. Он базируется на том, что в человеческой ДНК имеются последовательности, которые несколько варьируют по длине у разных людей. ДНК расщепляют при помощи ферментов и разделяют фрагменты путем электрофореза в геле. Затем гель обрабатывают ДНК-пробами, несущими радиоактивную метку, причем в качестве проб берутся последовательности ДНК, комплементарные переменным участкам и потоку связывающиеся с ними. Фрагменты, связавшиеся меченой пробой, выявляются на рентгеновской пленке в ви-

также претензии к процедуре установления идентичности сравниваемых образцов ДНК. В отчете, представленном фирмой Lifecodes Corporation прокурору округа, говорилось: «Фрагменты, различающиеся по молекулярной массе не более чем на 2% (уровень значимости 99,7%), считаются одинаковыми». Однако в одном месте размеры фрагментов, рассчитанные с помощью компьютера, различались более чем на 2%. По словам директора лаборатории криминалистики и установления отцовства фирмы Lifecodes Corporation М. Бэрда, в данном случае в своих выводах эксперты основывались более на субъективном визуальном сравнении, чем на принятых ими самими объективных стандартах.

В телефонном интервью Бэрд заявил, что в фирме Lifecodes Corporation данные анализа ДНК изучаются визуально и затем подвергаются компьютерной обработке, чтобы сделать вывод об идентичности. В получаемые значения вводится поправка в первую очередь на сдвиг полос, который определяется по положению ряда контрольных полос; значения в пределах 2%-ного расхождения считаются совпадающими. Однако в ходе анализа ДНК по делу Кастро такого контроля на сдвиг не было сделано. Бэрд также сказал, что в тех случаях, когда в распоряжении криминалистов имеется достаточно материала, служащего источником ДНК, часть сравниваемых ДНК смешивают и анализируют смесь параллельно с индивидуальными образцами. Этот прием пропагандировался как лучший способ контролировать сдвиг полос: если сравниваемые ДНК идентичны, смешанный образец даст такую же картину полос, как и индивидуальные.

По словам тех ученых, которые знакомы с рядом работ, проделанных в Lifecodes Corporation для криминалистических задач, нельзя поручиться, что критерии идентичности всегда объективны. Как признает сотрудник этой фирмы К. Макэлфреш, в одном рассматриваемом сейчас в г. Мариетта (шт. Джорджия) деле, в котором стоит вопрос о смертном приговоре за изнасилование, рентгеновские пленки после электрофореза фрагментов ДНК подозреваемого и жертвы при визуальном сравнении не совпали. Однако эксперты сочли, что несоответствие полос было последовательным в ходе всего теста, поэтому был сделан вывод об идентичности. Но, по словам Лэндера, фирма не представила никаких внутренних контролей, чтобы доказать последовательный сдвиг полос.

В ходе слушания дела Кастро обсуждалось также, действительно ли в

популяции американцев испанского происхождения, к которой принадлежит обвиняемый, распределение аллелей подчиняется уравнению Харди—Вайнберга, справедливому для случайного скрещивания. Если аллели комбинируются неслучайно, то вероятность идентичности отдельных полос при анализе ДНК двух разных индивидов не равна произведению вероятностей. Кроме того, имеет большое значение степень инбридности (близкородственного скрещивания) популяции. В деле об изнасиловании в шт. Техас она была высокой при небольшой численности популяции, а в анализе, проведенном Lifecodes, это, по словам Лэндера, не было учтено.

Многие методические приемы, применявшиеся в лаборатории фирмы Lifecodes Corporation для анализа ДНК (и критиковавшиеся в ходе слушания дела Кастро), с тех пор модифицированы. С. Форд — специалист по молекулярной генетике из Калифорнийского университета в Ирвине, подчеркнул: «В практике судепроизводства необходимо всякий раз показывать, что применяемая методика вышла из стадии эксперимента. Но фирмы Cellmark и Lifecodes в настоящее время продолжают модифицировать свои методики. Это само по себе свидетельствует об их несовершенности». Робертс, который очень скептически оценивает способность судов во всем разобраться и найти научную истину, заявляет, что «если и можно выработать какую-то стратегию в масштабах всей страны, то в обязанности фирм должно входить объяснение неудач».

Успех секса

ПОЧЕМУ большинство высших животных и растений «сексуально озабочены»? Ведь бесполое размножение имеет важное преимущество: в популяции, размножающейся бесполом путем, каждая особь может произвести потомство, тогда как при половом размножении к этому способна только половина популяции — самки. Скорость роста популяции, размножающейся половым путем, вдвое меньше, чем при бесполом размножении. Известно несколько видов ящериц, представленных только самками, которые размножаются партеногенетически. Тем не менее, несмотря на вдвое меньшую потенциальную скорость роста популяций с половым размножением, оно существует, и среди биологов до сих пор нет единого мнения о причинах его эволюционного успеха.

Согласно новой гипотезе, изложенной в журнале «Nature» М. Киркпатриком и Ш. Дженкинс из Техасского университета в Остине, популяции особей, размножающихся половым путем, выигрывают в процессе естественного отбора потому, что половое размножение обеспечивает большую скорость закрепления благоприятных мутаций обычного типа. Такие мутации дают максимальное преимущество, когда организм несет их в двойной дозе, т. е. когда мутация имеется в обеих аллельных копиях гена. Если же мутант только одна копия, выгоды от мутации меньше.

Напомним некоторые генетические закономерности. При половом размножении отец и мать передают данному потомку лишь по одной из имеющихся у них двух аллельных копий каждого гена. Если у какой-то особи в том или ином гене возникла благоприятная мутация, то через некоторое время в популяции появятся особи, несущие эту мутацию в обоих аллелях данного гена, что дает носителю максимальное преимущество, обусловленное мутацией.

При бесполом размножении родитель передает потомку по два аллеля каждого гена. В результате потомство оказывается в худшем положении: сразу две мутантные копии могут появиться у какой-то особи, только если точно такая же мутация произойдет в парном аллеле вторично, что маловероятно. Поэтому максимальным преимуществом, связанным с мутацией, популяция воспользуется не так скоро, как если бы происходило случайное сочетание аллелей (что имеет место при половом размножении). Тем временем конкурирующая популяция особей, размножающихся половым путем, пользуется преимуществом, которое дает ей полезная мутация. Киркпатрик и Дженкинс показывают, как при ряде вполне реальных условий выгода от быстрого распространения мутации в популяции перевешивает ущерб от более низкой скорости размножения.

«По-моему, такое объяснение эволюционного успеха полового размножения весьма удачно, и, насколько я знаю, оно еще никому не приходило в голову», — комментирует работу Киркпатрика и Дженкинс сотрудник того же учреждения Дж. Балл. Как правило, доводы основывались на том, что перетасовка генов, происходящая при половом размножении, может давать преимущество, поскольку могут собираться вместе благоприятные комбинации генов. А гипотеза Киркпатрика и Дженкинс сводит необходимое и достаточное для успеха сочетание к одной-единственной паре генов.

В поисках индоевропейцев; ветер и море; огнедышащий дракон; как мирятся приматы; жизнь и деятельность Чандрасекхара Рамана



ФИЛИП МОРРИСОН

Дж. П. Маллори. В ПОИСКАХ ИНДОЕВРОПЕЙЦЕВ: Язык, археологические исследования и миф
 IN SEARCH OF THE INDO-EUROPEANS: LANGUAGE, ARCHAEOLOGY AND MYTH, by J. P. Mallory. Thames and Hudson, 1989 (\$29.95)

ВДАЛЕКОЙ древности широкое распространение имело изображение свастики, построенное с нарушением симметрии в виде четырехжды повторяющегося элемента. В наше время оно воспринимается исключительно как «символ террора, внушающий еще больший ужас, чем покрытая змеями голова Медузы-горгоны». (Так выразился в 1937 г. математик Герман Вейль, выступая в Вене перед неоднородной по политическим взглядам математической аудиторией, чрезвычайно бурно встретившей тогда эти слова.) Какое-то недоброе предчувствие по-прежнему возникает у нас сегодня даже тогда, когда это древнее и загадочное изображение креста с загнутыми концами встречается нам на фризе какого-нибудь храма в южной части Индии.

Нелепое увлечение арийцев (иначе говоря, индоевропейцев) знаком свастики стало наблюдаться в период после 1870 г., а поводом к этому послужило чисто лингвистическое наследие, полученное примерно 2 млрд. людей, которые «не могут вести счет. . . или называть свои самые основные действия. . . не обращаясь к . . . системе речи», которая была для них некогда общей на протяжении 6 тыс. лет. Это, впрочем, не имеет никакого отношения к отвратительному и справедливо развенчанному сегодня мифу о превосходстве и чистоте арийской расы. В самом деле, идиш в такой же мере относится к группе индоевропейских языков, что и любой из существующих германских диалектов, а более всего оснований для того, чтобы претендовать на принадлежность к арийцам в северной части Ев-

ропы у цыган, говорящих на своем родном языке.

В своей научной и при этом чрезвычайно увлекательной книге профессор Дж. П. Маллори, специалист по археологии в Королевском университете в Белфасте, знакомит читателя с исследованиями, проводившимися по этой проблеме в самых разнообразных научных областях, включая филологию и лингвистику, археологию, сравнительную мифологию и религию; следует отметить, что ежегодно выходит около 2 тыс. работ, посвященных этим исследованиям. (Автор не касается лишь соответствующих исследований в области биохимической генетики, где все еще ошутимо отравляющее действие остатков мышления «Третьего рейха».)

Сегодня любой грамотный человек уже имеет некоторое представление о теории индоевропейских языков и профессор Маллори предлагает читателю новые и интересные сведения из этой области, над которыми вот уже 200 лет ломают голову ученые-лингвисты. Он начинает с того, что приводит список слов для обозначения числительных в двух десятках языков народов мира. Этот список представляет собой несколько видоизмененный вариант, который лингвист-первооткрыватель Джеймс Парсонс привел в своей «наивной» и «скучной» книге, увидевшей свет в 1767 г. Возьмем, для примера, слова, обозначающие числительное «3» в тех языках, носители которых заселяют половину территории Евразии: ирландском, бенгальском, литовском и тохарском (древний язык, известный по рукописям из бассейна реки Тарим на территории Восточного Туркестана). В том же порядке расположим и эти слова: *tri, tri, trys, tre*. (В целях разумного контроля возьмем слова для обозначения этого же числительного из следующих 4 языков, не входящих в индоевропейскую группу: турецкого, иврита, малайского и китайского — *uc, salosa, tiga, san*.)

К настоящему времени, на основе тщательного изучения звуковых и структурных языковых особенностей, произведена группировка явных и скрытых сходных признаков примерно 50 современных языков и такого же числа древних языков, для чего были использованы самые ранние имеющиеся свидетельства того времени. К числу таких свидетельств относятся глиняные таблички с клинописью, обнаруженные при раскопках на территории древней Анатолии и принадлежавшие некогда ассирийским купцам, которыми создавались там торговые поселения. На этих табличках приводятся характерные для индоевропейской группы имена их местных торговых партнеров и названия тех мест, где они жили. Подобные глиняные свидетельства относятся примерно к 19 веку до н. э. и соответственно являются более древними, чем любые из имеющихся текстов на санскрите, хеттском и эгейском языке.

Гипотеза, о которой автор книги «никак не может умолчать», предполагает существование где-то между Европой и Азией такого места, где люди в глубокой древности пользовались протоязыком — общим для них языком, полученным ими от своих предков. (Лишь самые увлеченные мифологией читатели поверят, однако, в возможность того, что некогда люди жили и на Северном полюсе, как следует из некоторых поэтических произведений древних, в которых Полярная звезда помешалась ими прямо над родиной их предков.) Величайшая цель современных исследователей состоит как раз в том, чтобы установить место и время существования такого языкового центра, прикоснуться к богатой и насыщенной культуре того общества. Основная трудность этой задачи в том, как добиться столь конкретного результата, используя свидетельства почти исключительно лингвистического характера. Ведь, как указывается, «текстов на протиндоевропейском языке не существует; . . . материальные остатки можно идентифицировать, лишь располагая убедительными свидетельствами, местонахождение которых на протяжении вот уже полутора столетий. . . является предметом споров».

Письменность появилась в Азии раньше, чем в других местах, и поэтому именно там мы находим наиболее ранние свидетельства того времени. Поскольку словарь предполагаемого индоевропейского лингвистического наследия со всей очевидностью содержит названия домашних животных, сельскохозяйственные и гончарные термины, можно сделать вывод, что речь, очевидно, идет о неолите или каком-то более позднем периоде.

В самом деле, этот словарь охватывает понятия, начиная с эпохи, предшествующей складыванию привычного нам образа жизни, вплоть до периода появления колеса, молочных продуктов животноводства, плугов для обработки земли и роскошных боевых колесниц и лошадей. По всей территории от Дуная до Каспийского моря археологи находили самые разнообразные древние колесные конструкции, начиная с простейших степных повозок, в которые запрягались быки. Примерно в то же время жители этих мест научились обзывать лошадей. Таким образом, формирование в древнем сообществе индоевропейцев общего языка вместе с его характерными выражениями произошло около 4500 г. до н. э.; проявляя некоторую осторожность, нам следует остановиться именно на этом рубеже, поскольку наиболее раннее из имеющихся у нас свидетельств относится к чуть более позднему периоду.

Итак, откуда же следует начать поиски? Прежде всего необходимо уяснить для себя характер разрываемого сообщества: это поможет определить не только масштабы предстоящих работ, но и может быть даже примерное расположение района. Неожиданную подсказку может дать следующее чисто лингвистическое наблюдение: речь групп людей, удаленных на значительное расстояние от своего языкового центра, имеет большую тенденцию к консерватизму; в свою очередь, речь живущих ближе к такому центру с течением времени быстрее меняется и обновляется. (Например, французский язык жителей канадской провинции Квебек и английский язык жителей Аппалачей в США очень напоминает речь парижан и лондонцев сотни лет назад.) Это говорит нам о том, что интересующий нас языковой центр не следует искать на границах населенных зон — ни на западной окраине города Голуэй, ни к востоку от реки Тарим, а где-то посередине между ними. Как нам представляется, языковые сообщества той эпохи занимали обычно территорию от 250 тыс. до 1 млн. кв. км. остатки материальной культуры именно такого рода сообществ должны представлять для нас интерес.

По единодушному мнению специалистов, участок поисков должен находиться где-то между Черным морем и равнинами вблизи Волги и Предуралья. Советскими археологами уже найдены такие возможные места, отвечающие многим предъявлявшимся требованиям. На Украине, например, выявлена тысяча мест, где именно в то время, или чуть ранее, располагались центры деревенской культуры; подходящие места встречаются в изо-

ляции и в более поздних слоях к востоку от этой территории. И все же у специалистов нет твердой уверенности в этом случае. Сильное впечатление произвели на них результаты проведенной недавно работы по реконструкции религиозно-ритуальной и классовой структуры индоевропейского общества, состоявшего, как было установлено, из трех слоев: религиозных служителей, военных и скотоводов. Если такая общественная структура как нельзя лучше согласуется с индоевропейскими обычаями и текстами более позднего времени, то не так то просто проследить ее связь с найденными в степных могильниках медными кольцами, глиняными черепками, частями колес и конской сбруи, относящихся к той эпохе, когда письменность не была еще распространена.

Противники данной гипотезы о месте и времени зарождения индоевропейских языков не жалеют усилий. Профессор Маллори, со своей стороны, приводит ясные и убедительные доводы в поддержку своей принципиальной позиции. Долгожданный положительный результат в его работе могут принести лишь усилия археологов и представленные ими убедительные свидетельства, подтверждающие распространение одной из местных древних культур. И дело здесь вовсе не в стремлении кого-то доказать факт победоносного шествия «голубоглазых героев». Речь идет лишь о том, чтобы проследить, как постепенно складывались в то время новые общественные и другие условия, при которых на многих граничащих друг с другом территориях возникало сначала двуязычие, и как оно, в конце концов, вытеснялось новым языком. Итак, вопрос остается открытым. Будем надеяться, что обсуждаемая проблема уже миновала стадию ожесточенных нападок и что она больше не войдет в число неразгаданных тайн древней истории.

У.Т.Р. Аллен. ВЕТЕР И МОРЕ: ФОТОГРАФИИ СОСТОЯНИЯ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ИЛЛЮСТРИРУЮЩИЕ ШКАЛУ БОФОРТА

WIND AND SEA: STATE OF SEA PHOTOGRAPHS FOR THE BEAUFORT WIND SCALE, by W.T.R. Allen. Environment Canada; Canadian Government Publishing Centre, (\$ 9.95)

КАПИТАН, а впоследствии адмирал Фрэнсис Бофорт был океанографом Королевского флота Великобритании начиная со времен Нельсона и вплоть до десятилетий, отмеченных

плаваньями знаменитого «Бигля». На основе тщательных наблюдений им была составлена 12-балльная шкала для оценки силы ветра по волнению моря. Эти наблюдения записаны столь живо и лаконично, что помимо чисто практических сведений передают чувство восторга и страха перед стихией, испытываемые моряками, а заодно содержат ценные советы — к примеру, когда следует приспустить паруса. Рецензируемая книга содержит множество цветных фотографий, снятых на борту канадских суден погоды «Ванкувер» и «Квадра» патрулировавших район Тихого океана в 1700 км к западу от Ванкувера.

При нулевом балле поверхность моря напоминает зеркало, разве что изредка пологая волна ветровой зыби слегка исказит ее. При силе ветра в 5 баллов двухметровые гребни волн начинают удлиняться, и море покрывается белыми барашками. Одиннадцать баллов было отмечено в том районе всего один раз за все 5 лет наблюдений — волны пятнадцатиметровой высоты несутся в яростном вихре, порывы ветра со скоростью 68 узлов сталкивают их друг с другом, наполняя воздух брызгами и пеной. Настоящий ураган (12 баллов) так и не встретился на пути двух кораблей.

Два судовых метеоролога, Р.Ф. Уэббер и Д.Х. Скарлетт, с 1976 до 1981 гг. сделали 338 снимков. Каждая градация шкалы Бофорта иллюстрируется двумя фотографиями. Цель авторов состояла в том, чтобы подготовить для морских офицеров «наглядное пособие» по определению силы ветра; результатом же явилось прекрасное дополнение к традиционному описанию шкалы Бофорта. То, что раньше приходилось мысленно представлять себе по описанию, отныне можно увидеть на фотографии.

Харрисон Е. Сэйлсбери. БОЛЬШОЙ ЧЕРНЫЙ ОГНЕДЫШАЩИЙ ДРАКОН: СТИХИЙНОЕ БЕДСТВИЕ В КИТАЕ THE GREAT BLACK DRAGON FIRE: A CHINESE INFERNO, by Harrison E. Salisbury. Little, Brown & Company, 1989 (\$17,95)

ОГОНЬ продолжает проявлять себя как разрушительная стихия. Во второй половине 1987 г. один из самых известных американских корреспондентов Харрисон Сэйлсбери отправился на место катастрофического пожара, опустошившего в мае того года берега реки Черного Дракона (известной как Амур), протекающей вдоль границы с территорией СССР и отделяющей северо-восточную часть Китая (Маньчжурию) от советской Сибири. Огромный таежный массив Китая, это «зеленое море», горело в

течение месяца. Огонь не пощадил и деревянных поселений. Конец пожару положили дожди, частично вызванные разбрасыванием ядер конденсации с помощью артиллерийских орудий и самолетов, а также встречный огонь и другие меры, предпринятые 40-тысячной "армией" тушителей — в основном солдат военных подразделений, размещенных в пограничном районе.

Площадь выжженного и поврежденного леса на китайском берегу составила 13 000 км². На советском берегу удаленность основного лесного массива от места пожара существенно облегчила положение, хотя лиственница выгорела на площадях, в 5 раз превышающих район бедствия в Китае (на этой территории уместились бы штаты Вермонт и Нью-Гемпшир, вместе взятые). Этот крупнейший зарегистрированный за последние столетия пожар по своим последствиям во много раз превзошел пожары в Йеллоустоне в 1988 г. и в Миннесоте в 1918 г. Правда имеются убедительные свидетельства того, что в 1915 г. в Центральной Сибири между оз. Байкал и Уралом огонь уничтожил тайгу на огромной территории, на порядок превышающей площадь, охваченную амурским пожаром.

Пожар, по всей видимости вызванный ударом молнии, вспыхнул на советском берегу. Он был выявлен с помощью космических снимков, однако к лесникам к югу от границы никаких сообщений не поступило. В тот год необычайно ветренной весной с ветрами 6—9 баллов предшествовало засушливое лето и малоснежная зима. К тому же весной начались очередные массивные лесозаготовки и большие территории оказались покрытыми древесными отходами. Пожар сразу же стал центральной темой китайских средств массовой информации. Одной из "звезд" китайского телеэкрана стал Черная Борода — неутомимый командир армейского подразделения, отличившегося в борьбе с огнем. Вопреки обычаям и уставу он не брился во все время тушения пожара.

Возможно ли, как опасаются многие специалисты, вторичное возгорание пострадавшего леса? Удастся ли вывезти по единственной железнодорожной ветке 10 млн. мертвой древесины до того как она начнет гнить? Не вырос ли выгоревший на сей раз лес на месте древнего пожарища? Вернутся ли животные (среди которых не было тигров, но зато множество медведей) на прежние места обитания? Какие изменения претерпит климат окрестных территорий? (В Пекине, в 1500 км к югу от места про-

исшествия уже опасаются пыльных бурь). Все эти вопросы остаются открытыми.

Автор книги сам вырос в лесном краю и потому с большой симпатией описывает удивительных людей этого таежного уголка: мудрого старого женщину — мэра, мудрого старого лесника, водителей грузовиков и лесорубов. По существу это репортаж с места событий, рассказывающий о катастрофе, которая никого не может оставить равнодушным. Ведь чистота воздуха, которым все мы дышим, зависит и от концентрации в нем углекислого газа.

Франс де Вааль. СПОСОБЫ ПРИМИРЕНИЯ У ПРИМАТОВ
PEACEMAKING AMONG PRIMATES, by Frans de Waal. Harvard University Press, 1989 (\$ 29.95)

АВТОР настоящей книги известен не только как специалист-приматолог, занимающийся изучением различных видов обезьян в зоопарках Арнема, Мадисона, Сан-Диего и др. городов, но и как фотограф, прославившийся своими снимками животных. В самом названии этой интересной и оригинальной работы, основанной на непосредственных наблюдениях автора, заключен особый смысл. Нет сомнений в том, что Франс де Вааль поднимает в книге и более важную проблему — поиск путей к достижению мира также между человеческими представителями отряда приматов — например, между натуралистами, по крупицам собирающими материал в естественной среде, и работниками зоопарков, располагающими самыми обширными сведениями о целых группах животных, сосуществующих в весьма стесненных условиях; между твердыми сторонниками генетического способа передачи особенностей поведения человека и теми, кто склоняется к антропологизму; и даже между НАТО и Организацией Варшавского Договора.

Никто не вправе утверждать, что истина целиком лишь на одной стороне, поскольку такой подход часто сводится к "ложной дихотомии". В судьбе тех 4 видов обезьян, содержащихся в зоопарке, которых читателю представляет и описывает автор книги, гены в значительной мере играют решающую роль. И все же гены — это еще не все. Франс де Вааль, голландец по национальности, напоминает о том, что отличительной чертой его соотечественников, живущих в Европе в условиях перенаселенности, является "терпимость" к другим, тогда как ближайшие их родственники в Юж-

ной Африке руководствуются в этом вопросе совершенно иными принципами. Франс де Вааль не считает, что агрессивность — это либо отсутствующий вообще, либо доминантный признак; агрессивность является основной особенностью животных, однако одновременно с ней существуют и "мощные ограничения и уравнивающие факторы ... призванные сдерживать развитие агрессивности".

Книга содержит прекрасные снимки обыкновенных и карликовых шимпанзе (именуемых в настоящее время бонобо), макак резусов и медвежьих макак; многие сцены, где обезьяны совершают различные интимные действия, сняты в рентгеновских лучах. Основные выводы в работе подкрепляются обширными данными наблюдений — только лишь в зоопарке в г. Арнеме автор затратил на наблюдения за 2 десятками шимпанзе около 6000 часов. Читателю не предлагается, однако, внушительных таблиц с зафиксированными и запрограммированными результатами; вместо этого, он получает возможность познакомиться с некоторыми конкретными случаями из жизни этих животных, подтверждающими данные автора, и даже услышать забавные истории из области курьезов статистики.

Как известно, крысы в условиях скученности истребляют друг друга. Обезьяны менее остро реагируют на подобные ситуации. Так, в зоопарке в г. Арнеме шимпанзе, привыкшие в летний сезон к просторной вольере, помещались на зиму в одно отапливаемое помещение, где плотность их обитания возрастала в 20 раз. При этом они активно пытались уменьшить свои внутренние трения, гораздо чаще, чем летом приветствуя друг друга и внимательно друг за другом ухаживая. Тем не менее, и обезьяны способны к взаимному уничтожению. Автор описывает случай, когда два самца, объединившись, убили третьего самца, который незадолго перед этим оспаривал их давно уже неустойчивый статус главенствующих в стае. Шимпанзе, в свою очередь, хорошо знакомы и пути к примирению друг с другом: они прекрасно обходятся при этом без цветов, но зато активно обнимаются, целуются и нежно поглаживают друг друга; следует отметить, что, по статистическим показателям, такого рода сцены происходят между самцами вдвое чаще, чем между самками.

Много интересного отметил Франс де Вааль и при наблюдении за макаками резусами — в том числе зафиксировал даже формирование у них своеобразных общественных групп. Чуть

более десятка этих животных распределены на 2 такие группы во время созданного в экспериментальных целях недостатка воды; в каждой из этих групп установился “гибкий и естественный” порядок определения очередности питья, однако все члены высшей по значению группы имели преимущество перед членами низшей группы. По всем прочим поводам подобного распределения по группам среди них не наблюдалось. В отличие от большинства других приматов, физическое насилие у макак резусов не является чем-то исключительным. Часто, после таких столкновений происходит и примирение между ними, однако вероятность такого примирения резко снижается в тех случаях, когда самка из высшей группы нападает на самку из низшей группы.

Результаты наблюдений автора за бонобо имеют довольно неожиданный характер. Этот вид обезьян, не принадлежащий, строго говоря, ни к карликовым, ни к обыкновенным шимпанзе (хотя и чрезвычайно напоминает их по внешнему виду), выделяется зоологами и относится ими к одному роду с более знакомым видом шимпанзе лишь с 1929 г. Бонобо встречаются только в центральной части Заира, в лесистой местности к югу от протекающей там большой реки; передвигаются бонобо преимущественно на четвереньках. В зоопарке в г. Сан-Диего удалось создать целую колонию этих обезьян благодаря тому, что первая же появившаяся там самка родила в течение 14 лет 10 детенышей. Бонобо, содержащиеся в неволе, умеют пользоваться различными орудиями, узнают себя в зеркале, обладают веселым нравом и, как стало очевидным, прекрасно владеют навыками общественного поведения.

Из всех известных зоологам приматов бонобо в наибольшей степени отличаются сексуальностью. И в естественных условиях, и при содержании в зоопарках для них характерно периодическое совершение друг с другом кратковременных половых актов — между подрастающими детенышами, между взрослыми самцами, а также между взрослыми самками. (Полноценное спаривание с извержением семенной жидкости происходит лишь между взрослыми самцами и самками.) Столь высокая сексуальная активность бонобо объясняется вовсе не стремлением к развлечению или к продолжению рода; она выступает в этом случае в качестве “альтернативы” враждебности: “любовь вместо войны”. Как было отмечено, подобные половые акты чаще всего происходят во время острых конфликтных ситуаций между партнерами. Таким

образом, “сексуальный путь разрешения конфликтов является ключом к пониманию общественной организации бонобо”.

Бессмысленным было бы сейчас задавать вопрос о том, с какими из существующих видов приматов у нас более всего общего. У всех у них мы что-то заимствовали, а они что-то заимствовали у нас. Мы лишь опередили их всех по уровню культурного развития; конфликты вышли у нас за пределы сферы эмоций, хотя и продолжают зависеть от нее. Шведский естествоиспытатель Карл Линней выражал впоследствии сожаление по поводу того, что выделил человека в отдельный род *Homo*. Сегодня мы вполне могли бы образовать третий вид в том же роду, куда входят шимпанзе и бонобо, и называться *Pan sapiens* — “Шимпанзе разумный”.

И все-таки читатель, узнав из этой книги о многочисленных особенностях поведения различных видов приматов, поддержит все же принятый вариант классификации Линнея. Ведь мы неизмеримо отличаемся от обезьян — пользуемся огнем, общаемся между собой с помощью языка, ведем домашнее хозяйство, сохраняем предметы своей материальной культуры и ... испытываем определенное отчуждение по отношению к своим “бедным родственникам из провинции”. Тем не менее, прощение как возобладание разума и искренности не было изобретено ни иудейской, ни христианской религией — это тот самый способ, который используется приматами вот уже 30 млн лет. Сейчас как раз настал тот момент, когда нам вновь следует обратиться к нему и использовать все имеющиеся у нас возможности для перехода от конфронтации к переговорам, для того, чтобы вновь, как указывает, завершая свою книгу Франс де Вааль, “в наших собственных интересах присоединиться к новым обстоятельствам”.

Г. Венкатараман. ПУТЕШЕСТВИЕ В МИР СВЕТА: ЖИЗНЬ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧАНДРАСЕКХАРА ВЕНКАТА РАМАНА
JOURNEY INTO LIGHT: LIFE AND SCIENCE OF C.V. RAMAN, by G. Venkataraman. Indian Academy of Sciences, 1988 (\$ 45.00)

“Западная наука пришла в Индию раньше, чем западное образование”, однако долгое время она оставалась прерогативой европейцев. К 1888 г. (год рождения Ч.В. Рамана) в Индии насчитывалось лишь несколько университетов, где одаренные молодые люди индийского происхождения могли получить современное образова-

ние. Молодой человек выдающихся способностей, о котором идет речь в рецензируемой книге, стал первым Нобелевским лауреатом из стран Азии, посвятившим себя независимым научным исследованиям, разносторонним и неутомимым поборником которых он оставался всю жизнь.

Раман был блестящим студентом, обладателем золотых медалей по английскому языку и физике. Он вспоминает, что наибольшее впечатление из прочитанного произвели на него учение Будды, труды Эвклида и работа Гельмгольца, посвященная природе звука. За работу в области физики Президентский колледж г. Мадраса присудил Раману степень магистра. Его научным руководителем был профессор Р. Льюеллин Джонс, предоставивший молодому ученому полную свободу. “Я могу припомнить лишь одну лекцию, на которой присутствовал за время двухлетнего пребывания в коллежде, — она была посвящена интерферометру Фабри-Перо”, — вспоминает Раман. За это время он опубликовал небольшую статью о дифракции в журнале “Philosophy magazine”, который не был известен ни одному из его коллег и которым не располагала университетская библиотека. В ответ на вторую статью, посвященную восприятию звуков различной частоты, Раман получил письмо от самого лорда Рэлея.

Сердце Рамана принадлежало науке. В этой области деятельности можно было получать награды (и он завоевывал их все), но не работу. Еще не достигнув двадцатилетнего возраста, Раман держит экзамен для поступления на службу в управление финансов. “Мне было достаточно одного взгляда на остальных претендентов... чтобы понять, что они не составят мне конкуренции”. Ожидая места, он женился на молодой девушке по имени Локасундари, очаровавшей его своей музыкой. Брак несомненно оказался счастливым. Один из их сыновей вспоминает, что госпожа Раман часто говорила в шутку: “Я не уверена, что Раман женился на мне не по расчету” (женатые служащие получали надбавку к зарплате), “забывая” тот факт, что Раман в свое время отказался от приданого.

Молодая чета обосновалась в Калькутте, куда переехала вскоре после женитьбы. Как и сейчас, Калькутта была крупнейшим в стране научным центром. Совершенно случайно Раман обнаружил заброшенную бездействующую лабораторию, состоящую примерно из десяти помещений и построенную 16 лет назад для Научной ассоциации, которая была создана по

образу и подобию Королевского института в Лондоне. Ассоциация организовала и финансировала цикл прекрасных лекций, однако все надежды на то, что удастся найти руководителя научных исследований, не оправдались. Внезапно появившийся как по мановению волшебной палочки Раман согласился проводить физические исследования бесплатно. Его жена вспоминала их "двойную" жизнь в эти годы: "в 5.30 утра Раман отправлялся в Ассоциацию. Возвращался в 9.45, принимал ванну, проглатывал завтрак... и спешил в свою контору. В 5 часов вечера, после окончания работы, он, не заходя домой, снова направлялся в Ассоциацию. Домой Раман возвращался в 9.30—10 часов вечера. Воскресенье целиком проводил в Ассоциации". Спустя некоторое время супруги переехали в дом, примыкающий к зданию, где находились лаборатории Ассоциации. По просьбе Рамана в стене его квартиры была прорублена дверь, ведущая прямо в лабораторию. Вместе с тем все это время Раман оставался на государственной службе, считаясь "одним из лучших работников".

Раман всегда вспоминал о годах, проведенных в Калькутте, как о своем "золотом веке". В течение десяти лет он со своим ассистентом Ашу Бабу опубликовал 27 работ, главным образом в области акустики. За это время Раман приобрел достаточную известность, чтобы покинуть государственную службу и занять место профессора в Калькуттском университете, правда, с окладом, вдвое меньше, чем прежде. Он становится профессиональным ученым-физиком, умеющим добиваться успеха и отличающимся оригинальностью мышления, что особенно проявилось в области, которой он непосредственно занимался, — физике волн.

Раман открыл эффект комбинационного рассеяния света в конце двадцатых годов и в 1930 г. был удостоен за это Нобелевской премией. Вскоре покидает университет, где у него возникли разногласия с другим выдающимся физиком-теоретиком Мегнадом Н. Сахой, а затем и саму Калькутту. К достоинствам рецензируемой книги следует отнести доходчивое изложение сущности работ Рамана, свойств световых и звуковых волн и самого эффекта Рамана, а также более поздних его работ, таких как исследование по дифракции света на ультразвуковых волнах в жидкости.

На примере жизни талантливого ученого автор показывает, как поток знаний, берущий начало в одной из стран, вливается в море мировой науки. Раман не был представителем ан-

глийской культуры, сколь бы блестящими ни были его лекции на английском языке и как бы тщательно ни отделял он свои статьи в журналах "Proceedings of Royal Society" и "Philosophy magazine". Он был типичным жителем юга Индии, большая часть жизни которого протекала в период английского колониального господства. В отличие от большинства своих современников Раман практически не интересовался вопросами религии, посвятив себя целиком физике. Однако он всегда оставался верным поклонником индийской культуры во всем ее богатстве и многообразии и любил природу своей страны. Ему случалось ошибаться и он имел муже-

ство признавать свои ошибки. С годами, однако, ученый становится все более замкнутым и даже чудаковатым.

Умер Раман в 1970 г. и после кремации был похоронен в саду на территории созданного им Института Рамана. Деревцо, посаженное на его могиле, в этом году впервые покрылось цветами. Жизненный путь Рамана во многом отражает путь, пройденный его страной. Его Индии ещё предстоит достигнуть экономической и культурной независимости и зрелости, не изменив своим древним традициям. Читая биографию Рамана, мы узнаем об этих проблемах и противоречиях и об их преломлении в научной среде.

Наука и общество

Литий «рассказывает» о судьбе Вселенной

СОГЛАСНО современной космологической теории, Вселенная должна быть плоской: она балансирует между двумя сценариями своего развития — бесконечным расширением и периодическим расширением, сменяемым сжатием. Однако не теория управляет космосом. В недавно опубликованной в журнале «Physical Review Letters» статье группы исследователей из Йельского университета приведены последние данные, наводящие на мысль о том, что либо Вселенная должна расширяться бесконечно, либо значительная часть ее массы приходится на долю каких-то экзотических, до сих пор не обнаруженных частиц.

На протяжении нескольких десятилетий космологи были почти уверены в том, что легкие изотопы, такие как дейтерий, гелий и литий-7, были синтезированы в первые минуты после Большого взрыва. Количество этих изотопов, образовавшихся в результате первичного космического нуклеосинтеза, критически зависит от существовавшей в тот момент во Вселенной плотности барионов (числа нейтронов и протонов). Согласно теоретическим исследованиям, для образования наблюдаемого количества дейтерия и гелия плотность барионов должна быть меньше критической, т. е. той плотности, при превышении которой Вселенная из открытой (бесконечно расширяющейся) превращается в замкнутую (у которой расширение сменяется сжатием).

В принципе по распространенности лития-7 можно определить также

плотность барионов, однако по сравнению с более легкими изотопами этого элемента очень мало. Этот факт создает сложности для точного измерения количества лития-7 во Вселенной; в то же время при теоретических исследованиях его распространенность оказывается весьма чувствительной к неопределенностям в известных скоростях протекания ядерных реакций.

Группа из Йельского университета применила весьма необычный подход: были исследованы не процессы нуклеосинтеза, а эволюция звезд. В 1982 г. Франсуа и Моника Спит обнаружили, что количество лития в самых старых звездах нашей Галактики примерно постоянно. Они высказали предположение, что наблюдаемая концентрация лития совпадает с его концентрацией после первичного космического нуклеосинтеза.

В качестве первого шага было использовано несколько наиболее точных на сегодняшний день моделей звездной эволюции для определения первоначальной концентрации лития. Расчеты подтвердили предположение о том, что распространенность лития в старых звездах асимптотически приближается к постоянной величине, предполагаемой его первоначальной концентрации.

Затем были проведены расчеты процессов нуклеосинтеза, чтобы определить, какой плотности барионов соответствует найденное значение распространенности лития. Используемая при этом процедура также была весьма необычна. Поскольку известно, что получаемая в расчетах величина распространенности лития чувствительна к изменению

ям нескольких параметров, определяющих скорости реакций, ученые из Йельского университета варьировали эти параметры случайным образом, используя метод Монте-Карло. По мнению Л. Крауса, одного из исследователей, полученные результаты «являются, возможно, первыми результатами расчетов нуклеосинтеза, которые удовлетворяют статистическим критериям надежности».

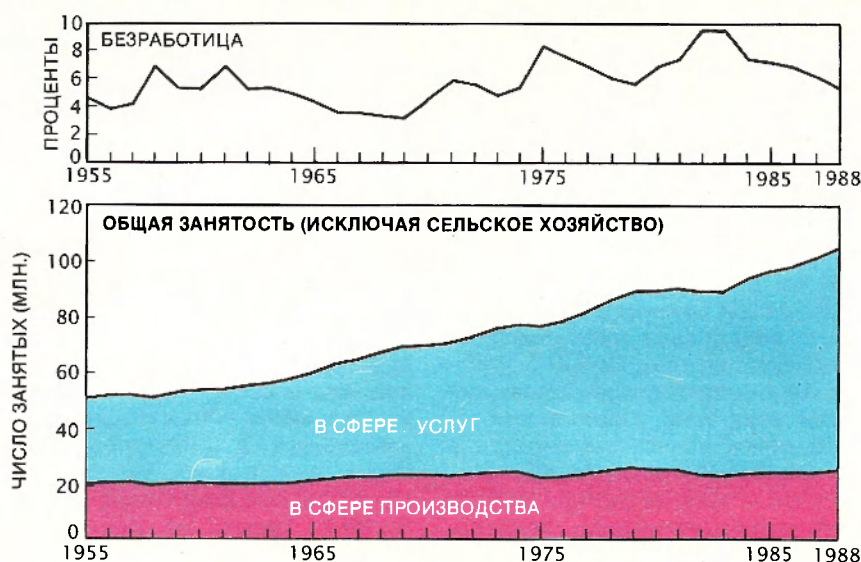
Что же было обнаружено? Полученные результаты зависят от принимаемого значения постоянной Хаббла, определяющей скорость расширения Вселенной. Если выбрать принимаемое многими астрономами значение 50 км/с/Мегапарсек, то при стандартном статистическом отклонении для плотности барионов верхний и нижний пределы составляют соответственно 10 и 2% критической плотности.

Полученные цифры не новые, однако они подтверждают высказывавшуюся ранее гипотезу о том, что одни барионы не могут обеспечить среднюю плотность, достаточную для того, чтобы Вселенная была замкнутой. Теоретики, которые утверждают, что Вселенная является точно плоской, должны учитывать в своих моделях небарионное вещество.

Контроль уровня безработицы

РОВНО в половине девятого утра в первую или вторую пятницу каждого месяца Джанет Л. Норвуд, представитель Бюро статистики труда, объявляет последние данные об уровне безработицы и о численности занятых в стране. Эти данные с нетерпением ожидают и простые граждане, и бизнесмены, и экономисты, однако полученную информацию каждый из них воспринимает по-своему. Кого-то радует сокращение общего числа безработных, а кто-то испытывает беспокойство, поскольку такое сокращение может служить признаком усиления инфляции в стране.

Статистический контроль уровня безработицы — это весьма неоднозначная и политически насыщенная сфера деятельности. Тщательно отмечаемые каждый месяц, даже незначительные колебания этого уровня приобретают в сознании людей невероятные масштабы. При этом на финансовых рынках, реагирующих на малейшие признаки инфляции, воцаряется напряженное ожидание, а экономисты начинают между собой спор о том, до какого именно уровня должна снизиться безработица, чтобы между работодателями началась кон-



УРОВЕНЬ БЕЗРАБОТИЦЫ В ГРАЖДАНСКИХ ОТРАСЛЯХ ЭКОНОМИКИ (верхний график) в период, последовавший после 1955 г., поднимался и опускался; в настоящее время этот уровень составляет чуть более 5%. Согласно анализу платежных ведомостей фирм (нижний график), занятость в сфере производства увеличилась незначительно (красный), тогда как в сфере услуг отмечено более существенное увеличение занятости (синий). Данные представлены Бюро статистики труда.

куренция по размерам заработной платы. За данными об уровне безработицы скрываются тенденции, которые глубоко индивидуальны для различных групп населения, сформированным по демографическим и территориальным признакам. Кроме того, хотя это и может показаться странным, данные об уровне безработицы мало что говорят об уровне жизни населения.

Вспомним, например, газетные сообщения о том, что уровень безработицы в мае этого года упал на 0,1—5,1% и что численность работающих по найму (исключая сельское хозяйство) возросла на 101 тыс. чел., достигнув 108,2 млн. чел.

Следует отметить, что именно Бюро статистики труда впервые указало на то, что наблюдаемые колебания уровня безработицы стали носить характер «шума». Чтобы стать статистически значимыми, изменения уровня безработицы должны составлять не менее 0,2%, а изменения численности занятых — превышать 140 тыс. рабочих мест. Между тем, как указывает Томас Дж. Плус, сотрудник Бюро статистики труда, в своих попытках предсказать дальнейшее развитие процесса инфляции эксперты принимают в расчет лишь такие изменения численности занятых, которые превышают 250 тыс. рабочих мест. К тому же, по-прежнему наблюдается чисто произвольное толкование получаемых данных статистики. Так, из трех известных эконо-

номистов, которых газета «Нью-Йорк таймс» попросила дать оценку зафиксированных в мае изменений в области занятости, один предсказывал ускоренный рост размеров заработной платы, другой указал на возможность снижения темпов роста заработной платы, а по мнению третьего, уровень безработицы не повлияет в данный период существенным образом на размеры заработной платы.

Скептическое отношение к данным об уровне безработицы обусловлено еще и тем, что далеко не все лишние работы считаются «безработными». Для того, чтобы его рассматривали в качестве рабочей силы, тот или иной человек должен активно заниматься поисками работы и быть готовым приступить к ней сразу же. Между тем, по оценкам Бюро статистики труда, в стране имеется около 855 тыс. «отчаявшихся» потенциальных работников — тех, кто уже потерял всякую надежду найти работу и официально не включается в число безработных. С другой стороны, работающие неполный рабочий день считаются занятыми даже в том случае, если они продолжают искать для себя работу на полный рабочий день.

Для части населения отсутствие работы представляет собой несравненно более острую проблему, чем этого можно ожидать при общенациональном уровне безработицы в 5,1%. Как и прежде, безработица наибольшая среди чернокожих в возрасте от 16 до 19 лет; в марте нынешнего года поис-

ками работы занимались 32,8% членов этой возрастной группы. (Аналогичный показатель для их белых сверстников составил лишь 11,9%.) Определенное влияние на уровень безработицы оказывает и географический фактор: если в некоторых частях шт. Техас доля безработных составляет более 18%, то в шт. Коннектикут безработных всего лишь 2%.

И все же, если судить по средним показателям, на протяжении нескольких последних лет в стране наблюдается неуклонное сокращение безработицы и рост занятости населения «вопреки всем этим надоедливим утверждениям экономистов о том, что уровень безработицы не сможет снизиться», — заявила Барбара Р. Бергманн, представительница Американского университета. Дело в том, что в периоды увеличения в обществе доли безработных некоторые экономисты настаивали на том, что существует так называемый «естественный уровень» безработицы, ниже которого скрывается опасность безудержного развития инфляции в американской экономике. С увеличением среди рабочей силы женщин, представительниц национальных меньшинств и несовершеннолетних, экономисты начали предсказывать повышение этого естественного уровня безработицы.

Однако, как замечает Лоуренс Х. Саммерс из Гарвардского Университета, все рассуждения экономистов на этот счет оказывались всего лишь запоздалой попыткой объяснить уже происшедший рост безработицы — «стала наблюдаться тревожная тенденция к тому, что естественный рост численности безработных попросту следует за реальным ростом». Так, безработица среди женщин находится уже сегодня примерно на том же уровне, что и среди мужчин.

Больше всего новых рабочих мест, указывает Бергманн, — было создано в сфере услуг, что является благоприятной тенденцией. По мнению Джонатана С. Леонарда из Калифорнийского университета в Беркли, сфера обслуживания вообще лучше приспособлена к смене циклов деловой активности, чем сфера товарного производства, ведь «даже если растет безработица, люди все равно идут в банк или в парикмахерскую». При спаде производства, напоминает он, одни рабочие места могут оказаться менее стабильными, чем другие.

Создание дополнительных рабочих мест в США не сопровождалось ростом реальной заработной платы. С 1973 г. размеры средней реальной заработной платы (т. е. зарплата с учетом инфляции) остались без изме-

нений. Следует, однако, учитывать, что в пределах средней заработной платы произошло сокращение реальной заработной платы работников, не имеющих среднего образования, и ее увеличение у работников с высшим образованием, — указывает Сар А. Левитан из Университета Джорджа Вашингтона.

Барри Блюстоун из Массачусетского университета в Бостоне считает, что в сфере услуг подобная дифференциация в размерах заработной платы происходит быстрее, чем в сфере товарного производства: «Вспомните о специалистах, работающих в небоскребах Нью-Йорка днем, и о тех, кто приходит убирать в этих помещениях ночью». В 1987 г., замечает он, зарплата специалистов с высшим образованием в 3,52 раза превышала зарплату тех, кто не имел свидетельства об окончании среднего учебного заведения. (В сфере товарного производства окончившие высшее учебное заведение зарабатывали лишь в 2,42 раза больше, чем те, кому не удалось окончить среднюю школу.) С учетом существования иностранной конкуренции, основанной на низкооплачиваемом труде, добавляет к этому Л. Х. Саммерс, перспективы американских рабочих без среднего образования могут еще более ухудшиться.

Итак, что же это? Ухудшение положения или переход к более нормальному состоянию? В конце концов, в настоящее время большее число молодых людей, чем раньше поступают в высшие учебные заведения и получают более высокооплачиваемую работу, заявляет Марвин Х. Костерс, представитель Американского института предпринимательства. Это мнение подтверждается данными, которые приводит Б. Блюстоун: число работников с высшим образованием возросло в США с 10,3% от общего числа работающих в 1963 г. до 19,5% в 1987 г.; если в 1963 г. незаконченное среднее образование имели 45% работников, то в 1987 г. их число сократилось до 18%.

Как мы видим, в США в той или иной мере происходит деление работающих на две группы. В одну из них входят работники с высшим образованием, чьи заработки постоянно растут; другая группа представлена работниками с незаконченным средним образованием, общая численность которых в американской экономике неуклонно сокращается. На вопрос о том, насколько еще могут увеличиться различия между этими двумя группами, каждый отвечает по-своему. Вряд ли помогут ответить на этот вопрос и официальные данные об уровне безработицы в стране.

Атака на правительство

ТЯЖЕЛО находиться в Вашингтоне в летнее время; погода давит на всех, и конгресс устраивает себе каникулы. Однако нынешним летом мы, похоже, стали свидетелями некоторых неожиданных неожиданностей. Промышленные компании в борьбе с иностранными конкурентами все настойчивее ищут финансовой и законодательной поддержки со стороны правительства. В свою очередь правительство, зажатое в тисках финансовых ограничений, пытается выработать разумные решения.

Проект, ставший своего рода пробным камнем, — это телевидение высокого разрешения (ТВР). По мнению сторонников развития этого новшества, среди которых руководители таких компаний, как AT&T, Motorola и Zenith, ТВР — нечто большее, чем улучшенное изображение на экране электронно-лучевой трубки. Они утверждают, что дисплеи высокого разрешения сыграют важную роль в будущих компьютерах. К тому же производство телевизоров высокого разрешения потребует в большом количестве микросхем памяти и это позволит создать емкий рынок для американских производителей. В общем, считают представители промышленных кругов, успех в области развития отечественного ТВР помог бы оживить американские прогрессивные технологии.

Но не все определяется одним желанием. Руководители фирм утверждают, что создание новой отрасли связано с большими затратами и сами справиться с этой задачей они не в силах. Брать заем для строительства предприятий слишком дорого, а ожидаемые прибыли от ТВР малы, по крайней мере для первых десяти лет. В результате компании, заинтересованные в развитии ТВР, под покровительством Американской ассоциации электроники (ААЭ) объединились для атаки на правительство.

Проект предложений, который ААЭ в начале мая передал конгрессу, во многом был схож с предложениями других отраслей правительству. В соответствии с этим проектом промышленные компании обеспечат найм людей и разработку технологии, а правительство должно помочь с финансированием и займами под низкий процент — более 1 млрд. долл. в течение первых пяти лет. Потребуется также внести изменения в антисоветские законы, чтобы юридически защитить промышленные консорциумы от жестких ограничений.

И администрация, и конгресс создали специальные группы по подготов-

ке правительственных решений относительно проблем ТВР. Планировалось, что к 1 июля министерство торговли разработает план действий для правительства. Однако, по-видимому, не следует ожидать, что на финансирование ТВР будут выделены значительные средства. Как считает конгрессмен от шт. Виргиния Ф. Баучер, правительственная «помощь промышленности» либо в виде прямого финансирования, либо в виде налоговых льгот вряд ли реальна в нашу «эпоху финансовых трудностей». По его мнению, в качестве первого шага более вероятными будут поправки к антистрестовским законам. Конгресс уже рассматривает по крайней мере пять законопроектов, в которых предусмотрены различные меры по ограничению действия антистрестовских законов. Принятия одной из таких поправок Баучер добивается совместно с конгрессменом от Калифорнии Д. Эдвардсом.

Другие попытки федеральных ведомств содействовать техническому прогрессу также наталкиваются на бюджетные ограничения. В конце прошлого года конгресс проголосовал за реорганизацию национального бюро стандартов (НБС) в новое агентство — Национальный институт стандартов и технологии (НИСТ), который призван оказывать всестороннюю поддержку научно-техническому прогрессу. Однако бюджетные ассигнования, предусмотренные для НИСТ на 1990 год, сокращены на несколько миллионов долларов по сравнению с тем, что было выделено в прошлом году НБС. «НИСТ в настоящее время испытывает недостаток средств», — заявил Р. С. Дрю, бывший президент Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. Более того, на начало июня Белый дом еще не назначил ни заместителя государственного секретаря по технологии, ни директора НИСТ.

Управление перспективных научно-исследовательских разработок министерства обороны попыталось материально помочь проведению работ в области гражданской технологии: оно выделило 30 млн. долл. на исследования, связанные с развитием ТВР, и еще в июне заключило первые пять контрактов с промышленными фирмами. Еще 15 млн. долл. это управление выделило на исследования в области сверхпроводимости и 100 млн. долл. — научному консорциуму SEMATECH, осуществляемому исследованию в области полупроводниковой техники. Но военный бюджет также подвергся сокращению, поэтому теперь военные без особого энтузиазма относятся к финан-

сированию проектов, которые, по мнению многих специалистов, являются сугубо гражданскими.

Сенатор от шт. Огайо Дж. Гленн надеется решить эту проблему, представив законопроект о создании гражданского эквивалента упомянутому военному управлению, которое будет называться Управление перспективных научно-исследовательских разработок для гражданских целей. Высказанное в прошлом году предложение Гленна о преобразовании министерства торговли в министерство промышленности было встречено скептически; вместо этого конгресс принял более умеренное предложение, о создании НИСТ. Сейчас Гленн надеется убедить конгресс, что менее масштабное управление, располагающее большим бюджетом, наряду с НИСТ, могло бы эффективно финансировать гражданские технические исследования. Хотя Дрю поддерживает предложение Гленна, он опасается, что оно не встретит понимания. По его мнению, слишком немногие конгрессмены видят связь между конкурентоспособностью и финансированием работ по созданию новых технологий.

Тем временем руководители некоторых промышленных компаний поняли, что помощь со стороны правительства будет недостаточной для того, чтобы обеспечить конкурентоспособность своей продукции. На одном из рабочих совещаний в Национальной академии наук Г. Мур, президент корпорации Intel, ссылаясь на прошлое в американской полупроводниковой промышленности, сказал, что «каждый из нас принимает наиболее выгодные решения и, очевидно, обеспечивающие успех собственной компании на сравнительно короткое время, хотя мы и считаем, что ориентируемся на длительную перспективу». Если даже такие решения и помогли нашим компаниям, добавил Мур, они нанесли ущерб общему состоянию американской промышленности.

Как нарушилась зеркальная симметрия биосферы

БОЛЕЕ ста лет назад Луи Пастер обнаружил, что микроорганизмы очень хорошо различают «правые» (D) и «левые» (L) стереоизомеры питательного субстрата. Следовательно, заключил он, микроорганизмы обладают зеркальной диссиммет-

рией. Этому открытию Л. Пастер придавал большое значение, считая, что обнаружил демаркационную линию между живой и неживой природой. Позже стало ясно, что диссимметрия живых организмов обусловлена гомохиральностью ключевых биополимерных структур: нуклеиновые кислоты содержат только D-изомеры сахаров, ферменты построены только из L-изомеров аминокислот. Гомохиральность, или, как еще говорят, хиральная чистота, является отличительным свойством всего живого на Земле.

До недавнего времени считалось, что хиральная чистота, так же как и универсальный генетический код, есть результат биологической эволюции: в результате конкуренции между примитивными самореплицирующимися структурами побеждали хирально чистые — в одних ареалах одного знака хиральности, в других ареалах противоположного. Но тогда возникли бы «правая» и «левая» хирально чистые ветви эволюции, а реально существует лишь одна из них. Поэтому гипотеза эволюционного происхождения хиральной чистоты требует дополнительного предположения: начальное состояние органической среды было хоть немного, но асимметричным. Следовательно одна из зеркально-антиподных ветвей эволюции имела некоторое исходное преимущество и благодаря ему победила другую.

Эта концепция возникновения хиральной чистоты предполагается в «теплом» сценарии происхождения жизни, предложенном А. И. Опаринным и Дж. Холдейном и развивающемся идею Чарльза Дарвина о возникновении жизни на Земле в «маленьком, теплом и соленом водоеме». Аналогичное предположение о возникновении гомохиральности неявно заключено и в космических сценариях происхождения жизни, восходящих к идее «панспермии» Сванте Аррениуса. Эта же проблема присутствует в сценарии «холодной предыстории жизни», физико-химические основы которого разработаны В. И. Гольданским из Института химической физики АН СССР им. Н. Н. Семёнова в Москве (см., например, в журнале «Nature» т. 279, с. 109, 1979). Дискутировался лишь вопрос о том, что же послужило источником асимметрии на ранней Земле и в космическом пространстве. В попытках найти источник фактора преимущества для победы «левой» жизни проявилось немало научного остроумия и оригинальности; так, на эту роль предлагались оптически активные минеральные катализаторы и циркулярно поляризован-

ный свет, поляризованное синхротронное излучение от нейтронных звезд и влияние нарушенной четности одного из четырех фундаментальных взаимодействий, а именно слабого взаимодействия. Основное же, априорное предположение о том, что свойство саморепликации может эволюционно возникнуть в рацемической или слабоасимметричной среде, не подвергалось сомнению.

Однако в последнее десятилетие, наряду с эволюционной гипотезой, стал развиваться альтернативный подход, согласно которому хиральная чистота биосферы обусловлена спонтанным нарушением зеркальной симметрии органической среды на добиологической, химической стадии эволюции, а гомотехиальность биополимеров — это память о состоянии среды, в которой 3,8—4,0 млрд. лет назад зародилась жизнь на Земле. Теоретические основы этого подхода были заложены в работах советского ученого Л. Л. Морозова. Впоследствии их развил В. И. Гольданский с сотрудниками. Идеология спонтанного нарушения симметрии широко используется в физике для объяснения фазовых переходов, ведущих, например, к возникновению ферромагнитного или сверхтекучего состояния вещества. Похожие явления могут возникать и в химических системах, далеких от термодинамического равновесия. В таких системах рацемическое стационарное состояние может оказаться неустойчивым и тогда система скачком переходит в одно из двух хирально чистых состояний. Ситуация напоминает поведение карандаша, стоящего вертикально на слегка вибрирующем столе: он падает либо вправо, либо влево. При множестве испытаний число «правых» и «левых» исходов одинаково; в среднем симметрия, конечно, сохраняется, но в единичном эксперименте (как и в случае возникновения жизни на Земле) имеет место полное нарушение симметрии.

Итак, два подхода, две, казалось бы, равноправные гипотезы возникновения хиральной чистоты биосферы. Существует ли ключ к разрешению этой дилеммы? Оказалось, его можно найти, решая другую проблему: связана ли возможность возникновения саморепликации — одной из наиболее важных и характерных биологических функций — с хиральной чистотой среды. В 1985 г. группа американских и голландских исследователей под руководством Л. Оргеля из Института Солка (США) продемонстрировала, что в рацемической смеси нуклеотидов процесс построения реплики сильно подавлен даже в

том случае, если матричное абиогенное копирование происходит на гомотехиальной полинуклеотидной цепи. Однако в хирально чистой среде этот процесс идет успешно. Анализ экспериментов и моделирование, выполненные В. И. Гольданским и его сотрудниками с привлечением данных о структуре молекул и кинетике их превращений, привели к заключению, что для сохранения комплементарности при матричной саморепликации полинуклеотидных цепей хиральная чистота среды является необходимым условием. Следовательно, возникновению саморепликации должно было предшествовать полное нарушение зеркальной симметрии органической среды.

Таким образом, объяснение механизма нарушения зеркальной симметрии биоорганического мира непременно должно учитывать по крайней мере два обстоятельства. Во-первых, хиральная чистота биосферы целиком обусловлена физико-химическими процессами, протекавшими в добиологическую эпоху, а не в ходе биологической эволюции. Во-вторых, эти процессы не только привели к полному нарушению зеркальной симметрии, но и обеспечили устойчивость такого состояния на этапе формирования протобиологических структур и функций. Данные условия удовлетворяются только в рамках концепции спонтанного нарушения зеркальной симметрии, самопроизвольной рацемизации предбиологической среды. В этом случае хиральная чистота является не вследствие действия какого-либо фактора преимущества, а в силу неравновесности физико-химических процессов — например, в таком гигантском химическом реакторе, каким была первобытная Земля. Притом если в ходе рацемизации внешние асимметрические воздействия отсутствуют, то появление определенного «знака» хиральности среды, например, наличие именно левых аминокислот и именно правых сахаров, есть исключительно дело случая. Если же фактор преимущества влияет на процесс формирования асимметрии в ходе спонтанного нарушения симметрии, то даже в единичном эксперименте он может предопределить появление соответствующего знака хиральности, подобно тому как небольшой наклон стола может предопределить падение карандаша лишь в одну сторону.

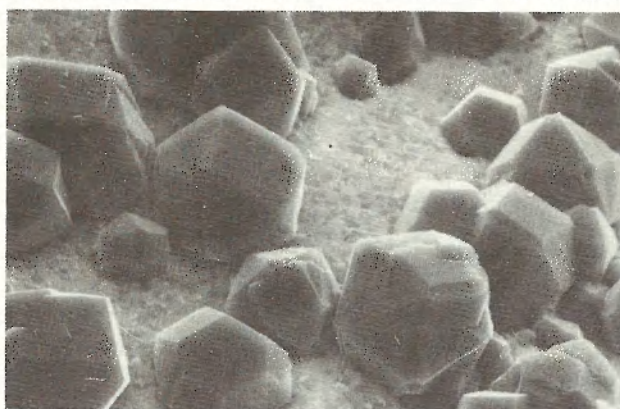
А случаен ли знак хиральности биосферы? Этот вопрос стал особенно актуальным после того, как С. Мэзон и Дж. Грантер (Великобритания) показали, что нарушенная четность слабых взаимодействий создает преимуще-

ство именно для левых аминокислот и правых сахаров. Возникла дискуссия: мог ли такой фактор преимущества предопределить знак хиральности биосферы в процессе рацемизации предбиологической среды? Относительная разница констант скоростей химических превращений зеркальных антиподов, обусловленная слабым взаимодействием, составляет всего 10^{-17} . Но, по мнению Д. Кандепуди и Л. Нельсона из Техасского университета (США), даже столь малая разница могла оказаться достаточной, чтобы предопределить знак хиральности в органических ареалах масштаба озера Мичиган, если химический состав такой системы медленно менялся за времена порядка 100 тыс. лет. Однако более тщательный анализ, проведенный двумя группами исследователей — группой В. И. Гольданского из Института химической физики им. Н. Е. Семенова, а также Я. Б. Зельдовичем и А. С. Михайловым из Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, показал, что даже в ареалах планетарного масштаба и за времена существования Вселенной такой фактор преимущества не мог играть существенной роли. Похоже, что выбор «знака» хиральности биосферы Земли — это все-таки дело случая.

Тонкие, прочные, прозрачные

КОМПАНИЯ General Electric на протяжении многих лет работала с алмазами, а недавно научный советник General Motors призвал специалистов фирмы заняться тонкими алмазными пленками. Производственные отделения компании Martin Marietta также предложили своей администрации начать программу исследований в области тонких алмазных пленок.

Преимущественно в Японии, а в последнее время и в США, компании соревнуются друг с другом в технологии выращивания тонких алмазных пленок, перед которыми открываются перспективы самых разнообразных применений — например, в качестве покрытия поверхности инструментов или подшипников, устойчивого к тепловому воздействию и коррозии, для изготовления повышенной прочности окон, теплоотводящих материалов в электронных приборах и, наконец, быстродействующих электронных компонентов. «В ближайшей перспективе алмазные материалы могут приобрести более важное значение, чем высокотемпературные сверхпроводники», — заявил У. Банхольер, один из руководителей Научно-техническо-



АЛМАЗНЫЕ КРИСТАЛЛЫ (справа) толщиной 10 мкм образуют тонкие «пленки», выращиваемые в лабораторных условиях. Одна из технологий получения таких пленок (слева) основана на разогревании газовой смеси метана и водорода раскаленной вольфрамовой нитью; возбужденные атомы углерода осаждаются на никелевую подложку. Фотографии предоставлены Научной лабораторией военно-морского флота.

го центра компании General Electric Почему? Чистый алмаз обладает целым рядом ценных свойств. Благодаря очень большому числу сильных связей между атомами углерода, из которых состоит алмаз, это самый твердый из всех известных материалов. При комнатных температурах алмаз проводит тепло в пять раз лучше меди и обладает почти таким же коэффициентом трения, как тефлон. Более того, он практически прозрачен в широком диапазоне спектра (от ультрафиолетового до дальнего инфракрасного), хорошо проводит звук и устойчив к воздействию большинства химических веществ.

Однако твердость алмаза затрудняет его обработку, что в какой-то мере препятствует его применению в промышленности. В 50-е годы General Electric и другие компании начали производить искусственные алмазы, подвергая графит воздействию высокой температуры и давления; получившийся в результате материал наиболее широко применяется в качестве абразивов и в режущих инструментах. В 70-е годы советские ученые одними из первых начали выращивать тонкие алмазные пленки под низким давлением и не на алмазных подложках (см. В. V. Derjaguin, D. B. Fedoseev. The Synthesis of Diamond at Low Pressure, «Scientific American», November, 1975). В США интерес к алмазным пленкам возрос в 80-е годы, после того как в Японии началась энергичная программа исследований в этой области. В настоящее время для получения алмазной пленки применяются различные методы осаждения.

Как говорит Дж. Е. Батлер, химик Научной лаборатории военно-морского флота, обычно смесь метана и водорода превращают в плазму, на-

пример путем разогревания газа нитью накаливания, микроволновым излучением или даже кислородно-ацетиленовой горелкой над кремниевой или никелевой подложкой. Содержащийся в газе углерод конденсируется на относительно холодной подложке; наиболее активные формы углерода (такие как графит) соединяются с атомами водорода и удаляются, в результате остаются только кристаллы алмаза.

И все же, как указывает Т. А. Перри, специалист из исследовательского центра компании General Motors, мы пока еще плохо понимаем процесс роста алмазов. Попытки ускорить осаждение часто приводят к появлению в кристалле дефектов и нежелательных примесей. Хотя компании неохотно называют величину скорости осаждения, большинство специалистов считают, что 1 мкм/ч — это типичный показатель; в упомянутой научной лаборатории получают высококачественные, чистые кристаллы при скорости 50 мкм/ч, а в Токийском технологическом институте, судя по сообщениям, добились скорости 930 мкм/ч.

Исследователи ищут также способы понизить температуру подложки с 900 до 100 или 200 °С; при таких температурах алмазную пленку можно наносить, например, на пластмассу. Покрытую алмазом пластмассу можно применять для различных целей — от очковых стекол до сверхпрочных окон самолета.

Тем не менее никто еще не вырастил алмазный кристалл, который нашел бы самое широкое применение в электронной промышленности: тонкую пленку из монокристалла алмаза, несколько сантиметров в поперечнике, нанесенную на неалмазную под-

Вниманию читателей!

ГОТОВИТСЯ К ПЕЧАТИ
переводной журнал
ТИИЭР, т. 77 № 6
(июнь 1989)

Малый тематический выпуск
ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В выпуск включены четыре статьи, посвященные современным подходам к оптимизации диспетчерской работы на электростанциях. 7 авт. л.

Кроме того, в номере публикуются обзорные статьи:

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ЖУРНАЛ PROCEEDINGS OF THE IRE: 1913—1937. Дж. Бриттен
3.3 авт. л., лит. 133 назв.

О ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ. Д. Гезелович

Статья носит обзорный характер и рассчитана на разработчиков радиоэлектронной аппаратуры, не являющихся специалистами в области биологии и медицины. 3 авт. л., лит. 87 назв.

НЕЛИНЕЙНАЯ УПРУГАЯ ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К МОРСКОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ. Ф. Ассу, Б. Шалиндар, Ф. Коллино

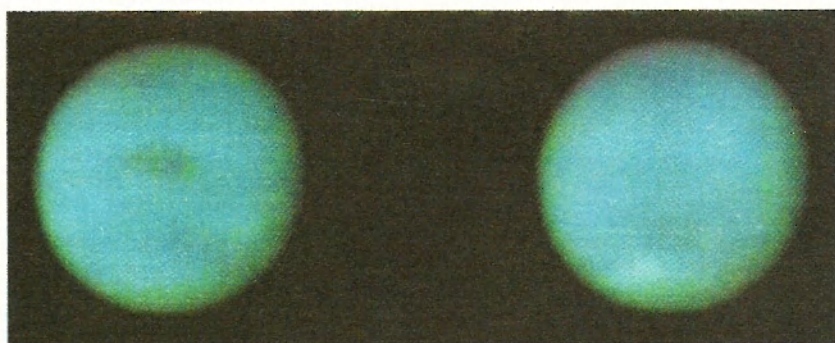
Описывается модель акустопругой среды для интерпретации сейсмических данных, полученных на шельфе. 2.3 авт. л., лит. 27 назв.

Цена номера 3 р. 30 к.

Читатели Москвы и Подмоскovie могут оформить предварительный заказ в Московском Доме книги (пр. Калинина, 26, секция «Мир») и магазине № 19 «Мир» (Ленинградский пр., 78). Иногородним читателям заказы следует направлять на открытках по адресу: 129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2, издательство «Мир», редакция ТИИЭР. Заказы принимаются до 25 ноября 1989 г.



«Вояджер-2» приближается к последней на его пути планете Солнечной системы



ТАКИМ увидел в конце апреля 1989 г. сине-зеленый диск Нептуна оптический «глаз» космического аппарата «Вояджер-2», который передал его закодированное в цифровой форме изображение на Землю. В тот момент он находился еще на расстоянии 109 млн. км от планеты. По мнению Э. Стойна, научного консультанта проекта «Вояджер», полученное изображение подтвердило высказывавшееся ранее предположение о наличии у планеты активной атмосферы, динамика которой обусловлена внутренним источником тепловой энергии. Видимое на левом снимке темное пятно, впервые обнаруженное в январе, может, как считает Стоун, представлять собой постоянное образование в атмосфере

Нептуна; возможно, это антициклонический шторм, аналогичный знаменитому красному пятну на Юпитере. Правый снимок был сделан через 5 ч после левого; за это время планета повернулась вокруг своей оси на 100°, и в поле зрения камеры попало светлое пятно, расположенное вблизи Южного полюса. Стоун предполагает, что это может быть грозовая туча; похожее более яркое белое пятно исчезло некоторое время спустя после того, как появилось. Сине-зеленый цвет планеты может быть различим с Земли и обусловлен присутствием в атмосфере планеты метана. Во время максимального сближения «Вояджера» с Нептуном в августе можно будет получить более детальные изображения.

ложку. Поскольку алмаз обладает хорошей теплопроводностью и является хорошим полупроводником, микросхемы из алмаза были бы чрезвычайно быстродействующими. «На электронике можно будет сделать большие деньги», — предсказывает Р. Месье, возглавляющий программу исследований, финансируемую совместно Университетом шт. Пенсильвания и промышленными компаниями. Однако потребуются еще не менее десяти лет, прежде чем такие устройства будут созданы.

Поэтому американские компании пока делают акцент на фундаментальных исследованиях. Хотя Перри считает, что General Motors и ее дочерняя фирма Hughes Aircraft, возможно, в конечном итоге применят алмазную пленку в качестве твердых покрытий и оптических устройств, программа исследований, проводимых в настоящее время в General Motors, сосредоточена на изучении химических свойств алмаза. Первым применением тонких алмазных пленок в компании General Electric, как заявил Банхольцер, по-видимому, будут абразивы, «поскольку это относится к сфере нашей деятельности»; а пока научные сотрудники этой компании пытаются понять причины, лежащие в основе

ценных свойств алмазных материалов. Работа в компании Martin Marietta находится еще в «зародыше», как говорит Р. С. Винцер, один из руководителей фирмы; по его мнению, через несколько лет этот зародыш может вырасти в более крупную программу, «в зависимости от того, насколько результаты этой работы будут соответствовать дальнейшим планам компании Martin Marietta».

Тем временем алмазные пленки уже стали появляться в некоторых изделиях ограниченного спроса. Компания Simitomo Electric поставляет по крайней мере двум японским фирмам, производящим музыкальную стереоаппаратуру, алмазные пленки для динамиков-усилителей высокой частоты. Crystallume, недавно образованная компания со штаб-квартирой в Менло-Парк (шт. Калифорния), продает алмазные окошки для научной аппаратуры. Такие окошки пропускают мягкое рентгеновское излучение и обеспечивают надежную герметизацию в камерах, содержащих сжатые газы. «Хотя США пока не отстают от Японии в том, что касается науки, — говорит Батлер, — но мы не поспеваем за японцами в реализации данного новшества в технических устройствах».

Вниманию читателей!

ГОТОВИТСЯ К ПЕЧАТИ
переводной журнал
ТИИЭР, т. 77, № 7
(июль 1989)

Малый тематический выпуск

БОЛЬШИЕ ЗАДАЧИ И СУПЕР-ЭВМ

В выпуск включено пять обзорных статей, освещающих особенности решения больших задач на супер-ЭВМ в энергетике, авиационно-космической технике, молекулярной биологии, спутниковых исследованиях Земли и астрономических объектов. 12 авт. л.

Кроме того, в номере публикуются обзорные статьи:

ВРЕМЯ-ЧАСТОТНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ. Л. Козн

Обзорно-методическая статья по проблеме адекватного представления зависимости спектра сигнала от времени с помощью обобщенных функций (распределений). 7 авт. л., лит. 213 назв.

СУБКОМПАКТНЫЕ АТОМНЫЕ ЧАСЫ НА ВОДОРОДНОМ МАЗЕРЕ. Х. Ванг

Приводится обзор последних достижений и перспектив. 18 авт. л., лит. 41 назв.

МИЛЛИМЕТРОВАЯ И СУБМИЛЛИМЕТРОВАЯ РАДИОАСТРОНОМИЯ. Дж. Пейн

Описывается конструкция радиотелескопов новейшего поколения. 4 авт. л., лит. 109 назв.

Цена номера 3 р. 30 к.

Читатели Москвы и Подмосквья могут оформить предварительный заказ в Московском Доме книги (пр. Калинина, 26, секция «Мир») и магазине № 19 «Мир» (Ленинградский пр., 78). Иногородним читателям заказы следует направлять на открытках по адресу: 129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2, издательство «Мир», редакция ТИИЭР. Заказы принимаются до 25 декабря 1989 г.



Снова о холодном термоядерном синтезе

ПОСЛЕ трех бурных месяцев Пажиотажа вокруг холодного термоядерного синтеза страсти, похоже, начинают стихать. Сотни ученых во всем мире потерпели неудачу в своих попытках подтвердить достоверность поразившего всех заявления, сделанного в марте М. Флейшманом и Б. Понсом в Университете шт. Юты, в котором они сообщили о выделении тепла в результате реакции ядерного синтеза при комнатной температуре; если бы это было действительно так, то открывается путь к получению неисчерпаемого источника энергии, чистого в экологическом отношении. Флейшман и Понс пропустили электрический ток через тяжелую воду с использованием катода из палладия. По их мнению, выделение тепла в аппарате происходит в результате синтеза атомов тяжелого изотопа водорода, которые «затягивались» в палладий электрическим током. Даже если некоторые ученые и заявили, что им удалось наблюдать необъяснимое выделение тепла, эффект оказался весьма «призрачным» и не было найдено надежных доказательств того, что он обусловлен ядерным синтезом.

Если тепло действительно выделялось в результате реакции ядерного синтеза, то должны были образовываться также продукты реакции в виде гелия и трития (сверхтяжелый изотоп водорода). Кроме того, должно происходить испускание нейтронов, сопровождающееся гамма-излучением. Ни в одном эксперименте эти явления не были обнаружены, хотя известный своим скептическим отношением к возможности холодного ядерного синтеза Н. Льюис из Калифорнийского технологического института сообщил на наблюдении им химических процессов, которые могли ввести в заблуждение слишком доверчивых экспериментаторов. «Ни одна группа не зарегистрировала всех тех явлений, о которых упоминалось в сообщении из Юты», — заключает Льюис.

Среди некоторых ученых, продолжающих наблюдать в своих экспериментах аномальное тепловыделение, — Р. Хаггинс и его коллеги из Станфордского университета и несколько независимых групп из Техасского университета A&M. По мнению

Хаггинса, результаты его экспериментов указывают на то, что другие исследователи (напрасно теряют время», поскольку используют слишком слабый ток. Он еще не проводил поиск нейтронов или других продуктов синтеза.

«Мы пока не исключили все тривиальные химические процессы, которыми может быть вызвано выделение тепла, однако действуем в этом направлении» — говорит А. Эпплбай из Техасского университета A&M, в опытах которого по микрокалориметрии также был обнаружен избыток тепла. Однако поиски гелия не дали никаких результатов. Некоторые лаборатории подтвердили наличие избытка трития в тяжелой воде, впервые обнаруженного в экспериментах, проведенных К. Вулфом (также из Техасского университета A&M), который сообщил об обнаружении слабого испускания нейтронов. Вулф полагает, что необходимо многократно переплавить палладиевый электрод, чтобы удалить из него все следы обычного водорода, который, считает он, «отравляет систему». «Мы совершенно уверены в том, что обнаружили тритий, — заявляет Вулф. — Единственное, что нам непонятно, — откуда он там взялся».

Большинство ученых предполагают, что появление трития связано с наличием примесей. Сейчас даже Флейшман и Понс не настаивают на обнаружении нейтронов и гелия-4 в их экспериментах, а именно это они считали важным свидетельством протекания реакции ядерного синтеза. Р. Петрассо и его коллеги из Массачусетского технологического института подвергли сильной критике данные Флейшмана и Понса по измерению гамма-излучения, которые, как они утверждали, свидетельствовали об испускании нейтронов именно с энергией, соответствующей ядерному синтезу. Петрассо считает, что «гамма-сигнал» имеет паразитную природу и совсем другую энергию. Критика в адрес Флейшмана и Понса усилилась после того, как Лос-Аламосская национальная лаборатория объявила в июне о том, что планировавшаяся программа совместных работ с Университетом шт. Юты отменена из-за отказа последнего участвовать в ней.

Несмотря на возрастающий скептицизм в отношении холодного термоядерного синтеза как источника энергии, благожелательный интерес

вызвало заявление С. Джонса из Университета Брайама Янга об обнаружении в аналогичном эксперименте значительно более слабого процесса синтеза. «Можно почти с уверенностью сказать, что избыток тепла в эксперименте Флейшмана и Понса объясняется не реакцией синтеза», — говорит Джонс. В то же время, он считает, что слабая реакция, при которой не происходит сколь угодно значительного выделения тепла, но возникает поток нейтронов, вполне может происходить при низкой температуре. Мнение Джонса подтверждают результаты работ, выполненных Г. Менловом и его коллегами в Лос-Аламосе и Болонском университете в Италии. Менлов и Джонс полагают, что в ходе проведенного в Лос-Аламосе эксперимента, целью которого было повторение опыта Флейшмана и Понса, они наблюдали значительное выделение нейтронов.

Согласно утверждению Менлова, он зарегистрировал как одиночные нейтроны, так и «выбросы» сотен нейтронов, аналогичные наблюдавшимся ранее Ф. Скарамуччи в Центре энергетических исследований (Фраскати, Италия). В его опытах тяжелый водород нагнетался под давлением в титановые «лезвия»; при этом возникали колебания температуры.

Однако не все ученые соглашались даже с возможностью существования слабой реакции. В частности, М. Гей из Йельского университета сообщает, что в проведенных им экспериментах не был обнаружен даже слабый поток нейтронов. Почетный президент Университета Райса Н. Хаккерман и Дж. Шриффер из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре, которые возглавляли финансирующую правительство конференцию по холодному термоядерному синтезу в Санта-Фе, полагают вероятность наличия слабой реакции синтеза, о которой сообщил Джонс, «умеренной». Шриффер — Нобелевский лауреат, главный государственный советник по вопросам физики — соглашается с Хаккерманом в том, что доказательства аномального выделения тепла являются «еще более сомнительными». Хаккерман замечает, что те исследователи, которые объявляли о наблюдении подобного эффекта, не всегда могли потом повторить свой эксперимент. Между тем комиссия советников по энергетическим исследованиям образовала подкомиссию по холодному ядерному синтезу, которая начала посещение лабораторий. На выяснение этого вопроса могут уйти многие месяцы.

Использование эмбриональных тканей человека в научных исследованиях: «за» и «против»



РОБЕРТ ДЖ. ЛЕВИН

НАУЧНЫЕ исследования, в которых использовались эмбриональные ткани человека, привели к созданию вакцины против полиомиелита, к открытию важных фундаментальных фактов в области биологии раковых клеток, к разработке более совершенных методов лечения ряда серьезных патологий беременности и развития плода. Вполне вероятно, что путем пересадки эмбриональных клеток удастся улучшить состояние людей, страдающих такими разрушительными заболеваниями, как паркинсонизм и ювенильный диабет. Уже это краткое перечисление демонстрирует огромное значение исследований с использованием тканей человеческого плода. Собственно, на сегодняшний день эти исследования полезны «по определению», поскольку законодательство США допускает брать ткани плода человека только тогда, когда конкретная польза не может быть достигнута иным путем.

Другими словами, противники подобных исследований требуют, чтобы общество отказалось от всяких призывов к пользе, достигаемой таким путем. Многие из них обладают значительным и устойчивым политическим влиянием и неизменно добиваются своего. Те, кто больше всех выступал последнее время, преследуют цель запретить аборт при отсутствии медицинских показаний и как средство к этому требуют объявить вне закона все исследования, в которых так или иначе используются ткани человеческого плода.

За последние 15 лет в конгрессе США и различных государственных ведомствах было принято множество законодательных актов, имеющих целью запретить такие исследования. И в ряде случаев вводился мораторий на расходование государственных

средств для осуществления научно-исследовательских работ, предполагающих использование тканей человеческого плода.

Первый мораторий был введен Национальным актом о научных исследованиях, принятым в 1974 г. Он запрещал все исследования, в которых используется живой человеческий плод до или после умышленного аборта, если только данное исследование не совершается с целью обеспечить жизнеспособность этого плода. Акт от 1974 г. предусматривал создание национальной комиссии, в обязанности которой входила выработка рекомендаций относительно введения моратория.

После тщательного изучения соответствующих медицинских, научных, юридических и этических аспектов проблемы комиссия пришла к выводу, что мораторий нужен, и его утвердили. Дальнейшие рекомендации, данные комиссией, заложили основу нынешних федеральных правил, защищающих человеческий плод как объект исследований. Эти правила обеспечивают продуманную строгую защиту живого плода, но относительно клеток и тканей мертвого плода говорится только, что их использование должно подчиняться законодательству, действующему в данном штате или районе.

Последний государственный мораторий, объявленный в мае 1988 г. помощником секретаря президента по вопросам здравоохранения, был спровоцирован предложением использовать фонды государственной службы здравоохранения на исследования по имплантации человеческих эмбриональных клеток мозга для лечения паркинсонизма. Мораторий запрещает государственное финансирование научных исследований, в которых для пересадки тканей в лечебных

целях используется плод человека, полученный путем умышленного аборта. Вновь был создан консультативный орган, чтобы изучить вопрос и дать рекомендации. Он представил доклад консультативному комитету, который существует при директоре Национальных институтов здоровья, и этот комитет единодушно проголосовал за прекращение запрета. В канцелярию министра здравоохранения и социального обеспечения доклад комитета поступил в январе этого года, но ответа на него до сих пор не получено, так что мораторий остается в силе.

Следует отметить, что этот мораторий касается использования клеток и тканей только мертвого плода. Комиссия, работавшая в 1974 г., сочла такой вариант относительно приемлемым и главную тревогу вызывало не это, а вероятность того, что живому плоду может быть причинен вред ради научных интересов. Хотя моральный аспект совершения аборта всегда фигурировал в обсуждениях этической допустимости научных исследований с использованием тканей человеческого плода, для тех, кто возражал против трансплантации эмбриональных тканей, единственной проблемой, похоже, был именно вопрос о живом плоде.

Нападки на исследования, в которых используются эмбриональные ткани, частично основываются на ложном убеждении, что врачи способствуют абортам, чтобы получить материал для исследований. Ученые же предстают как их сообщники, деятельность которых создает впечатление, будто «индустрия абортотворения» — дело законное. Исследовательская работа также объявляется противоречащей этическим нормам, поскольку сам объект аборта — будущий ребенок — не может дать сознательного согласия на него и никто, по-видимому, не может претендовать на то, чтобы быть его доверенным лицом; мать же, решившая прервать жизнь своего еще не родившегося ребенка, вряд ли способна блюсти его интересы. Спрашивается: если разрешить подвергать исследованиям неродившихся детей, неспособных выразить свое отношение к этому, то кто будет следующей жертвой? Умственно отсталые? Социально нежелательные элементы?

В качестве аргумента против исследований приводится и то соображение, что женщина, которая по моральным причинам колеблется делать аборт, может склониться в его пользу, если ее убедят в целесообразности этой операции, скажем, когда в результате больной паркинсониз-

мом получит помощь. Хуже того, женщина может пойти на то, чтобы забеременеть с целью произвести материал для исследований, и, допустим, продать плод или предоставить его больному родственнику для лечения (например, от диабета).

Итак, я привел неполный перечень возражений против исследований, в которых используются эмбриональные ткани человека, чтобы уравновесить перечисленные вначале выгоды. Рассмотрев и то и другое, я пришел к убеждению, что такие научные изыскания нужно продолжать и федеральным властям следует их поддерживать. Однако исследователи, по моему, должны прислушиваться к тревогам противников их работы и соответственно реагировать. Собственно, большая часть этих тревог уже нашла выражение в федеральных правилах, регулирующих исследования с использованием плода человека. Помимо прочего, существующие правила запрещают создание финансовых или иных сомнительных мотивов и требуют изолировать решение женщины совершать аборт от ее намерения помочь исследованиям. Все предложения о проведении исследовательских работ, в которых будут использоваться ткани плода человека, должны тщательно рассматриваться в междисциплинарных комитетах, которые дают одобрение таким работам. Правила обеспечивают достаточные препятствия для злоупотреблений, а также для эксплуатации умственно отсталых и других беззащитных лиц.

Одна из проблем, которые невозможно решить никакими правилами, — это моральная оценка аборта. Пожалуй, природа противоречия в данном случае такова, что оно вообще вряд ли разрешимо. Но вовсе нет необходимости оправдывать умышленные аборты, чтобы дать зеленую улицу исследованиям, использующим эмбриональные ткани человека. Аборт ни сейчас и никогда в будущем не станет средством достижения научных целей. Множество женщин решаются и будут решаться на аборт независимо от каких бы то ни было исследований. Вопрос в том, как поступать с абортусами. Можно сжигать их, как это делают с не имеющим индивидуальности материалом, остающимся в результате хирургических операций. А можно использовать их в качестве доноров тканей для исследований или для пересадки больным в соответствии с положениями Всеобщего закона об анатомических трансплантатах. Без сомнения, второй вариант более уязвим для всяческих претензий на гуманное отношение к мертвому плоду.

ИСПЫТАНИЯХ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА ТОКСИЧНОСТЬ: ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ЖИВОТНЫХ И ИХ АЛЬТЕРНАТИВА

IN-VITRO METHODS MAY OFFER ALTERNATIVES TO ANIMAL TESTING. Ron Dagan in *Chemical and Engineering News*, Vol. 62, No. 46, pages 25—28; November 12, 1984.

A CRITICAL EVALUATION OF ALTERNATIVES TO ACUTE OCULAR IRRITATION TESTING. John M. Frazier, Shayne C. Gad, Alan M. Goldberg and James P. McCulley. Mary Ann Liebert, Inc., 1987.

PHARMACOKINETICS IN RISK ASSESSMENT: DRINKING WATER AND HEALTH, Vol. 8, National Research Council. National Academy Press, 1987.

PREDICTION OF CHEMICAL CARCINOGENICITY IN RODENTS FROM IN VITRO GENETIC TOXICITY ASSAYS. Raymond W. Tennant et. al. in *Science*, Vol. 236, No. 4804, pages 933-941; May 22, 1987.

FOURTH INTERNATIONAL WORKSHOP ON IN VITRO TOXICOLOGY. Edited by M. Balls and L.J. King in *Xenobiotica: The Fate of Foreign Compounds in Biological Systems*, Vol. 18, No. 6, June, 1988.

ГРАНДИОЗНАЯ СВЕРХНОВАЯ 1987 ГОДА

THE PHYSICS OF SUPERNOVA EXPLOSIONS. S.E. Woosley and Thomas A. Weaver in *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, Vol. 24, pages 205—253; 1986.

SUPERNOVA 1987A! S.E. Woosley and M.M. Phillips in *Science*, Vol. 240, No. 4853, pages 750—759; May 6, 1988.

SUPERNOVA 1987A IN THE LARGE MAGELLANIC CLOUD. M. Kafatos and A. Michalitsianos. Cambridge University Press, 1988.

THE SUPERNOVA STORY. Laurence A. Marschall. Plenum Press, 1988.

SUPERNOVA 1987A. W. David Arnett, John N. Bahcall, Robert P. Kirshner and Stanford E. Woosley in *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, Vol. 27, pages 629—700; 1989.

ИМШЕНИК В.С., НАДЕЖИН Д.К. Сверхновая 1987А в Большом Магеллановом Облаке; теория и наблюдения. — Успехи физических наук, 1988, т. 156, вып. 4, с. 561.

КАК ВИРУСЫ ВЛИЯЮТ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КЛЕТОК

VIRUS CAN ALTER CELL FUNCTION WITHOUT CAUSING CELL PATHOLOGY.

Michael B.A. Oldstone in *Concepts in Viral Pathogenesis*, edited by Abner Louis Notkins and Michael B.A. Oldstone, Springer-Verlag, 1984.

CYTOIMMUNOTHERAPY FOR PERSISTENT VIRUS INFECTION REVEALS A UNIQUE CLEARANCE PATTERN FROM THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM. Michael B.A. Oldstone et al., in *Nature*, Vol. 321, No. 6067, pages 239—243; May 15, 1986.

VIRUSES PERTURB LYMPHOCYTE FUNCTIONS. M.B. McChesney and M.B.A. Oldstone in *Annual Review of Immunology*, Vol. 5, pages 279—304; 1987.

VIRAL PERSISTENCE. Michael B.A. Oldstone in *Cell*, Vol. 56, No. 4, pages 517—520; February 24, 1989.

LYMPHOCYTIC CHORIOMENINGITIS VIRUS SELECTIVELY ALTERS DIFFERENTIATION BUT NOT HOUSEKEEPING FUNCTIONS. Linda S. Klavinskis and Michael B.A. Oldstone in *Virology*, Vol. 168, No. 2, pages 232—235; 1989.

СПАРИВАНИЕ У ДРЕВЕСНЫХ СВЕРЧКОВ

THE EVOLUTION OF INSECT MATING SYSTEMS. Randy Thornhill and John Alcock. Harvard University Press, 1983.

ORTHOPTERAN MATING SYSTEMS: SEXUAL COMPETITION IN A DIVERSE GROUP OF INSECTS. Edited by Darryl T. Gwynne and Glenn K. Morris. Westview Press, 1983.

MALE CRICKETS FEED FEMALES TO ENSURE COMPLETE SPERM TRANSFER. Scott K. Sakaluk in *Science*, Vol. 223, No. 4636, pages 609—610; February 10, 1984.

THE CONTRIBUTION OF MULTIPLE MATING AND SPERMATOPHORE CONSUMPTION TO THE LIFETIME REPRODUCTIVE SUCCESS OF FEMALE FIELD CRICKETS (*GRYLLUS BIMACULATUS*). L.W. Simmons in *Ecological Entomology*, Vol. 13, No. 1, pages 57—69; February, 1988.

COURTSHIP FEEDING IN KATYDIDS BENEFITS THE MATING MALE'S OFFSPRING. Darryl T. Gwynne in *Behavioral Ecology and Sociobiology*, Vol. 23, No. 6, pages 373—377; 1988.

МЕТАМОРФОЗА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

DISTRIBUTED INTERPRETATION: A MODEL AND EXPERIMENT. Victor R. Lesser and Lee D. Erman in *IEEE Transactions on Computers*, Vol. C-29, No. 12, pages 1144—1163; December, 1980.

CONNECTIONIST EXPERT SYSTEMS. Stephen I. Gallant in *Communications of the ACM*, Vol. 31, No. 2, pages 152—169; February, 1988.

GETTING THE JOB DONE. David Gelernter in *Byte*, Vol. 13, No. 12, pages 301—308; November, 1988.

LINDA IN CONTEXT. Nicholas Carriero and David Gelernter in *Communications of the ACM*, Vol. 32, No. 4, pages 444—458; April, 1989.

МЫШЦЫ СРЕДНЕГО УХА

ON THE NEURONAL ORGANIZATION OF THE ACOUSTIC MIDDLE EAR REFLEX: A PHYSIOLOGICAL AND ANATOMICAL STUDY. Erik Borg in *Brain Research*, Vol. 49, No. 1, pages 101—123; January 15, 1973.

PERIPHERAL CONTROL OF ACOUSTIC SIGNALS IN THE AUDITORY SYSTEM OF ECHOLocATING BATS. Nobuo Suga and Philip H.-S. Jen in *Journal of Experimental Biology*, Vol. 62, No. 2, pages 277—311; April, 1975.

THE AVIAN STAPEDIUS MUSCLE: INFLUENCE ON AUDITORY SENSITIVITY AND SOUND TRANSMISSION. S. A. Counter and E. Borg in *Acta Oto-Laryngologica*, Vol. 94, No. 3—4, pages 267—274; 1982.

THEORIES OF THE MIDDLE-EAR MUSCLE FUNCTION. Erik Borg, S. Allen Counter and Günter Rosler in *The Acoustic Reflex: Principles and Clinical Applications*. Edited by Shlomo Silman Academic Press, 1984.

ПИСЬМЕННОСТЬ МАЙЯ

MAYA HIEROGLYPHIC WRITING: AN INTRODUCTION. J. Eric S. Thompson. University of Oklahoma Press, 1971.

DECIPHERING THE MAYA SCRIPT. David Humiston Kelley. University of Texas Press, 1976.

EMBLEM AND STATE IN THE CLASSIC MAYA LOWLANDS: AN EPIGRAPHIC APPROACH TO TERRITORIAL ORGANIZATION. Joyce Marcus. Dumberton Oaks, 1976.

THE MAYA, fourth edition. Michael D. Coe, Thames and Hudson, 1987.

MAYA ICONOGRAPHY. Edited by Elizabeth P. Benson and Gillett G. Griffin. Princeton University Press, 1988.

MAYA GLYPHS. S. D. Houston. University of California Press/British Museum, 1989.

Кнорозов Ю. В. «СООБЩЕНИЕ О ДЕЛАХ В ЮКАТАНЕ» ДИЕГО ДЕ ЛАНДЫ КАК ИСТОРИКО-ЭТНОГРАФИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК. В книге Д. де Ланда. Сообщение о делах в Юкатане. М.-Л., 1955.

Кнорозов Ю. В. ПИСЬМЕННОСТЬ ИНДЕЙЦЕВ МАЙЯ. — М.-Л., 1963.

Кнорозов Ю. В. ИЕРОГЛИФИЧЕСКИЕ РУКОПИСИ МАЙЯ. — Л., 1975.

ДОЛГИЕ ДЕБАТЫ О ВОЗРАСТЕ ЗЕМЛИ

GENESIS AND GEOLOGY. Charles Coulston Gillispie. Harper, 1951.

RUTHERFORD, BOLTWOOD, AND THE AGE OF THE EARTH: THE ORIGIN OF RADIOACTIVE DATING TECHNIQUES. Lawrence Badash in *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol. 112, No. 3, pages 157—169; June 1968.

LORD KELVIN AND THE AGE OF THE EARTH. Joe D. Burchfield. Science History Publications, 1975.

НАУКА ВОКРУГ НАС

ON KINEMATIC WAVES: II. A THEORY OF TRAFFIC FLOW ON LONG CROWDED ROADS. M.J. Lighthill and G.B. Whitham in *Proceedings of the Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical Sciences*, Vol. 229, No. 1178, pages 317—345; May 10, 1955.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

CELLULAR AUTOMATA MACHINES. Tommaso Toffoli and Norman Margolus. The MIT Press, 1988.

CYCLIC CELLULAR AUTOMATA IN TWO DIMENSIONS. Robert Fisch, Janko Gravner and David Griffeath. Ted E. Harris Festschrift. Birkhauser, in press.

ЖЕСТКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СВЕРХНОВОЙ 1987 А

Гребенев С. А., Сюняев Р. А. ОЖИДАЕМОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ОТ СВЕРХНОВОЙ 1987А. РАСЧЕТЫ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО. — Письма в Астрономический журнал, 1987, т. 13, с. 945—963.

Сюняев Р. А., Каниовский А. С., Ефремов В. В. и др. ОБНАРУЖЕНИЕ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕРХНОВОЙ 1987А. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОДУЛЯ КВАНТ. — Письма в Астрономический журнал, 1987, т. 13, с. 1027—1041.

Сюняев Р. А., Ефремов В. В., Каниовский А. С. и др. УВЕЛИЧЕНИЕ ПОТОКА ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ СВЕРХНОВОЙ 1987А ПО ДАННЫМ ПРИБОРОВ ГЕКСЕ И «ПУЛЬСАР X-1» ОБСЕРВАТОРИИ РЕНТГЕН НА МОДУЛЕ КВАНТ. — Письма в Астрономический журнал, 1988, т. 14, с. 579—590.

Сюняев Р. А., Каниовский А., Ефремов В. В. и др. ПАДЕНИЕ ПОТОКА ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕРХНОВОЙ 1987А. ДАННЫЕ МОДУЛЯ КВАНТ. — Письма в Астрономический журнал, 1989, т. 15, с. 291—300.

Sunayev R. A., Kaniovsky A. S., Efremov V. V. et al. DISCOVERY OF HARD X-RAY EMISSION FROM SUPERNOVA 1987A. *Nature*, 1987, V. 330, p. 227.

(начало см. на с.5)

Robert J. Levine "Essay. Fetal research: the underlying issue" (РОБЕРТ ДЖ. ЛЕВИН «Эссе. Использование тканей плода человека для научных исследований: за и против») — профессор, председатель рецензионного совета в Медицинской школе Йельского университета.

РАШИД АЛИЕВИЧ СЮНЯЕВ («Жесткое рентгеновское излучение Сверхновой 1987А») — заведующий Отделом астрофизики высоких энергий Института космических исследований АН СССР. Окончил в 1966 г. Московский физико-технический институт. Член-корр. АН СССР, вице-президент Международной организации по освоению космического пространства (КОСПАР), президент Комиссии астрофизики высоких энергий Международного астрономического союза. Основные работы — в области теоретической астрофизики и наблюдательной космологии. Широко известны работы Р. А. Сюняева по теории дисковой аккреции, взаимодействию вещества и излучения в ранней Вселенной, интерпретации данных наблюдений нейтронных звезд и черных дыр в двойных звездных системах. Р. А. Сюняев — научный руководитель Международной орбитальной обсерватории РЕНТГЕН, успешно работающей уже более двух лет на модуле КВАНТ комплекса космической станции МИР.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 20.09.89.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 ¼.
Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,50 бум. л.

Бумага офсетная №1.

Усл.-печ. л. 13,0.

Уч.-изд. л. 16,91.

Усл. кр.-отт. 54,50.

Изд. № 25/6788. Заказ 812.

Тираж 27 100 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Госкомиздата СССР

129820, ГСП, Москва, И-110,

1-й Рижский пер., 2.

Набрано в Межиздательском

фотонаборном центре

издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Госкомиздата СССР

127576, Москва, Илимская, 7



Книги издательства „Мир“

К. Боуден
**ФИЗИЧЕСКАЯ ОКЕАНОГРАФИЯ
ПРИБРЕЖНЫХ ВОД**

Перевод с английского

Книга известного английского океанолога написана на основе лекций, прочитанных им в Ливерпульском университете (Великобритания), и посвящена специально динамике шельфовых вод — предмету, которому в обычных курсах океанологии уделяется мало

внимания. Между тем, именно шельфовые воды стали в последние десятилетия объектом усиленного хозяйственного освоения, в том числе разведки и добычи нефти и газа.

Начиная с определения прибрежных вод и оценки их значения для человечества, автор последовательно описывает особенности поведения вод вблизи берегов: приливо-отливные и нагонные течения, поверхностные волны, перемешивание, температурно-солевой режим, обмен с глубинными водами. Достоинства книги — четкий и ясный язык, большое число фактических сведений, таблиц и карт, связь с практическими потребностями использования шельфовых вод и дна.

Содержание: Приливы и приливные течения. Поверхностные волны. Течения и нагоны, вызываемые ветром.

Прибрежный апвеллинг. Потоки, вызываемые разностью плотностей, и распределение солености. Распределение температуры и сезонный термоклин. Процессы обмена и перемешивания вод. Взаимодействие между прибрежной и океанской циркуляцией.

Для широкого круга специалистов, интересы которых связаны с исследованиями и эксплуатацией прибрежных вод. Может служить учебным пособием.

1988, 20 л. Цена 3 р. 30 к.

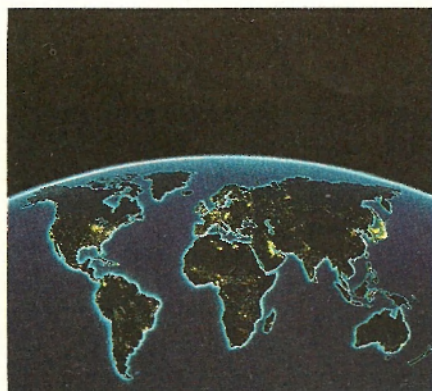


Эту книгу вы можете выписать наложенным платежом,
отправив заказ по адресу:

191040 Ленинград, Пушкинская ул., 2, магазин «Техническая книга»



В следующем номере:



УПРАВЛЕНИЕ ПЛАНЕТОЙ ЗЕМЛЯ

МЕНЯЮЩАЯСЯ АТМОСФЕРА

МЕНЯЮЩИЙСЯ КЛИМАТ

УГРОЗА ВОДНЫМ РЕСУРСАМ

РАЗНООБРАЗИЕ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ ПОД УГРОЗОЙ

РОСТ НАРОДОНАСЕЛЕНИЯ

СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

СТРАТЕГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

СТРАТЕГИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

ПУТИ ДОСТИЖЕНИЯ СБАЛАНСИРОВАННОГО
ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

НА ПУТИ К СБАЛАНСИРОВАННОМУ МИРУ