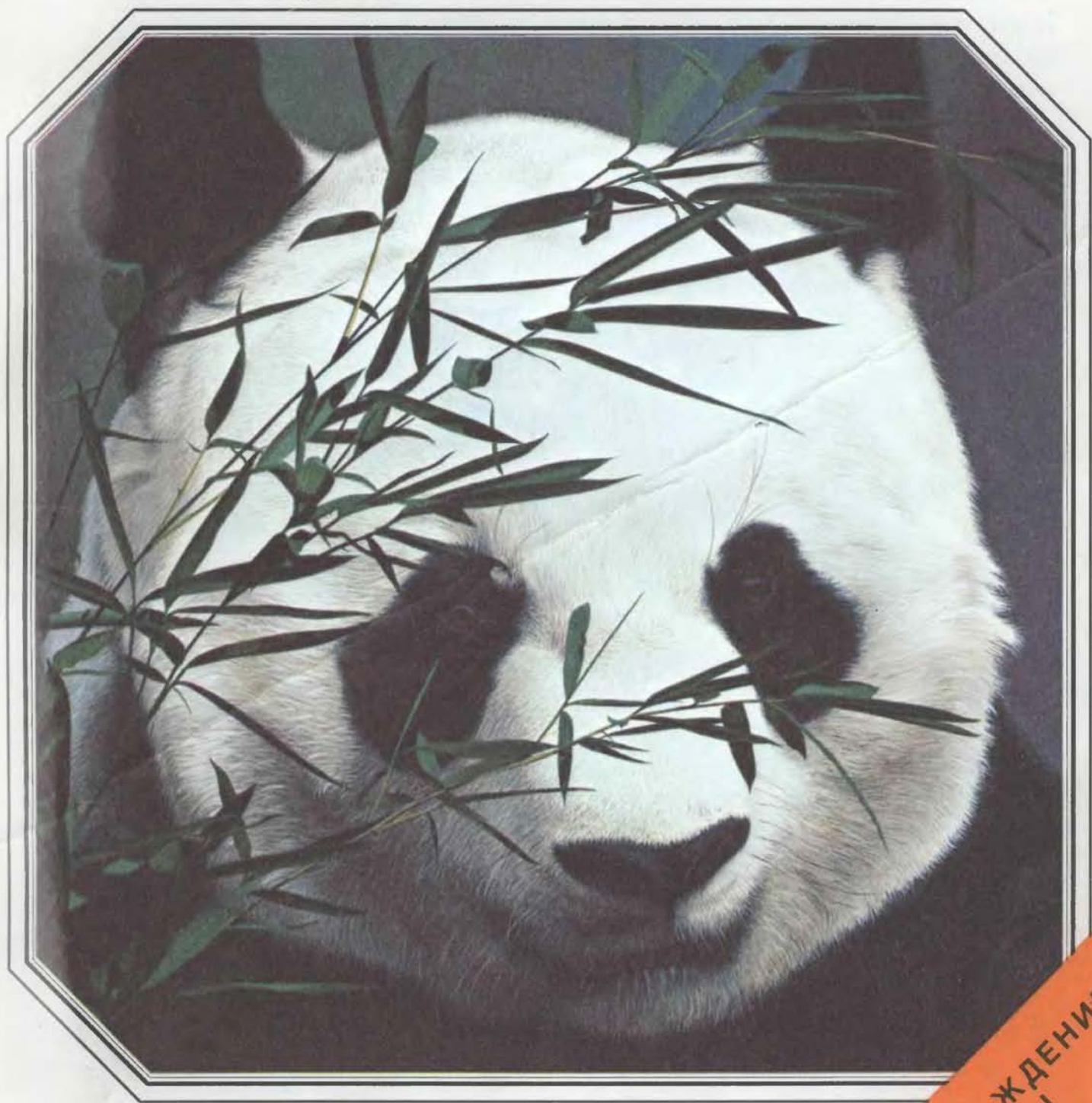


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Январь **1** 1988

ПРОИСХОЖДЕНИЕ
ПАНДЫ

Международное сотрудничество,
обмен научными идеями, оперативную информацию
по актуальным вопросам науки и техники
представляет всемирная сеть журнала
**SCIENTIFIC
AMERICAN**
и его переводных изданий.



Потребность быть в курсе самых последних научных достижений испытывают все больше людей во всем мире. Серьезный и обстоятельный подход редакторов и авторов — крупнейших ученых из разных стран к отбору и публикации статей, отражающих современное развитие науки, находит живой отклик у растущей читательской аудитории журнала, охватывающей миллионы заинтересованных специалистов, студентов и школьников.



ОДИН-НА ЯЗЫКАХ 10



Интерес к журналу объясняется еще и тем, что переводные варианты журнала выходят одновременно в ФРГ, Франции, Италии, Испании, Японии, КНР, СССР, ВНР и Кувейте спустя лишь два месяца после выхода «Сайентифик Америкн» в США. Это дает возможность мировой научной общности знакомиться в одно и то же время с новостями с переднего края науки. Читая журнал «В мире науки», Вы всегда будете в курсе последних достижений в интересующей Вас области!

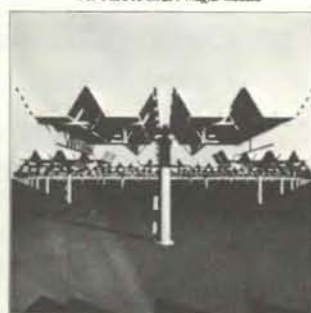
サイエンス
SCIENTIFIC
AMERICAN



科学 SCIENTIFIC
AMERICAN



TUDOMÁNY
SCIENTIFIC
AMERICAN magyar kiadás



العلوم
SCIENTIFIC
AMERICAN



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 1 - ЯНВАРЬ 1988

В номере:

СТАТЬИ



(Scientific American, November 1987, Vol. 257, No. 5)

6 Питание и рак

Леонард А. Козн

На основании немногочисленных, но убедительных данных эпидемиологических исследований и опытов на животных сформулированы рекомендации, имеющие целью снизить заболеваемость людей раком, связанным с питанием



14 Гелиевые сверхновые

Дж. Крейг Уиллер, Роберт П. Харкнесс

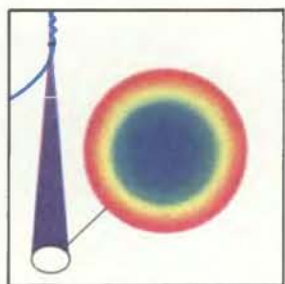
Моделирование на компьютерах показывает, что такие сверхновые появляются в результате коллапса «обнаженного» ядра массивной звезды. Ярчайшая вспышка, происшедшая в 1987 г., по-видимому, похожа на эти «пекулярные» сверхновые



24 Искусственные хромосомы

Эндрю У. Мюррей, Джек У. Шостак

Геноинженерные исследования поначалу ограничивались манипулированием отдельными генами. Сейчас приемы генетической инженерии используются для получения целых хромосом, что позволяет исследовать их поведение



32 Синхротронное излучение

Герман Виник

Тонкий, как нить, пучок электронов, траектория которого искривляется в магнитной системе накопительного кольца, является самым ярким источником ультрафиолетового света и рентгеновских лучей. Уникальные свойства этого излучения открывают новые перспективы его использования в науке и технике



44 Родословная большой панды

Стивен Дж. О'Брайен

К кому относится большая панда — к медведям или к енотам? Быть может, этот вид нужно выделять в самостоятельное семейство? Результаты изучения макромолекул по-новому освещают давнюю проблему его происхождения



52 Демоны, двигатели и второе начало термодинамики

Чарлз Г. Беннет

С 1871 г. физики пытались разрешить загадку демона Максвелла: воображаемого существа, которое может нарушать второе начало термодинамики. Решение дает теория вычислений



62 Раннее земледелие в Северо-Западной Европе

Джон М. Хауэлл

Восемь тысячелетий назад земледелие распространилось из Восточной Европы на север и запад континента. Результаты недавних исследований, основанных на картографировании поселков каменного века, показывают, как осуществлялся этот процесс



72 Моделирование приливов в интересах энергетики

Дейвид А. Гринберг

Расчеты на компьютерах показывают, что плотина приливной электростанции в заливе Фанди вызвала бы значительные изменения приливного режима. Численное моделирование позволяет оценить не только экономический эффект использования энергии приливов, но и связанные с этим последствия для окружающей среды

- РУБРИКИ 5 Об авторах
 31 50 и 100 лет назад
 42, 50, 61, 70,
 80, 86, 99 Наука и общество
 82 Наука вокруг нас
 88 Занимательный компьютер
 94 Книги
 103 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Harry Myers
PUBLISHER

Jonathan Piel
EDITOR

BOARD OF EDITORS

Philip Morrison
BOOK EDITOR

Armand Schwab, Jr.
Timothy Appenzeller
Timothy M. Beardsley

John M. Benditt, Laurie Burnham

David L. Cooke, Jr.
Ari W. Epstein

Gregory R. Greenwell

John Horgan

June Kinoshita

Ricki L. Rusting, Karen Wright

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
DIRECTOR OF PRODUCTION

Geörg-Dieter von Holtzbrinck
PRESIDENT

Gerard Piel
CHAIRMAN OF THE BOARD

© 1987 by Scientific American, Inc.

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

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

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

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Т. Д. Франк-Каменецкая

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
С. К. Аносов

КОРРЕКТОР
Н. А. Вавилова

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», 1988

На обложке



ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПАНДЫ

На обложке изображены большая панда и ее основная пища — бамбук (см. статью Стивена Дж. О'Брайена «Родословная большой панды» на с. 44). Эволюционные корни большой панды долгое время не удавалось установить, так как образ жизни и питания этого вида обусловили анатомические и поведенческие особенности, существенно отличающие его от родственных видов. Сейчас проблема происхождения и систематического положения большой панды прояснилась благодаря применению современных методов исследования на молекулярном уровне — гибридизации ДНК, электрофореза белков, хромосомного анализа и др.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Marvin Mattelson

| СТР | АВТОР/ИСТОЧНИК | СТР. | АВТОР/ИСТОЧНИК | СТР. | АВТОР/ИСТОЧНИК |
|-------|--|-------|--|-------|--|
| 7 | Carol Donner | | Laboratory, | 89-92 | Heinz-Otto Peltgen, Peter H. Richter, University of Bremen |
| 8-12 | Andrew Christie | | Exxon Research and Engineering Company (справа) | | |
| 15 | John F. Kielkopf | | | | |
| 16-21 | Ian Worpole | 40-41 | George Retseck | | |
| 22 | European Southern Observatory (вверху), Ian Worpole (внизу) | 44-45 | Jessie Cohen, National Zoological Park, Washington, D.C. | | |
| 25 | Philip Hieter, Johns Hopkins University School of Medicine | 46 | Johnny Johnson | | |
| 26-29 | Hank Iken | 47 | Patricia J. Wynne | | |
| 33 | Lawrence Berkeley Laboratory | 48 | Stephen J. O'Brien | | |
| 34-38 | George Retseck | 49 | Patricia J. Wynne | | |
| 39 | Keith Moffat, Cornell University (слева); Janos Kirz, State University of New York at Stony Brook (в середине); Corporate Research | 53 | James Kilkelly, R. Bruce Laughlin | | |
| | | 54-58 | Jerome Kuhl | | |
| | | 62-63 | Ian Kinnes, British Museum | | |
| | | 64-69 | Tom Prentiss | | |
| | | 73 | Nova Scotia Department of Government Services | | |
| | | 74-79 | George V. Kelvin | | |
| | | 83 | Jearl Walker | | |
| | | 84-85 | Michael Goodman | | |

Об авторах

Leonard A. Cohen (ЛЕОНАРД А. КОЭН «Питание и рак») окончил Висконсинский университет в Мадисоне в 1960 г., затем учился в Бруклин-Колледже и в Онкологическом институте Слоана-Кеттеринга. В 1972 г. в Нью-Йоркском городском университете получил степень доктора философии в области клеточной биологии. В 1973 г. стал сотрудником Института Нейлора Даны по профилактике болезней Американского фонда здравоохранения; в 1984 г. он возглавил там отдел диетологической эндокринологии. Коэн — один из научных консультантов журнала «Nutrition Action Newsletter», издаваемого Центром общественно-полезных научных знаний.

J. Craig Wheeler, Robert P. Harkness (ДЖ. КРЕЙГ УИЛЛЕР, РОБЕРТ П. ХАРКНЕСС «Гелиевые сверхновые») работают на факультете астрономии Техасского университета в Остине. Уиллер — профессор астрономии, декан факультета. Степень бакалавра (1965) в области физики получил в Массачусетском технологическом институте, а степень доктора философии в области физики (1969) — в Колорадском университете. Был научным сотрудником в Калифорнийском технологическом институте и ассистентом в Гарвардском университете, затем перешел на факультет астрономии Техасского университета в Остине, где в 1980 г. получил должность профессора. Харкнесс получил степень бакалавра в области астрономии и физики (1977) в Юниверсити-Колледже в Лондоне, а степень доктора философии в области астрофизики (1981) — в Оксфордском университете. В постдокторантуре в Оксфорде Харкнесс впервые разработал численные методы решения уравнения переноса излучения в оболочках сверхновых. В Техасском университете в Остине он является научным сотрудником факультета астрономии и Центра высокопроизводительных расчетов на компьютерах.

Andrew W. Murray, Jack W. Szostak (ЭНДРЬЮ У. МЮРРЕЙ, ДЖЕК У. ШОСТАК «Искусственные хромосомы») ведут совместную работу по искусственным хромосомам дрожжей с 1982 г. Шостака получил степень бакалавра в 1972 г. в Университете Мак-Гилла. Степень доктора философии была ему присвоена в 1977 г. в Корнеллском университете, где он после этого занимался исследовательской работой (изучал рекомбинацию у дрожжей). С 1979 г. работал в Инсти-

туте Даны—Фарбера по изучению рака и в Медицинской школе Гарвардского университета. В 1984 г. стал сотрудником отдела генетики и ассистентом в медицинской школе Массачусетской больницы. Мюррей получил степень бакалавра в Кембриджском университете в 1978 г. В 1980 г. начал работать у Шостака. Получив в 1984 г. степень доктора философии, остался в лаборатории Шостака. В 1986 г. перешел в Калифорнийский университет в Сан-Франциско.

Herman Winick (ГЕРМАН ВИНИК «Синхротронное излучение») — профессор факультета прикладной физики Станфордского университета и заместитель директора Станфордской лаборатории синхротронного излучения. Закончил Колумбийский университет, где в 1957 г. получил степень доктора в области физики высоких энергий. Работал сначала в Рочестерском университете, затем в Гарвардском университете как научный сотрудник Кембриджского ускорителя электронов. К 1973 г., когда Виник перешел из Гарварда в Станфорд, он был помощником директора этой установки. Виник вспоминает: «Ускоритель использовался и как источник синхротронного излучения. Я координировал эту работу и следил за тем, чтобы она не влияла на проведение экспериментов по физике высоких энергий. В это время у меня и появился интерес к возможному применению синхротронного излучения». Недавно Винику присуждена премия министерства энергетики США за его работы по получению пучков излучения высокой яркости с большим потоком фотонов.

Stephen J. O'Brien (СТИВЕН Дж. О'БРАЙЕН «Родословная большой панды») занимается проблемой, обсуждаемой в публикуемой статье, с тех пор как его попросили установить отцовство детеныша панды, родившегося в Вашингтонском национальном зоопарке в 1983 г. Степень доктора философии О'Брайен получил в 1971 г. в Корнеллском университете. После этого специализировался по генетике соматических клеток млекопитающих и молекулярной эволюции в Национальном институте рака. В 1973 г. стал сотрудником лаборатории вирусного канцерогенеза этого института, а в 1986 г. ее руководителем. О'Брайен — сопредседатель международного комитета по сравнительному картированию генома, редактор журнала «Genetic Maps», один из авторов статьи «Гепард в генети-

ческой опасности» (см. «В мире науки», 1986, № 7).

Charles H. Bennett (ЧАРЛЗ Г. БЕННЕТ «Демоны, двигатели и второе начало термодинамики») — сотрудник научной группы в Исследовательском центре Томаса Уотсона фирмы ИВМ в Йорктаун-Хайтсе (шт. Нью-Йорк). Учился в Университете Брандейса. Степень доктора философии в области химии получил в Гарвардском университете в 1970 г. В течение двух лет работал в Аргоннской национальной лаборатории, в 1972 г. перешел в фирму ИВМ. Здесь продолжил работу по математической теории случайных процессов и установлению связи между статистической механикой и теорией вычислений. Беннетт — соавтор статьи «Физические пределы вычислений», опубликованной в журнале «В мире науки» (1985, № 9).

John M. Howell (ДЖОН М. ХАУЭЛЛ «Раннее земледелие в Северо-Западной Европе»). Длительное время занимался исследованиями неолитического периода в Европе. До защиты докторской диссертации в Оксфордском университете изучал доисторическую археологию в Эдинбургском университете. Хауэлл является почетным научным сотрудником кафедры археологии Ливерпульского университета. Им составлен ряд радиопрограмм для Би-Би-Си, посвященных археологическим исследованиям в Западной и Восточной Европе, в которых он сам принимал участие, а также написана книга «Settlement and Economy in Neolithic Northern France».

David A. Greenberg (ДЕЙВИД А. ГРИНБЕРГ «Моделирование приливов в интересах энергетики») изучает вопросы воздействия на окружающую среду приливных электростанций, работая научным сотрудником в институте при канальном министерстве рыболовства и ресурсов океана. Степени бакалавра и магистра получил в Университете Ватерлоо в Онтарио в 1969 и 1970 г. соответственно. Степень доктора философии в области физической океанографии получил в Ливерпульском университете: тема его диссертации касалась проблем, затронутых в данной статье. Эту работу он продолжил и развил, работая сначала в министерстве рыболовства и ресурсов океана в Оттаве, а с 1977 г. в принадлежащем этому министерству Бедфордском институте океанографии в Дартмуте, пров. Новая Шотландия. В настоящее время Гринберг занимается изучением циркуляции в заливе Мэн и механизмов, ответственных за генерацию Лабрадорского течения.

Питание и рак

На основании немногочисленных, но убедительных данных эпидемиологических исследований и опытов на животных сформулированы рекомендации, имеющие целью снизить заболеваемость людей раком, связанным с питанием

ЛЕОНАРД А. КОЭН

В 1982 г. Национальным советом по научным исследованиям при Национальной академии наук США были опубликованы предварительные инструкции, имеющие целью снизить риск раковых заболеваний, связанный с пищей. Основные рекомендации заключались в том, что необходимо уменьшить до 30% потребление жиров, на долю которых в питании американцев в настоящее время приходится в среднем 40% от суммарной калорийности пищи; есть больше грубоволокнистой пищи, фруктов и овощей; увеличить потребление сложных углеводов (например, крахмала муки и картофеля) и снизить потребление маринованных, соленых и копченых продуктов, а также простых углеводов (например, рафинированного сахара).

Эти рекомендации вызвали среди населения, специалистов-диетологов, в правительственных органах, пищевой промышленности и здравоохранении немало споров и замешательства. Споры ведутся главным образом по поводу того, что, хотя фактический материал, на котором опубликованные рекомендации основаны, весьма убедителен, его никак нельзя считать исчерпывающим. Другими словами, вопрос заключается в том, следует ли благоразумно придерживаться этих рекомендаций или же расценивать их как преждевременные, недостаточно обоснованные.

Ясно одно: в период бурного развития цивилизации за короткое по эволюционным масштабам время питание человека претерпело глубокие изменения. Антропологические исследования, включавшие изучение рациона ныне существующих племен охотников-собирателей, например бушменов пустыни Калахари в Южной Африке, позволяют оценить питание современного человека с эволюционной точки зрения и его возможные отрицательные стороны. С. Бойд Итон и М. Коннер из Университета Эмори,

проанализировав данные о нескольких таких племенах, пришли к заключению, что у доисторических людей в умеренном климате на долю жиров приходилось приблизительно 20% общего потребления калорий, т. е. вдвое меньше, чем в настоящее время в США; притом отношение содержания ненасыщенных и насыщенных жиров было гораздо выше. Доисторические люди, по всей вероятности, потребляли в день около 45 г пищевых волокон (в США сейчас этот показатель не превышает 15 г) и в четыре раза больше аскорбиновой кислоты, чем современные американцы.

Современный человек (*Homo sapiens sapiens*) появился предположительно 30—50 тыс. лет назад, и в течение более чем 90% этого времени он потреблял пищу, бедную жирами и богатую волокнами, аскорбиновой кислотой и кальцием. Таким образом, пищеварительная система и весь метаболизм современного человека сложились в условиях, по характеру питания существенно отличных от нынешних. Характер питания человека в той форме, в какой он был присущ племенам охотников-собирателей, сохранялся на протяжении тысячелетий (некоторые сдвиги произошли около 10 тыс. лет назад в связи с развитием сельского хозяйства) и изменился лишь приблизительно 250 лет назад, когда вследствие промышленной революции изменился образ жизни людей: неуклонно начало возрастать потребление жиров, падать потребление пищевых волокон и повышаться потребление рафинированного сахара в ущерб сложным углеводам.

Таким образом, современный человек переживает в некотором смысле период биологической деформации: изо дня в день его физиология каменного века приходит в конфликт с чуждым ей питанием двадцатого столетия. Изменение питания и малоподвижный образ жизни, как полагают,

являются причиной не только крупных габаритов современных людей, но также широко распространенной тучности, раннего созревания и таких хронических заболеваний, как сердечно-сосудистые нарушения и рак, которые в XVIII и XIX вв. встречались реже даже среди пожилых людей в западноевропейских странах и которые сейчас почти не встречаются в племенах охотников-собирателей.

ГЛАВНАЯ причина неопределенности в диетологических рекомендациях Национального совета по научным исследованиям заключается в сложности процессов, вызывающих рак. Исторически сформировались два подхода к изучению причин рака. Основоположителем одного из них, в котором ведущая роль в развитии рака отводится специфическим агентам внешней среды, можно считать П. Потта, предположившего в 1775 г., что рак мошонки и носовой полости, в то время широко распространенные в Англии среди трубочистов, развиваются вследствие постоянного контакта с сажей. Позже в экспериментальных исследованиях было показано, что действительно некоторые полициклические углеводороды, образующиеся при сгорании органических веществ, действуют на животных как канцерогены. Впоследствии обнаружилось, что рак у животных могут вызывать и некоторые другие химические вещества, а также определенные вирусы и рентгеновское излучение.

Истоки второго подхода, предполагающего более широкий спектр менее специфических факторов, прослеживаются в работе итальянского врача Б. Рамадзини. В 1700 г. он отметил, что рак молочной железы чаще встречается у монахинь, чем у женщин, ведущих обычный образ жизни. Рамадзини предположил, что это обстоятельство может быть связано со спецификой монашеской жизни, в ко-

торой не происходит определенных физиологических событий — беременности и лактации. Поскольку такие факторы, как, например, половая жизнь и деторождение, охватывают широкий круг физиологических событий, не являющихся канцерогенными в общепринятом смысле, они получили название факторов риска.

В 1940 г. эти два подхода объединились в рамках общей концепции благодаря исследованиям И. Беренблума из Вейцмановского института с коллегами и Р. Баутвелла из Висконсинского университета в Мадисоне. Они показали, что в процессе канцерогенеза есть по крайней мере две четко различимые стадии — инициация и промоция. В настоящее время широко распространено мнение, что рак развивается, так сказать, дискретно — по стадиям, каждая из которых регулируется независимо в разное время разными агентами. По современным представлениям, инициация ракового процесса включает кратковременное необратимое взаимодействие между канцерогеном и генетическим материалом соответствующей ткани-мишени. В результате этого взаимодействия происходит изменение на молекулярном уровне (мутация), которое может привести к трансформации некоторых клеток, т. е. к их переходу в аномальное потенциально злокачественное состояние; клинически диагностируемая опухоль, однако, развивается только в том случае, если эти клетки подвергаются действию агентов другого класса, называемых промоторами.

Под влиянием промотора, который сам по себе не является ни мутагеном, ни канцерогеном, трансформированные клетки могут начать пролиферировать (размножаться) и образовать опухоль. Для биологического эффекта промотор должен воздействовать на клетки непрерывно в течение какого-то времени; если промотор преждевременно исчезает, его действие остается обратимым (сказанное не относится к канцерогенам, и это различие важно для профилактики рака). Время между инициацией канцерогенеза и появлением диагностируемой опухоли называется латентным периодом. У человека он колеблется и может составлять 10—20 лет.

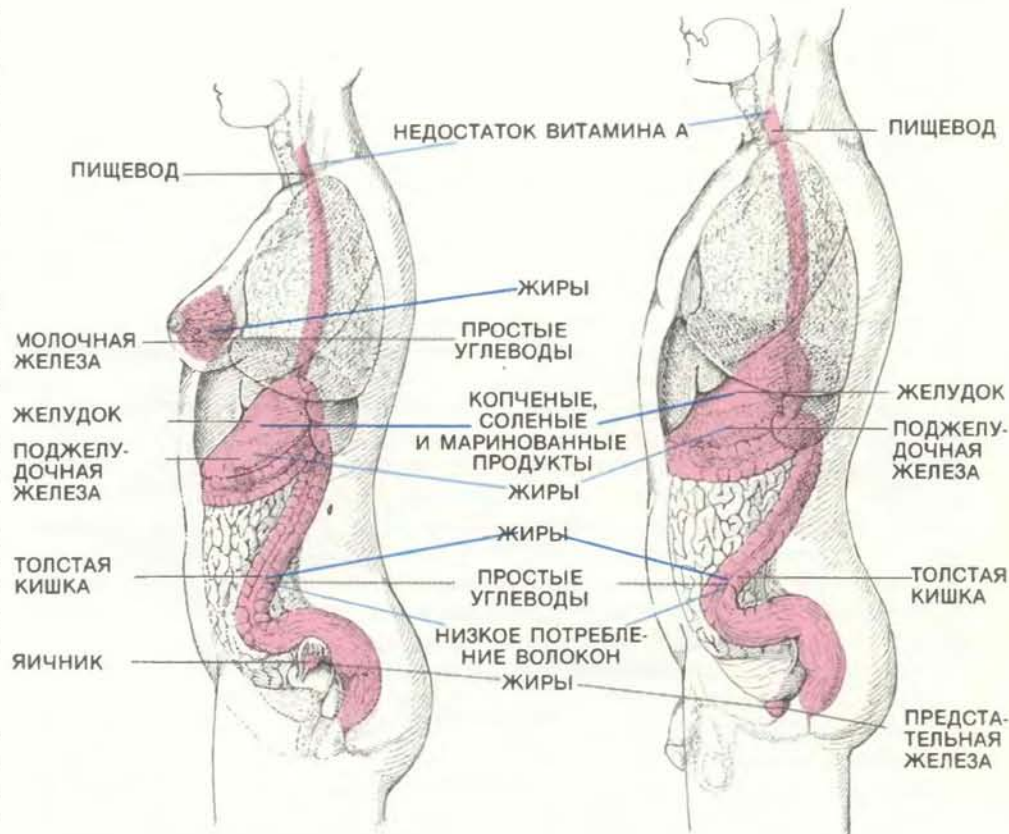
ЕСЛИ БЫ факторы инициации канцерогенеза поддавались однозначной идентификации, можно было бы снизить заболеваемость раком путем устранения этих факторов или ограничения их воздействия на организм. К сожалению, лишь для очень немногих раковых заболеваний человека удалось найти специфические

иницирующие агенты. (Например, асбест в случае мезотелиомы легких и вирус Эпштейна—Барр в случае лимфомы Беркитта. Оба эти заболевания встречаются редко.) Что же касается тех основных видов рака, которым подвержено население западных стран, то только рак легких более или менее специфически связан с определенным причинным фактором — вдыханием табачного дыма. Мало что известно о факторах инициации таких распространенных заболеваний, как рак молочной железы, толстой кишки, предстательной железы, поджелудочной железы, матки и яичников, на долю которых приходится примерно 48% всех случаев смерти от рака среди женщин и 28% среди мужчин.

Как бы то ни было, предотвращение этих обычных раковых заболеваний путем идентификации химических агентов инициации канцерогенеза и их последующего устранения из внешней среды, в которой они, по всей вероятности, присутствуют в незначительной концентрации, представляется невыполнимой задачей. Наиболее эффективный и доступный подход в профилактике рака — это идентификация факторов внешней среды, являющихся промоторами канцерогенеза,

и ограничение или полное прекращение их действия на организм человека; прямой смысл имеет также искать антипромоторные факторы с тем, чтобы увеличить их влияние. Если действие промотора на организм прекратить или модифицировать во время продолжительного латентного периода развития рака, то рак так и останется в латентной форме либо будет развиваться до стадии опухоли гораздо медленнее, чем мог бы.

В настоящее время несколько пищевых факторов считаются промоторами или антипромоторами рака. Наиболее убедительно продемонстрированы промоторные свойства жиров. Антипромоторами, возможно, являются волокна, витамины А, С и Е, микроэлемент селен и определенные химические соединения, встречающиеся в растениях семейства крестоцветных (к которым относятся такие овощи, как брокколи, кочанная и цветная капуста). Результаты клинических и лабораторных исследований указывают на то, что некоторые из содержащихся в этих овощах химических соединений могут оказывать действие сразу на несколько звеньев канцерогенеза: они изменяют активность ферментов, способных обезвреживать иницирующие канцерогены, а также



НЕКОТОРЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПИЩИ, как свидетельствуют данные эпидемиологических исследований и результаты экспериментов на животных, более или менее тесно связаны с риском рака определенных локализаций. Синим цветом отмечены сильные корреляции, голубым — менее сильные, серым — слабые.

играют роль антипромоторов. Другой класс потенциальных антипромоторов — это содержащиеся в бобах и семенах растений ингибиторы протеиназ, т. е. вещества, подавляющие активность ферментов, расщепляющих белки и, по-видимому, способствующих прорастанию опухоли в окружающие ее ткани; их влияние подробно изучал У. Тролл из Медицинской школы Нью-Йоркского университета.

ИНФОРМАЦИЯ, свидетельствующая об участии пищевых факторов в развитии рака, получена главным образом из двух источников — из эпидемиологических исследований и из лабораторных экспериментов на грызунах. Эпидемиологические исследования могут проводиться на уровне какой-либо популяции, всего населения страны либо на индивидуальном уровне.

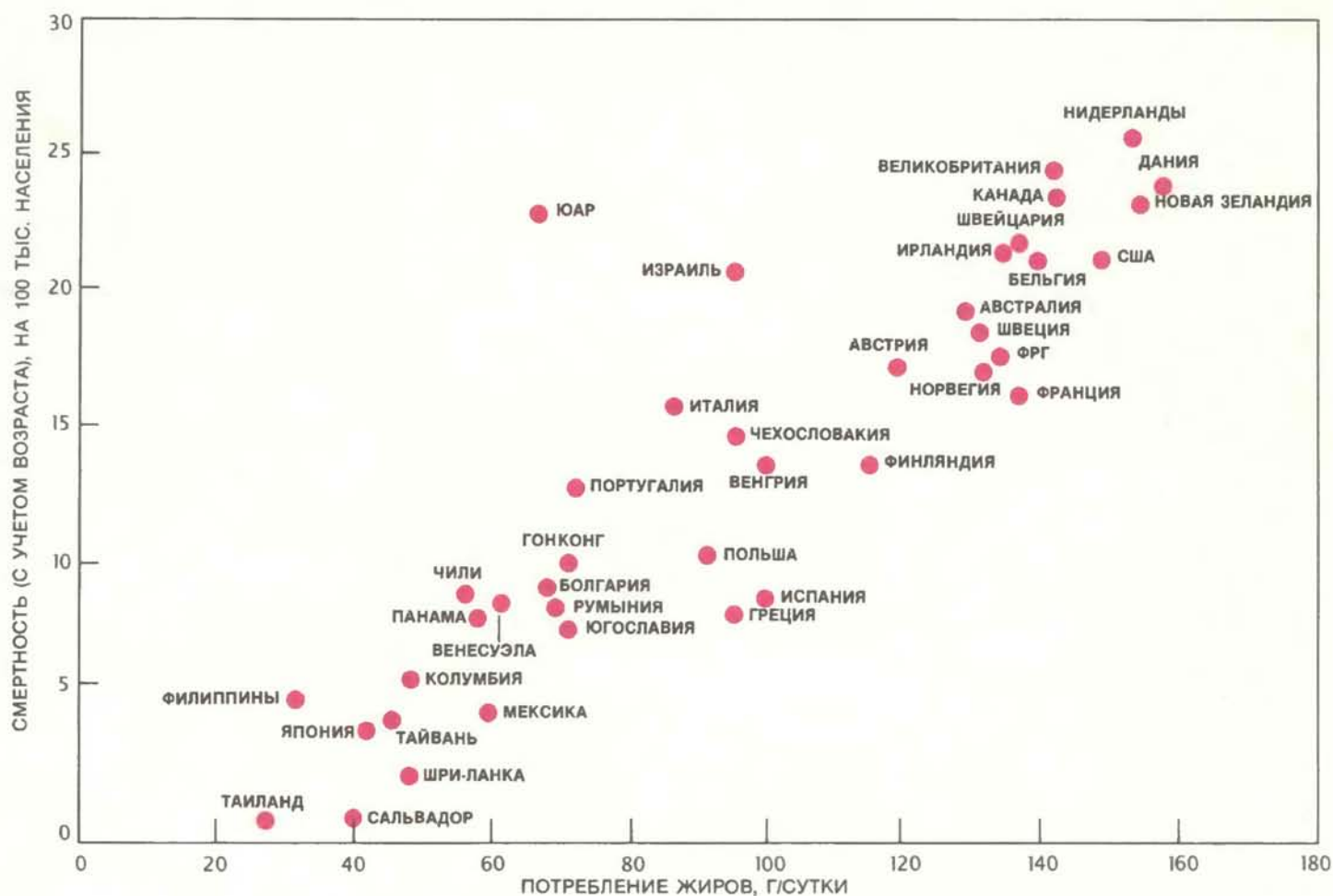
Важные указания на причины канцерогенеза дало сравнение смертности от рака в разных странах. Особенно информативно в этом отношении сравнение США и Японии. В этих двух странах уровень развития промыш-

ленности, образования и здравоохранения равно высок и показатели рождаемости и смертности благополучны. Но хотя общая заболеваемость раком в США и в Японии одинакова, частота определенных локализаций рака совершенно различна. Так, обычные в США виды рака — молочной железы, толстой кишки и предстательной железы — в Японии регистрируются редко. Наоборот, рак желудка обычен в Японии, а в США встречается редко. Значит ли это, что в США больше, чем в Японии, факторов внешней среды, способствующих определенным раковым заболеваниям, или что в Японии больше, чем в США, факторов, противодействующих их развитию?

Можно предположить, что популяционная специфика в заболеваемости раком связана с генетическими особенностями населения. Эта гипотеза, однако, опровергается данными о заболеваемости людей, переселившихся из одной страны в другую, которые свидетельствуют о том, что в глобальном масштабе географические различия в заболеваемости раком ряда органов определяются факторами

внешней среды, а не генетическими особенностями популяций. Так, в двух поколениях японских иммигрантов, проживающих на Гавайях и в Калифорнии, рак молочной железы встречается почти так же часто, как и у белого населения Гавайских островов, что значительно выше заболеваемости среди местного населения Японии. А рак желудка у японцев, поселившихся на Гавайях, наблюдается гораздо реже, чем у проживающих в родной стране. Увеличение заболеваемости раком молочной железы было выявлено также у проживающих в США поляков, тогда как в Польше риск этого заболевания не высок.

ТАКИЕ ФАКТЫ наталкивают, естественно, на мысль, что причина региональных различий в заболеваемости раком определенных локализаций, возможно, кроется в различиях в питании. Предположение о роли питания в развитии рака было сделано более 50 лет назад английским эпидемиологом П. Стоксом, который связал заболеваемость раком в различных районах Англии с особенностями питания населения этих районов. В



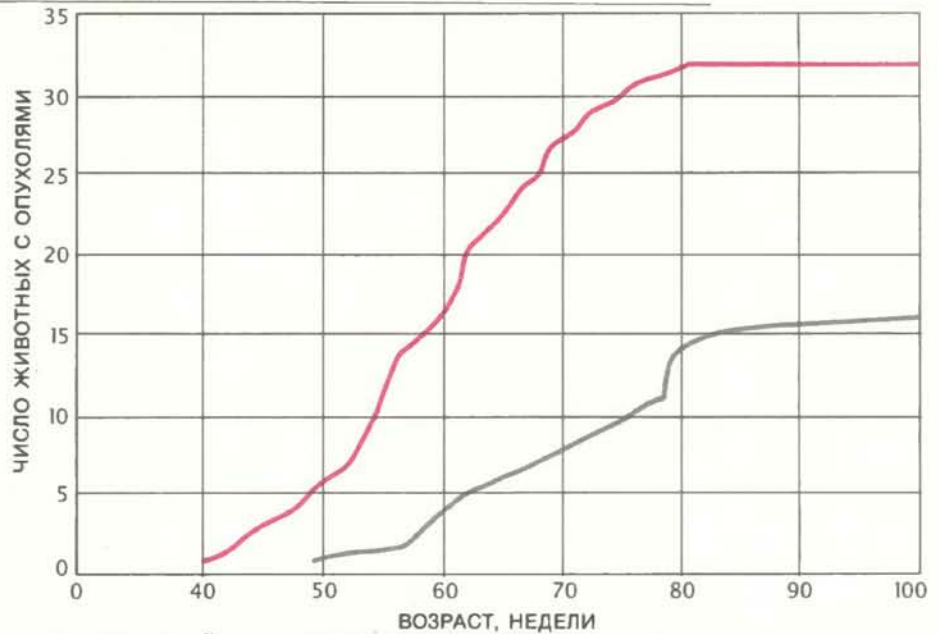
ПОТРЕБЛЕНИЕ ЖИРОВ И СМЕРТНОСТЬ ОТ РАКА молочной железы явно коррелируют. Потребление жиров рассчитывалось путем деления общего количества жиров,

расходуемого в стране (не считая потребление их животными и отходы) на численность населения.

1950-е годы сотрудник Американского фонда здравоохранения Э. Уиндер пришел к выводу, что большую разницу в заболеваемости раком молочной железы между Японией и США невозможно объяснить такими известными факторами риска, как наследственность или половая жизнь и деторождение; по его предположению, заболеваемость раком определяется внешним фактором, таким как питание. В 1960-е годы К. Кэррол из Университета Западного Онтарио опубликовал серию сравнительных географических исследований, свидетельствующих о тесной корреляции между потреблением с пищей жиров и смертностью от рака молочной железы в 39 странах. Корреляция, правда, менее четкая была также выявлена между потреблением жиров и раком толстой кишки и предстательной железы.

Еще один эпидемиологический подход к рассматриваемой проблеме — анализ долгосрочных изменений в заболеваемости раком и смертности от него. Как свидетельствуют статистические данные, смертность от какого-либо определенного ракового заболевания в данной стране нередко изменяется со временем. Это может быть связано с общими изменениями внешних условий, в частности, питания населения. Так, в развивающихся странах 80% от общего количества потребляемых с пищей калорий приходится на долю хлеба, мучных изделий и круп, состоящих из сложных углеводов. По мере индустриализации страны и улучшения ее экономического положения в потреблении калорий относительно возрастает доля жиров, содержащихся в мясе и растительных маслах. Увеличивается и потребление сахара, являющегося простым углеводом. Как только происходят эти сдвиги в питании, — а они отмечаются в настоящее время во многих странах, в том числе в Исландии, Италии, Греции и Японии, — наблюдается увеличение заболеваемости населения раком молочной железы и толстой кишки (а в некоторых местах и раком предстательной железы).

Такие закономерности наблюдались и в США. По сравнению с 1900 г. доля животных и растительных жиров в рационе американцев возросла на 40%, а картофеля и мучных продуктов снизилась на 60 и 50% соответственно. Заболеваемость раком молочной железы, толстой кишки и предстательной железы начиная с 1930 г. постепенно увеличивалась. В то же время сильно упала смертность от рака желудка. Последнее обстоятельство объясняли тем, что для дли-



КЛАССИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ, проведенный Э. Танненбаумом на мышах, продемонстрировал тесную связь между высоким потреблением жиров и кумулятивной частотой спонтанных опухолей молочной железы. Богатый жирами рацион (цветная кривая) включал 12% гидрогенизированного хлопкового масла, а контрольный рацион (серая кривая) — 3%.

тельного хранения продуктов вместо соления, копчения и маринования стали применять охлаждение.

Эпидемиологические данные, полученные при индивидуальных обследованиях, также свидетельствуют о связи между питанием и раком. В ретроспективных исследованиях сравниваются больные раком и здоровые люди. Подробное описание больным своего питания в прошлом позволяет установить, чем пища, которую он потреблял, отличается от пищи здоровых людей. Результаты подобных опросов, однако, носят несколько противоречивый характер, так как люди не всегда могут в точности вспомнить, как они питались раньше, и, кроме того, на ответах сказываются их нынешние привычки в питании.

МОЖНО ЛИ на основании эпидемиологических данных с уверенностью говорить о том, что жиры способствуют развитию рака, а пищевые волокна, витамины А, С и Е и селен противодействуют ему? (Указания на противораковые свойства химических соединений, содержащихся в овощных растениях семейства крестоцветных, были получены главным образом в экспериментах на животных, а не в эпидемиологических исследованиях.) Большинство пищевых факторов изучены в этом отношении еще недостаточно. Проведено множество разнообразных эпидемиологических исследований, но ни одно из них не дало результатов, которые полностью бы удовлетворяли критериям, используемым в эпидемиоло-

гии для установления причины какого-либо явления на основании статистического материала.

Более всего соответствует этим критериям связь между потреблением с пищей жиров и заболеваемостью раком молочной железы. Менее явная, но статистически значимая корреляция обнаруживается между потреблением жиров и раком толстой кишки. Связь между потреблением с пищей жиров и раком предстательной железы или яичника выявляется только при сравнении заболеваемости в разных странах на уровне всего населения в целом.

Предположение о том, что пищевые волокна (компоненты растительных клеток, не переваривающиеся в тонком кишечнике человека) имеют защитный эффект в отношении рака толстой кишки, зародилось около 15 лет назад благодаря работам английского эпидемиолога Д. Беркитта и других исследователей. Работая в Африке санитарным инспектором, Беркитт пришел к выводу, что некоторые популяции африканского населения не страдают такими заболеваниями пищеварительного тракта, как аппендицит, дивертикулит и рак толстой кишки, благодаря тому, что потребляют с пищей много растительных волокон. Однако попытки проверить эту гипотезу путем сравнения национальных особенностей питания дали противоречивые результаты, так как не было единого мнения, как количественно оценивать потребление пищевых волокон. В проведенных тогда исследованиях изучался

противораковый эффект не самих волокон, а продуктов, которые, как предполагали, содержат их в большом количестве (хлеба, круп, фруктов и овощей), и было установлено, что смертность от рака толстой кишки обратно пропорциональна потреблению хлеба и круп, но для фруктов и овощей такой связи нет.

В 1978 г. Э. Пол и Д. Саутгейт из Института по изучению продуктов питания при Совете по исследованиям в области сельского хозяйства и продовольствия в Норвиче (Великобритания) опубликовали полученные путем химического анализа количественные данные о содержании волокон в различных пищевых продуктах, что дало возможность более надежно оценивать потребление волокон и его связь с раком толстой кишки. Стало ясно, что термин «пищевые волокна» объединяет такие разнородные по химическим свойствам и физиологическому действию вещества, как целлюлоза, камеди, пектины и лигнины. А Ш. Бингем из Кембриджского университета и ее сотруднику удалось по-

казать, что смертность от рака толстой кишки связана обратно пропорциональной зависимостью не с общим потреблением пищевых волокон, а с содержанием в пище одного особого класса этих веществ — пентозанов.

Эпидемиологические свидетельства противоракового эффекта витамина А (точнее его предшественника, β-каротина, который и содержится в пище) получены главным образом при сравнении питания больных раком и здоровых людей. Имеющиеся данные касаются в основном рака легких, меньше — рака толстой кишки, желудка, мочевого пузыря, пищевода и полости рта. Никаких данных о противораковых свойствах других витаминов нет, за исключением, пожалуй, того, что потребление витаминов С и Е, возможно, связано со снижением заболеваемости раком желудка.

Предположение о противораковых свойствах селена впервые выдвинул Р. Шэмберджер из Кливлендского клинического фонда на основании того, что, как он обнаружил, в различ-

ных городах и районах США заболеваемость раком молочной железы и толстой кишки тем меньше, чем больше содержится этого элемента в почве, кормовых культурах и крови людей. Исследования, проведенные в других странах, выявили такую же зависимость. В ряде случаев, однако эта связь почти не прослеживается или отсутствует вообще. Так, например, в Новой Зеландии, где потребление селена одно из самых низких в мире (50 мкг в день), от рака молочной железы умирает 30 человек на 100 тыс. населения в год, что сравнимо со смертностью от этого заболевания в США (27 человек на 100 тыс. населения в год), хотя американцы потребляют селена примерно 120 мкг в день. Это несоответствие, однако, отнюдь не исключает противораковых свойств селена, а указывает на то, что в развитии рака могут доминировать иные факторы.

Из изложенного выше ясно, что эпидемиологи выясняют причины заболеваний, анализируя

ИНИЦИАЦИЯ



ПРОМОЦИЯ



СХЕМА ВЛИЯНИЯ ПИЩЕВЫХ ФАКТОРОВ на инициацию и промоцию канцерогенеза составлена на основании имеющегося фактического материала. Инициация рака возможна в том случае, когда попавший в организм проканцероген (например, содержащийся в пище) активируется и связывается с ДНК, вызывая в последней мутацию (вероятно, в онкогене, т. е. в гене, потенциально ответственным за злокачественные изменения в клетке). Эта мутация может быть ликвидирована (например, в результате репарации ДНК), а может остаться. Процессы активации проканцерогена, его связывания с ДНК и восстановления структуры ДНК могут усиливаться (цветные стрелки) или подавлять-

ся (черные стрелки) такими компонентами пищи, как витамин А, С и Е, индолы из растений семейства крестоцветных и селен. Оставшаяся мутация может вызвать переход клетки в некое промежуточное аномальное состояние, в котором она может пребывать неопределенное время; для окончательной злокачественной трансформации клетки и образования раковой опухоли нужны промоторы, например, пища с высоким содержанием жиров. Антипромоторы, например витамин А, удерживают частично трансформированную клетку в латентном состоянии и таким образом тормозят развитие рака.

задним числом результаты «экспериментов», спонтанно протекающих в естественных условиях. Поскольку потребление продуктов питания поддается лишь сравнительно грубой количественной оценке (в особенности, когда речь идет о том, как человек питался в прошлом), в лучшем случае удастся вскрыть сильную и устойчивую корреляцию между потреблением того или иного пищевого продукта и заболеванием, как, например, между потреблением жиров и раком молочной железы. Статистически же выявленные связи лишь указывают на возможную причину явления, но не удостоверяют ее.

Напротив, экспериментаторы в своей работе идут от причины к результатам. Этот подход дает второй основной источник информации о связи между питанием и раком. Недостаток его в том, что следует крайне острожно толковать результаты лабораторных исследований, которые проводятся обычно на грызунах, особенно в тех случаях, когда полученные данные привлекаются для оценки биологического эффекта того или иного пищевого фактора у человека.

Еще около 60 лет назад, в экспериментах на мышах было показано, что развитие рака может изменяться под влиянием факторов питания. Наиболее сильная корреляция отмечалась опять-таки между потреблением жиров и раком молочной железы. Первым эту связь выявил в 1920 г. Э. Танненбаум из Больницы М. Риза в Чикаго. В конце 1960-х годов Кэрролл, изучая развитие химически индуцированной опухоли молочной железы, разграничил инициацию и промоцию канцерогенеза и пришел к выводу, что пищевые жиры действуют в качестве промоторов. Впоследствии было продемонстрировано промоторное влияние жиров на развитие опухолей молочной железы, вызываемых химическими агентами, рентгеновским излучением и вирусами. Установлено также, что богатая жирами пища способствует экспериментально индуцированному раку толстой кишки и поджелудочной железы.

В опытах на животных было, кроме того, показано, что развитие опухолей молочной железы, толстой кишки и поджелудочной железы зависит от состава и количества жиров, содержащихся в пище. Рационы, богатые жирами, в состав которых входят определенные жирные кислоты, способствуют появлению опухолей, а такие же рационы, но с другими жирными кислотами этого эффекта не имеют. По всей вероятности, существенна химическая структура жирных кислот. Рационы, включающие боль-

шое количество жиров, богатых линолевой кислотой (она имеется в кукурузном, подсолнечном и других обычных растительных маслах), действуют как промоторы опухолевого роста; такие же по составу рационы, богатые олеиновой кислотой (из оливкового масла) и эйкозапентаеновой кислотой (из жирных видов рыб и морских млекопитающих), промоторными свойствами не обладают.

Эти экспериментальные данные проливают свет на некоторые загадочные эпидемиологические наблюдения, как, например, низкая заболеваемость раком молочной железы и толстой кишки у гренландских эскимосов. Пища эскимосов необычайно богата жирами (на их долю приходится 60% общего количества калорий, поступающих в организм с пищей), но их источником служат почти исключительно морские рыбы и млекопитающие. Аналогично, сравнительно низкая заболеваемость раком молочной железы в таких странах, как Греция и Испания, где тоже потребляется довольно много жиров (32% калорий), может быть обусловлена тем, что главным источником жиров в пище населения средиземноморских стран является оливковое масло.

КАКИМ образом пищевые жиры вызывают промоцию рака молочной железы, толстой кишки и поджелудочной железы? Поскольку молочная железа чувствительна к гормонам, первые гипотезы предполагали непрямой эффект жиров при участии эндокринной системы. Такое действие жиров может опосредоваться либо центральными процессами на уровне гипофиза или структур более высокого уровня, регулирующих секрецию таких гормонов, как пролактин, либо периферическими процессами на уровне органа-мишени, влияющими на связывание специфических рецепторов с гормонами.

В других гипотезах главная роль отводилась простагландинам — особому классу биологически активных липидов, обладающих сильным гормоноподобным действием. Эти соединения образуются в организме из определенных жирных кислот, содержащихся в пище (прежде всего из линолевой кислоты). Простагландины участвуют в регуляции сокращения гладкой мускулатуры, в воспалительной реакции, иммунном ответе и свертывании крови.

Опухоли молочной железы у человека и животных продуцируют большое количество простагландинов, которые могут подавлять иммунный ответ организма. На синтез простагландинов влияют пищевые факторы,

а значит, эффект экспериментальных пищевых рационов, включающих много жиров, может опосредоваться изменением интенсивности и направления синтеза простагландинов. Этим объясняется тот факт, что пища, обогащенная жирами, имеет канцерогенный эффект лишь тогда, когда в них достаточно линолевой кислоты. Становится понятным и противораковое действие жиров из морских животных: эти жиры мешают превращению линолевой кислоты в простагландины.

Наиболее популярная в настоящее время гипотеза о связи между богатой жирами пищей и раком толстой кишки основывается на том наблюдении, что высокое потребление жиров приводит к увеличению секреции желчных кислот (необходимых для переваривания жиров) и изменению микрофлоры толстого кишечника, что в свою очередь усиливает превращение первичных желчных кислот во вторичные. Считается, что вторичные желчные кислоты выступают в качестве промоторов уже начавшегося рака толстой кишки.

Данные, полученные в опытах на грызунах, способствовали также пониманию действия противораковых агентов. В ряде исследований было показано, что введение витамина А или его аналогов (в совокупности называемых ретиноидами) тормозит у животных развитие экспериментального рака кожи, дыхательных путей, молочной железы и мочевого пузыря. Однако, чтобы оказывать такое действие, ретиноиды должны поступать в организм в количестве, примерно в 20 раз превышающем рекомендуемые нормы потребления витамина А. Высокие дозы ретиноидов вызывают у животных такие побочные эффекты, как снижение прироста массы тела, увеличение ломкости костей и нарушение функций печени. Установлено, что частота химически индуцированных опухолей молочной железы и толстой кишки у мышей снижается под влиянием селена; но его поступление в организм должно быть для этого в 30—40 раз больше нормы потребления.

Результаты лабораторных исследований, в которых изучались ретиноиды и селен как компоненты пищи, позволяют сформулировать три предостерегающих положения. Во-первых, желаемый противораковый эффект достигается только при сверхфизиологических дозах этих веществ. Во-вторых, от лечебной дозы до токсической один шаг. В-третьих, ни ретиноиды, ни селен не способны полностью предотвращать развитие опухолей.

В ряде лабораторных исследований было показано, что частота химически индуцированных опухолей толстой кишки у мышей снижается, если содержание волокон в пище повысить с 5% — столько их в обычном рационе — до 15% или более. Такой эффект, однако, наблюдался не всегда, в особенности в тех случаях, когда различные типы волокон проверялись по отдельности. Так, если при наличии в пище пшеничных отрубей частота опухолей снижалась, то включение в рацион яблочного пектина, люцерны, овсяных отрубей в зависимости от условий эксперимента либо вообще не имело никакого эффекта, либо стимулировало образование опухолей.

Почему пищевые волокна защищают от рака толстой кишки? Выдвигались различные предположения. Данные О. Йенсена из Бюро регистрации раковых заболеваний в Дании и Б. Редди из Американского фонда здравоохранения свидетельствуют о том, что в популяциях с низким риском рака толстой кишки секреция желчных кислот более слабая и потребление пищевых волокон выше, чем в популяциях с высоким риском рака этой локализации. Пониженный уровень желчных кислот может быть обусловлен тем, что волокна увеличивают объем фекалий и таким образом концентрация желчных кислот уменьшается, и тем, что волокна активируют механизмы, обеспечивающие переход желчных кислот из толстого кишечника в кровоток. Кроме того, когда потребляется много волокон, сокращается время между приемом пищи и экскрецией, в течение которого потенциальные мутагены, содержащиеся в

фекалиях, могут воздействовать на толстую кишку.

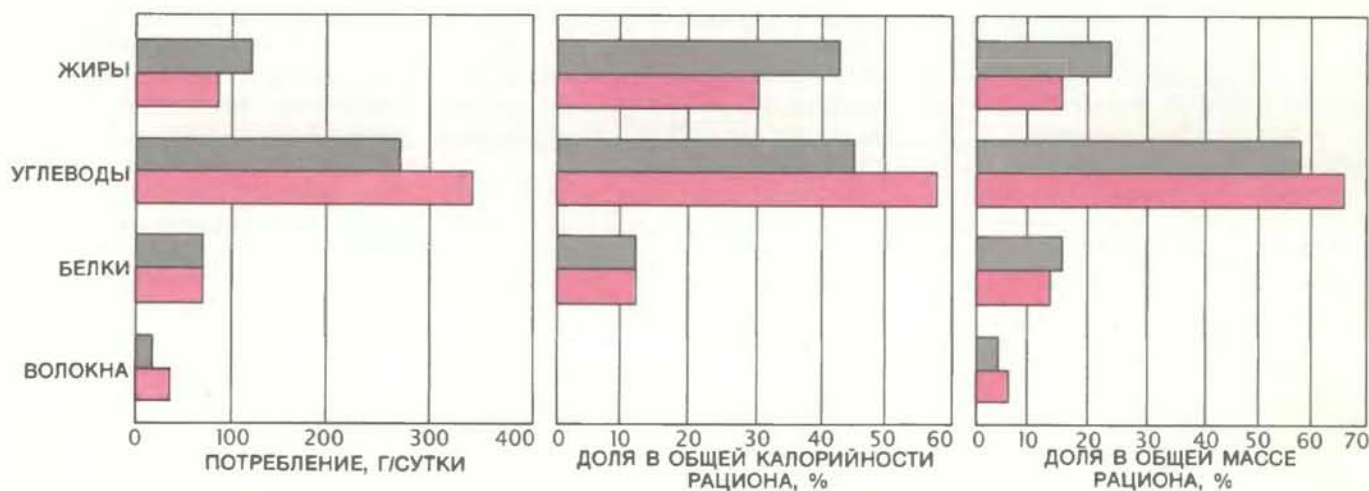
Лабораторные исследования показали также, что противораковым действием обладают флавоны, индолы и изотиоцианаты (эти химические соединения не имеют питательной ценности) из овощных растений семейства крестоцветных. Эффект этих соединений продемонстрирован пока только в случае химически индуцированных опухолей преджелудка, легких и молочной железы у грызунов. По всей вероятности, он обусловлен тем, что перечисленные вещества блокируют активацию углеводородных агентов в организме. (Большинство канцерогенов поступает в организм в виде неактивных проканцерогенов и, для того чтобы вступить во взаимодействие с ДНК клеток-мишеней, они должны ферментативно активироваться в печени.)

Экспериментально изучался канцерогенный эффект соленых, маринованных и копченых продуктов. При этих способах кулинарной обработки создаются благоприятные условия для превращения нитратов в нитриты, которые, как установлено в опытах *in vitro*, способны, реагируя с соответствующими субстратами, образовывать канцерогенные нитрозамины и нитрозамиды. Канцерогенные свойства этих соединений были убедительно продемонстрированы в лабораторных исследованиях, проведенных П. Мэджи из Медицинской школы Университета Темпл в Филадельфии. С. Мирвиш из Онкологического института Эппли в г. Омаха показал, что реакции нитрозирования не могут протекать в присутствии аскор-

биновой кислоты (витамина С), которая блокирует превращение нитратов в нитриты.

В некоторых продуктах, широко потребляемых в популяциях с высоким риском рака желудка — в частности, в копченой рыбе (в Японии), кормовых бобах (в Колумбии), как выяснилось, в результате нитрозирования образуются мутагены. Притом для этих популяций характерно малое количество свежих фруктов и овощей в рационе и, следовательно, низкий уровень витамина С в организме. Можно предполагать, что рак желудка развивается вследствие образования канцерогенных нитрозаминов или нитрозамидов из содержащихся в пище нитратов в отсутствие витамина С. Однако гипотетические «естественные» нитрозосоединения, с которыми связывают рак желудка, ни у людей, ни у животных не были обнаружены.

Экспериментальные данные, подтверждающие то, что сложные углеводы «полезнее», чем простые сахара, весьма немногочисленны. В нескольких работах сообщалось, что у крыс, которых после воздействия химического канцерогена содержали на рационе, богатом крахмалом, опухоли молочной железы развивались значительно реже, чем у крыс, получавших такое же питание, но вместо крахмала — декстрозу (это простой сахар). Однако о механизмах влияния этих двух классов углеводов на экспериментальный канцерогенез, почти ничего не известно, кроме того факта, что сложные углеводы перевариваются медленнее, чем простые сахара, и, следовательно, их действие на клет-



ПИТАНИЕ НАСЕЛЕНИЯ США значительно изменилось бы, если бы соблюдались рекомендации, опубликованные Национальным советом по научным исследованиям. Здесь показано фактическое (серое) и рекомендуемое (цветное) потребление различных компонентов пищи и их относительное содержание в рационе. Диетологические рекомендации имеют целью снизить потребление тех продуктов, которые, как предполагают, инициируют рак или спо-

собствуют его развитию, и увеличить потребление других, могущих нейтрализовать или ослабить действие канцерогенных факторов. Обратите внимание, что в рекомендуемой диете общая калорийность рациона сохраняется на прежнем уровне (2400 ккал), а общая масса потребляемой пищи увеличивается, так как высококалорийные компоненты (жиры) заменяются менее калорийными углеводами и пищевыми волокнами.

ки поджелудочной железы, вырабатывающие инсулин, менее выражено.

ОЧЕМ В ИТОГЕ свидетельствуют результаты экспериментальных работ? В общем они согласуются с данными эпидемиологических исследований, в особенности в том, что касается связи между потреблением жиров и раком молочной железы. В многочисленных опытах на животных показано, что потребление пищи с высоким содержанием жиров (40% калорий) стимулирует развитие опухолей молочной железы, а рационы, бедные жирами (10% калорий), канцерогенного эффекта не имеют. Самое интересное в этих данных то, что по отношению к содержанию жиров использовавшиеся в экспериментах два типа рационов эквивалентны обычным рационам питания населения в странах, где соответственно высок (США) или низок (Япония) риск рака молочной железы. Пока не ясно, связана заболеваемость раком этой локализации с потреблением жиров пропорциональной зависимостью или же существует некоторый «критический уровень» содержания жиров в пище, ниже которого риск рака молочной железы с потреблением жиров не связан. Данные, полученные недавно в моей лаборатории в Институте Нейлора Даны по профилактике болезней указывают на то, что критическим является содержание жиров в рационе 25—32% от общей калорийности пищи.

В экспериментальных исследованиях влияния пищи на развитие рака толстой кишки рационы животных тоже сходны с рационами соответствующих популяций людей (хотя в этом случае необходимо учитывать еще и потребление пищевых волокон). Что же касается ретиноидов и селена, то их биологический эффект наблюдался в экспериментальных исследованиях только в тех случаях, когда эти вещества поступали в организм в дозах, значительно превышающих рекомендуемые нормы потребления, т. е. ретиноиды и селен проявляют противораковые свойства не как компоненты повседневной пищи, а скорее как лекарственные препараты.

ВЗАКЛЮЧЕНИЕ следует подчеркнуть, что несмотря на всю убедительность полученных эпидемиологических и экспериментальных данных, их нельзя принимать за безусловное руководство к тому, чтобы каждый человек сократил потребление жиров, принимал больше витаминов и ел больше пищевых волокон и определенных овощей. Еще ни разу не было прямо показано, что изменение питания индивидуума подавляет начало

рака или останавливает его распространение.

Окончательные данные можно было бы получить в экспериментах на людях. Рандомизированные исследования с изменением рациона позволили бы сравнить влияние питания на возникновение заболевания в различных группах здоровых людей. В подобных исследованиях должны принимать участие десятки тысяч испытуемых, за питанием которых необходимо следить по крайней мере в течение 10 лет. Организация такого эксперимента требует очень больших затрат, а его результатов нужно ждать 10—20 лет.

Альтернативный подход — клинические испытания на людях, для которых высок риск определенных раковых заболеваний. Такие исследования ведутся в настоящее время, результаты их будут известны уже через 5—10 лет. Так, например, Национальным институтом рака организовано обследование здоровых женщин с высоким риском рака молочной железы, обусловленным наследственными факторами или доброкачественными опухолями молочной железы. Этим женщинам, выборка которых была случайной, предложили или питаться по-прежнему, потребляя много жиров, или перейти на рацион с низким содержанием жиров. Даже для этого исследования требуется 10 лет и около 30 тысяч испытуемых и обойдется оно более чем в 100 млн. долларов. Разрабатываются и другие подобные испытания. В США предполагается определить влияние увеличения доли пищевых волокон в рационе на возникновение рака толстой кишки у людей с доброкачественными полипами этого отдела кишечника (они принадлежат к группе высокого риска в отношении рака толстой кишки). В Италии будет изучаться влияние обогащения пищи ретиноидами на развитие повторного рака молочной железы у женщин, однажды уже перенесших это заболевание.

Результаты идущих сейчас исследований станут известны лишь после 1990 г. Уместно спросить, что лучше: пока вообще не обращать внимания на те косвенные и немногочисленные данные, которые свидетельствуют о связи между питанием и раком и не разрабатывать никаких диетологических инструкций или же руководствоваться разумными догадками и дать хотя бы временные предварительные рекомендации по питанию? Многие специалисты из этических соображений стоят на той точке зрения, что рекомендации органов общественного здравоохранения должны основываться только на окончательно дока-

занных фактах. По мнению других, если учесть, что в США ежегодно от рака умирает более 400 тыс. человек, даже незначительное сокращение смертности означает множество спасенных жизней, и потому диетологические рекомендации с целью снизить риск рака следует разрабатывать, даже если они носят предварительный характер.

Национальный совет по научным исследованиям США примкнул к сторонникам второй точки зрения, издав предварительные диетологические рекомендации, основанные на имеющихся эпидемиологических и экспериментальных данных. Конечно, по мере накопления новых данных эти рекомендации будут пересматриваться. Однако на сегодняшний день они отражают достигнутое понимание проблемы. Предлагаемые правила вряд ли могут нанести ущерб здоровью человека, но, вполне возможно, снизят риск основных раковых заболеваний, вызываемых факторами питания.

Издательство МИР предлагает:

*П. Хочачка,
Дж. Сомеро*
**БИОХИМИЧЕСКАЯ
АДАПТАЦИЯ**

Перевод с английского

В книге американских авторов описаны биохимические механизмы адаптации к различным (в том числе экстремальным) условиям существования.

Особое внимание уделено адаптации к физической нагрузке, высокой температуре, холоду, дефициту кислорода.

Авторы уже известны советскому читателю по ранее вышедшей книге «Стратегия биохимической адаптации» (М.: Мир, 1977).

Для биохимиков и физиологов, а также специалистов-медиков, занимающихся спортивной медициной и изучением стрессовых воздействий на организм.

1988, 37 л. Цена 4 р. 70 к.



Гелиевые сверхновые

Моделирование на компьютерах показывает, что гелиевые сверхновые появляются в результате коллапса «обнаженного» ядра массивной звезды. Ярчайшая вспышка, происшедшая в 1987 г., по-видимому, похожа на эти «пекулярные» сверхновые

ДЖ. КРЕЙГ УИЛЛЕР, РОБЕРТ П. ХАРКНЕСС

СВЯЩЕННИК Р. Эванс из Хазельбрука (шт. Новый Южный Уэльс, Австралия), наверное, привык не обращать внимание на плоские шуточки о его «прямой связи с богом». В свободное время он занимается поиском сверхновых в других галактиках с помощью своего телескопа. Вспышка сверхновой — это редчайший катастрофический взрыв, в результате которого в течение нескольких недель звезда светит как вся «материнская» галактика. Возможно, благодаря увлеченности, настойчивости или особому таланту в распознавании образов Эвансу удалось открыть столько сверхновых, что само их число быстро стало легендарным. Так, из 66 сверхновых, открытых между 1983 г. и серединой 1986 г., он обнаружил 10, причем большую часть он открыл в близких галактиках, где они обычно ярки и могли быть легко изучены астрономами-профессионалами.

Открытия Эванса замечательны не только своим числом. Высококачественные спектры двух обнаруженных им сверхновых в совокупности с компьютерным моделированием взрывов звезд привели к открытию нового класса сверхновых. Традиционно сверхновые по своим спектрам делятся на два класса. Каждый из них связан с определенным типом взрыва конкретного класса звезд: это или термоядерный взрыв старой карликовой звезды или резкое сжатие (коллапс) гигантской массивной звезды, богатой водородом [с последующим разлетом оболочки. — *Ред.*]. Сверхновые, открытые Эвансом, и другие похожие на них объекты, по-видимому, связаны с гибелью массивных звезд, потерявших водород. Их спектры не укладываются в существующую классификацию, что наводит на мысль о том, что один или оба механизма взрыва могут приводить к спектру любого типа.

Облачность в Новом Южном Уэль-

се 23 февраля 1987 г. лишила Эванса возможности открыть Сверхновую SN 1987A — ярчайшую со времен Кеплера и ставшую на ближайшие десятилетия основным объектом изучения для исследователей сверхновых. Первыми заметили вспышку в близкой к нам неправильной галактике, известной как Большое Магелланово Облако (БМО), Я. Шелтон из Торонтского университета, работающий штатным астрономом в Обсерватории Лас-Кампанас в Чили, О. Духалде, наблюдатель из этой же обсерватории, и независимо новозеландский любитель А. Джонс. Однако изучение сверхновых, открытых Эвансом, подготовило базу для исследования SN 1987A, так как она проявила не только присущие ей необычные свойства, но и свойства, близкие новому классу сверхновых.

СУЩЕСТВУЮЩУЮ классификацию сверхновых начали разрабатывать в 30-х годах, когда Ф. Цвикки из Калифорнийского технологического института приступил к их систематическому поиску и изучению. Первые 36 сверхновых, открытые им, принадлежали к одному типу, их спектры, совершенно непонятные и непохожие на любой звездный спектр, были аналогичны друг другу. Кривые блеска (изменение яркости со временем) также были близки по форме и имели характерный вид: яркость за время около двух недель достигала максимума, затем постепенно падала на протяжении двух или более недель и далее ослабевала по экспоненциальному закону с характерным временем уменьшения в два раза примерно 50 дней.

Затем Цвикки обнаружил сверхновые второго типа, менее яркие (что явилось причиной их более позднего открытия) и с более разнообразными кривыми блеска. Их спектры содержали легко отождествляемые линии водорода, обусловленные излучением фотонов при переходах между энерге-

тическими состояниями возбужденных атомов водорода. Р. Минковский, работавший с Цвикки, разделил сверхновые на два класса по наличию или отсутствию линий водорода в спектрах вещества, выброшенного при взрыве.

В 50-х годах Ф. Хойл из Кембриджского университета и У. Фаулер из Калифорнийского технологического института предложили два возможных механизма взрыва сверхновых. Первый, довольно простой, объясняет сверхновые первого типа (SN I), в нем предполагается наличие «бомбы» звездных размеров, в которой протекают самоускоряющиеся термоядерные реакции. Такой звездой может быть белый карлик: компактный остаток звезды с массой не более 8 масс Солнца, исчерпавшей в ходе эволюции большую часть водорода и гелия, которые превращаются в кислород и углерод — элементы промежуточных масс.

Взрыв инициирует второй компонент двойной звезды. Если сначала в ходе эволюции внешние водородные слои звезды могли перетекать на соседнюю звезду, обнажая кислородно-углеродное ядро, то затем, наоборот, белый карлик может захватывать вещество своего компаньона. При этом резко возрастают плотность и температура ядра, а углерод «загорается», превращаясь в тяжелые элементы, в частности в радиоактивный никель. Фронт горения, распространяясь наружу, полностью разрушает звезду, однако расширяющееся облако выброшенного вещества будет еще много недель ярко светить по мере превращения никеля в кобальт, а затем — в железо.

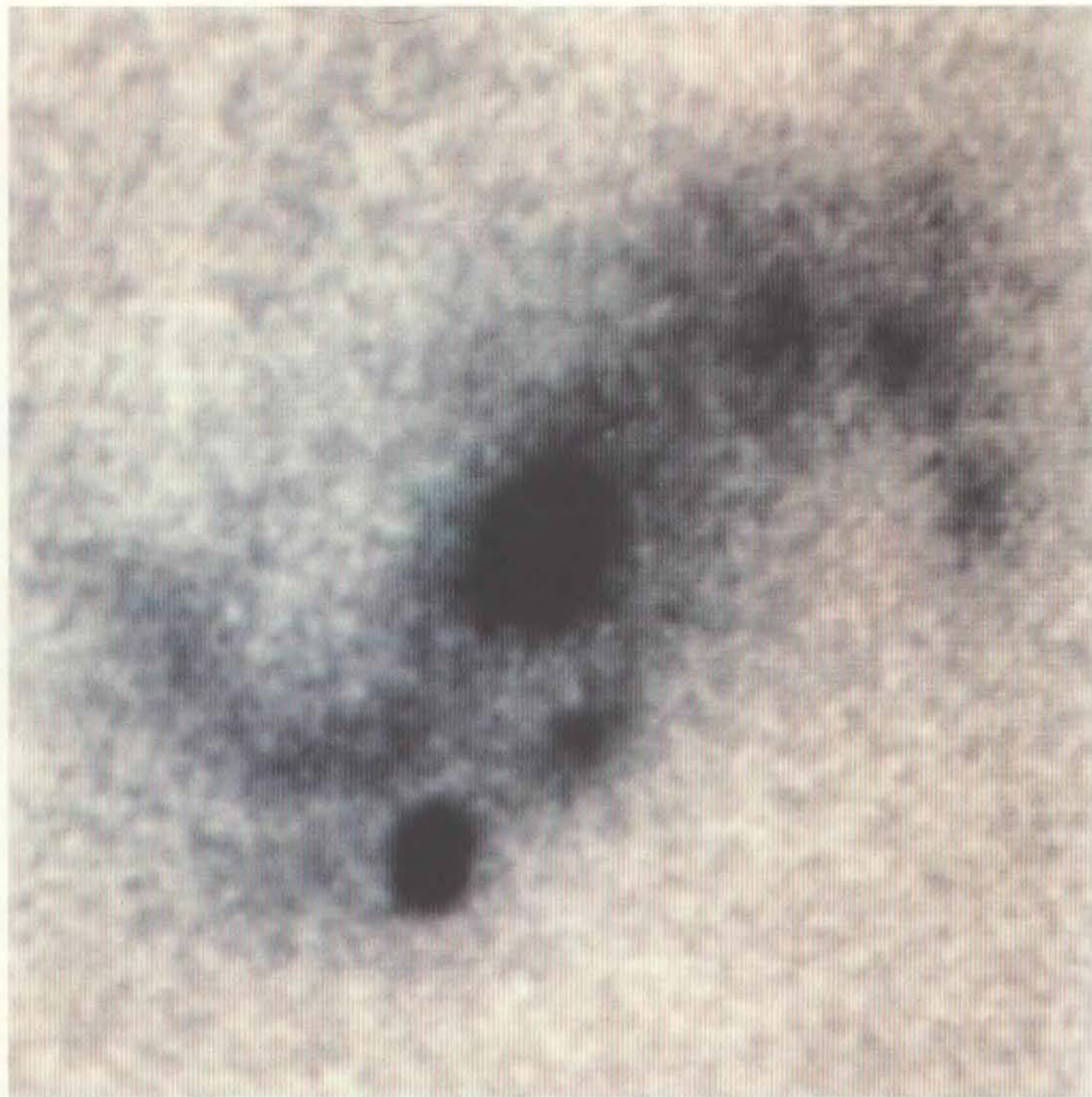
Более экзотический механизм был предложен для объяснения сверхновых второго типа (SN II). Еще Ф. Цвикки предположил, что образование нейтронной звезды — шара диаметром несколько километров, заполненного веществом с ядерной

плотностью, — может приводить к высвобождению энергии, достаточной для образования сверхновой. В наше время это предположение является краеугольным камнем механизма взрыва сверхновых II типа. Термоядерное горение в ядре звезды, масса которой больше 8 солнечных масс, протекает быстро через последовательность ядерных реакций, заканчивающуюся образованием никеля и же-

леза: ядра этих атомов очень устойчивы, и для дальнейшего горения необходимо было бы поглощение, а не выделение энергии. После истощения источников энергии в центре звезда начинает стремительно сжиматься, так что электроны и протоны в атомах сливаются, образуя нейтроны; при этом выделяются нейтрино. Сжатие нейтронного шара останавливается тогда, когда внутренние слои со-

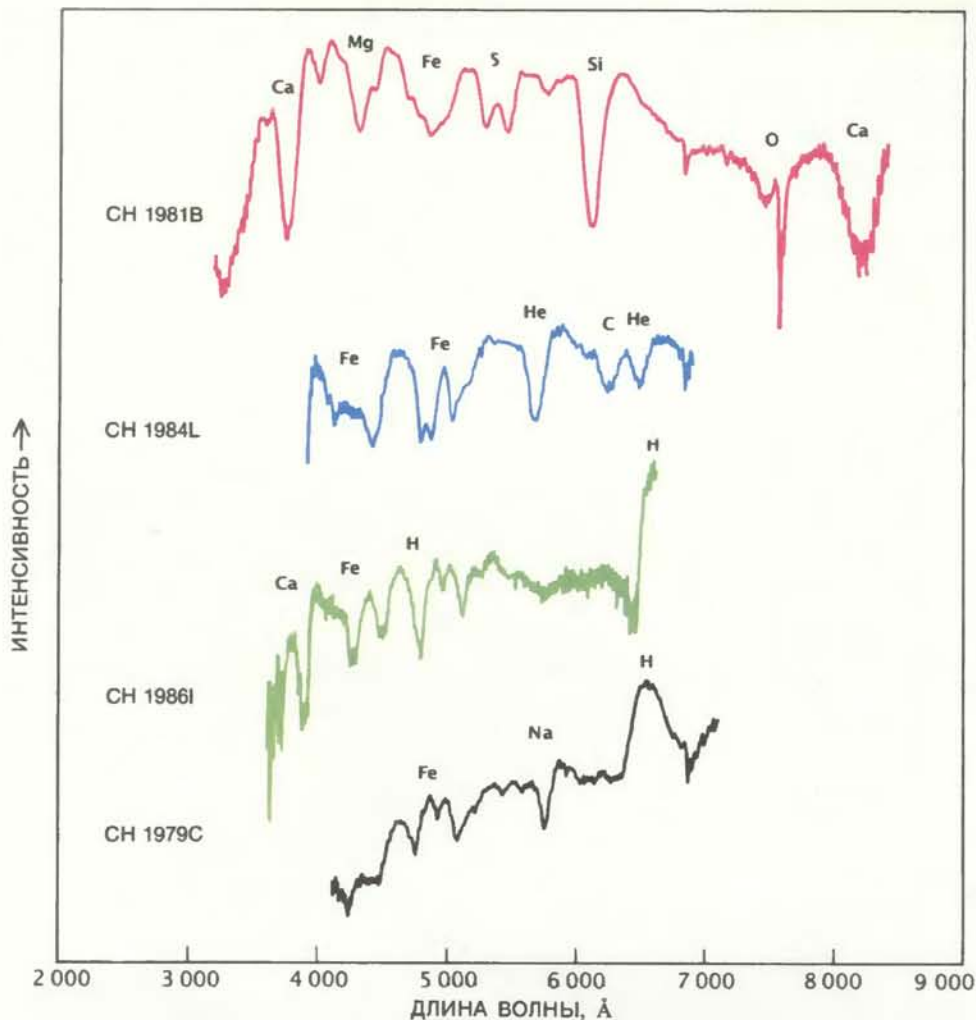
жмутся до ядерных плотностей. Образуется ударная волна, выбрасывающая внешние слои наружу. Этот механизм получил название «отскока» (см. статью: Х. Бете, Дж. Браун. Как взрывается сверхновая, «В мире науки», 1985, № 7, с. 26).

Хотя детали этого механизма еще не ясны, не вызывает сомнений, что при таком коллапсе должно выделяться огромное количество энергии;



ПЕКУЛЯРНАЯ СВЕРХНОВАЯ 1983I вспыхнула в галактике NGC 4051. Сверхновая (на этом негативном изображении она видна как черное пятно), по-видимому, находится в спиральном рукаве галактики, что указывает на ее происхождение из массивных звезд. Расчеты на компьютере показали, что некоторые модели SN Ib могут дать спектры,

сходные со спектром этой сверхновой. Таким образом была подтверждена принадлежность этого объекта к SN Ib — новому классу взрывающихся массивных звезд. Фотография получена Дж. Килкопфом из Обсерватории Мура Университета г. Луисвилля; большое темное пятно вверху — изображение близкой звезды фона.



СПЕКТРЫ сверхновых различных типов представляют зависимость интенсивности излучения от длины волны. Максимумы и минимумы на кривых отражают наличие элементов в атмосфере сверхновой, которые поглощают и излучают фотоны на определенных длинах волн. Для спектров СН Ia (красный цвет) характерно отсутствие линий водорода и наличие линий кремния, спектры СН Ib (синий цвет) указывают на присутствие гелия и отсутствие водорода и кремния, а СН II богаты водородом. Подклассы СН II-p (зеленый цвет) и СН II-l (черный цвет) содержат водород, но различаются деталями спектров и формой кривых блеска. Спектры получены Б. Уиллсом, Д. Уиллсом и Р. Левро в Обсерватории Макдональда Техасского университета.

большая ее часть теряется в нейтринной вспышке, для которой внешние слои звезды прозрачны. Энергии, которую передают нейтрино веществу звезды, и энергии ударной волны, образующейся при коллапсе ядра, достаточно для сброса внешних слоев звезды. При этом сбрасывается и протяженная водородная оболочка, которая обуславливает появление линий водорода в спектре СН II. В центре расширяющегося облака остается нейтронная звезда.

Более 20 лет назад Ф. Бертола из Астрономической обсерватории в г. Падуя отметил два исключения из деления сверхновых на два класса. Он сообщил, что в спектрах двух сверхновых (СН 1962L и СН 1964L) отсутствуют линии водорода; это позволило отнести их к I типу. Спектры классических сверхновых I типа в максимуме блеска состоят из линий, об-

разовавшихся при взрыве элементов промежуточных масс — кислорода, магния, кремния, серы и кальция; эти линии смещены за счет эффекта Доплера в результате быстрого расширения выброшенного вещества. В спектрах объектов Бертола, названных им «пекулярными» сверхновыми I типа, отсутствовала одна из наиболее заметных линий поглощения (принадлежащая ионизованному кремнию) на длине волны 6150 Å. (Абсорбционные линии обусловлены тем, что атом или ион, находящийся перед излучающей областью, может поглотить фотон, летящий в направлении наблюдателя, а излучить его в другом; поэтому данный фотон не будет зарегистрирован.)

Как и многие другие необъяснимые «исключения» из правил, работы Бертола в свое время остались незамеченными, и ссылки на них появлялись

лишь «для наблюдения приливов». Все изменилось после открытия Эвансом сверхновых 1983N и 1984L. Бертола исследовал спектры с помощью фотографических методов, которыми трудно получить абсолютные интенсивности отдельных спектральных линий. Новые цифровые спектрографы не только показывают наличие линий, но и дают количественную информацию об интенсивности и форме деталей спектра. Решение проблем, связанных со сверхновыми 1962L и 1964L, в настоящее время открыло новые перспективы в этой области исследований.

В общем спектры СН 1983N и СН 1984L указывают на принадлежность этих сверхновых к I типу, поскольку в них отсутствуют линии водорода. Однако в них отсутствует линия кремния при 6150 Å, что сближает их с пекулярными сверхновыми Бертола. Тем не менее спектры, полученные в момент максимума блеска, содержат то же скопление линий в области между 4000 и 6000 Å (вероятно, принадлежащих железу), что и спектры обычных сверхновых I типа, полученные через три недели после момента максимума блеска. Поэтому и появился недолговечный афоризм о том, что пекулярные сверхновые родились «старыми». Это выражение подразумевало, что такие объекты являются разновидностью классических сверхновых и имеют с ними общее происхождение.

ОДНАКО по мере дальнейшего изучения спектров эта кажущаяся связь ослабевала. Мы обнаружили, что расширяющееся вещество пекулярных сверхновых содержит гелий, линии которого ни разу не были четко обнаружены в спектрах сверхновых I и II типов. В спектрах пекулярных сверхновых присутствует сильная абсорбционная линия около 5700 Å, как раз там, куда вследствие эффекта Доплера должна сместиться линия 5876 Å нейтрального гелия при расширении оболочки со скоростью 7500 км/с (типичной для сверхновых). Кроме того, точно такое же смещение необходимо для совпадения трех других линий гелия с наблюдаемыми деталями спектра. Итак, пекулярные сверхновые (обозначенные СН Ib) можно отделить от классических сверхновых I типа.

Другие особенности пекулярных сверхновых наводят на мысль об их связи со сверхновыми II типа. Классические сверхновые I типа (обозначенные СН Ia) часто вспыхивают в эллиптических галактиках, звездное население которых в основном состоит из маломассивных старых звезд —

именно таких звезд, которые рассматриваются в модели взрыва, инициируемого термоядерным горением. Сверхновые II типа, напротив, обычно появляются в так называемых областях H II: облаках ионизованного водорода, находящихся в рукавах спиральных галактик, в которых рождаются звезды и есть много молодых, массивных звезд. Сверхновые 1983N, 1984L и две сверхновые Бертола, по-видимому, появились внутри или около областей H II.

Эти сверхновые проявляют еще одно свойство сверхновых II типа; они дают радиоизлучение, которое можно зарегистрировать. С помощью радиотелескопа VLA (Большая антенная решетка) в Нью-Мехико Р. Шрамек из Национальной радиоастрономической обсерватории, Н. Панагия из Научного института Космического телескопа и К. Вейлер из Национального научного фонда США наблюдали радиоизлучение от сверхновых 1983N и 1984L и получили кривые блеска в радиодиапазоне на разных частотах. В соответствии с наиболее вероятным объяснением Р. Шевалье из Университета шт. Виргиния это радиоизлучение генерируется при прохождении ударной волны по звездному «ветру», состоящему в основном из водорода, сброшенного звездой перед взрывом. Звездный ветер возникает в массивных звездах под действием давления излучения. Таким образом, необходимо, чтобы взрывающаяся звезда была массивной или имела массивный спутник.

Как можно объяснить свойства SN Ib: сходство со сверхновыми I и II типов, а также наличие гелия (который отсутствует в классических сверхновых обоих типов), выделяющее их в особую категорию. Какой взрыв произошел и какая звезда взорвалась? Чтобы интерпретировать данные наблюдений, мы обратились к новому аналитическому методу исследования — компьютерному моделированию спектра излучения сверхновой с заданными характеристиками. Расширяющаяся атмосфера сверхновой моделируется как ряд concentрических слоев с заданными химическим составом, плотностью, температурой и радиальной скоростью. В ходе расчета прослеживается перенос излучения от слоя к слою: каким образом фотон данной частоты излучается, рассеивается или поглощается возбужденными атомами или ионами на пути к видимой поверхности сверхновой. В результате мы получаем предсказанный спектр взрыва.

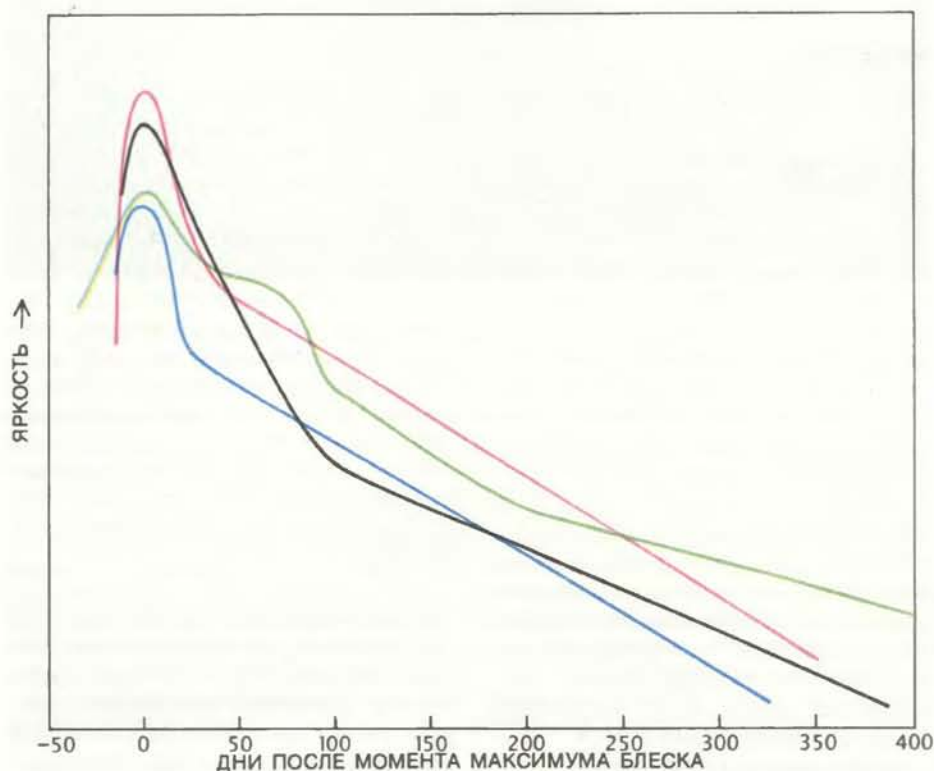
Впервые такие расчеты были проведены Д. Бранчем из Университета шт. Оклахома. Современные расче-

ты проводились в предположении локального термодинамического равновесия, т. е. предполагалось, что число атомов или ионов каждого химического элемента в возбужденном состоянии зависит только от энергии этого состояния и локальной температуры вещества. Учитывалось также быстрое расширение оболочки сверхновой, влияющее на связь излучения и вещества. Сильный эффект Доплера возникает из-за увеличения скорости расширения с расстоянием от центра, что приводит к смещению излучения к красному, или длинноволновому, концу спектра. Кроме того, выброшенное вещество движется со скоростью, составляющей заметную часть скорости света, что приводит к появлению релятивистских эффектов и усложнению задачи.

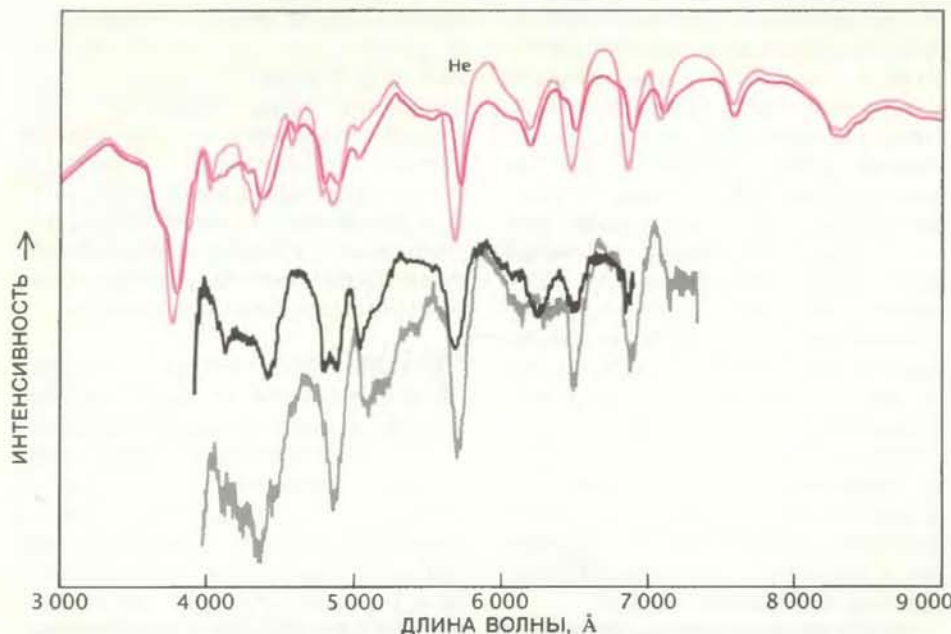
Чтобы компенсировать эти эффекты быстрого расширения, уравнение переноса излучения решается в «сопутствующей» системе координат, которая движется вместе с веществом. Расчеты взаимодействия вещества и излучения в сопутствующей системе координат дают частоты и

интенсивности, которые передаются от слоя к слою, так что в конце концов, если произвести переход от движущейся системы, связанной с оболочкой сверхновой, к неподвижной системе наблюдателя, получается предсказываемый спектр сверхновой. Для подобных расчетов память машины и скорость вычислений должны быть такими, какими обладают сверхбыстродействующие компьютеры.

ТАКИЕ упрощенные модели, воспроизводящие наблюдаемый спектр SN Ib, дали сведения об их химическом составе, массе, наиболее вероятных профилях температуры и плотности. Эти сверхновые характеризуются высоким содержанием гелия и малыми количествами кислорода и углерода, которые, по-видимому, наиболее обильны в ядрах массивных звезд. Вычисления проводились с помощью суперкомпьютера Cray-XMP/24 Центра высокопроизводительных расчетов при Техасском университете, а также на других суперкомпьютерах, предоставленных отделом Перспективных научных расче-



ХАРАКТЕРНЫЕ КРИВЫЕ БЛЕСКА сверхновых различных типов представляют зависимость их яркости (в логарифмическом масштабе) от времени. Блеск SN Ia (красный цвет), в среднем ярчайшего класса сверхновых, быстро падает после максимума, а затем — медленно по экспоненциальному закону с характерным временем ослабления в два раза примерно за 50 дней. Именно такое изменение предсказывается в модели, в которой основным источником энергии является радиоактивный распад. SN Ib (синий цвет) менее яркие, их кривые блеска хуже изучены, но радиоактивный распад также может быть ответственным за форму «хвоста» кривой блеска. Блеск SN II-p (зеленый цвет) находится на постоянном уровне сразу после максимума, в то время как блеск SN II-I (черный цвет), вероятно, имеющих меньше водорода и другой механизм взрыва, падает линейно.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР взрывающейся массивной звезды, состоящей из 90% гелия, 9% кислорода, 1% углерода и незначительного количества тяжелых элементов, сравнивается с наблюдаемыми спектрами СН Ib (СН 1984L) в момент максимума блеска (черный цвет) и через три недели после этого (серый цвет). Их сходство позволяет предположить, что предшественниками СН Ib были гелиевые массивные звезды. Однако чтобы в теоретическом спектре присутствовала также сильная абсорбционная линия при 5700 Å, необходимо предположить, что доля возбужденных атомов гелия во много раз выше значения, обеспечиваемого температурой атмосферы сверхновой. Так, в момент максимума блеска гелий должен быть перевозбужден в 100 раз (линии темнее), тогда как через три недели — в 10^4 раз (линии светлее).

тов Национального научного фонда США.

Спектр, рассчитанный для атмосферы сверхновой, состоящей из 90% гелия, 1% углерода, 9% кислорода и малого количества тяжелых элементов (такой химический состав типичен для массивных звезд), был немного похож на наблюдаемые, однако основная деталь — абсорбционная линия гелия — была слишком слаба. Поскольку даже очень большим содержанием гелия невозможно объяснить наблюдаемую линию, следует предположить, что в атмосферах СН Ib атомы гелия должны быть «перевозбуждены». Например, при увеличении в 100 раз числа атомов гелия, находящихся в возбужденном состоянии, по сравнению с локальным термодинамическим равновесием, рассчитанный спектр почти полностью совпал с наблюдаемым для СН 1984L в момент максимума блеска.

Не известно, что могло привести к аномально высокому возбуждению атомов гелия в оболочке реальной сверхновой. Можно предположить, что могла сыграть свою роль очень низкая плотность выброса и, следовательно, редкие столкновения между атомами. Столкновения, которые стремятся вернуть возбужденный атом или ион обратно на нижний энергетический уровень, действуют как сила, стремящаяся к восстановле-

нию локального термодинамического равновесия. Гелиевые линии усиливаются по мере «старения» сверхновой и «просветления» оболочки, поэтому наиболее вероятно, что они возникают в результате нарушения равновесия между возбуждением (излучением из глубинных слоев оболочки) и де-возбуждением (столкновениями атомов). Увеличение заселенности возбужденных уровней атомов гелия в 100 раз было достаточно для получения спектра СН 1984L в момент максимума блеска, тогда как для объяснения спектра, полученного через три недели, необходимо увеличение уже в 10^4 раз.

ТАКИМ образом, расчеты переноса излучения в оболочках сверхновых показали, что СН Ib могут появляться при взрыве массивных гелиевых звезд. Сравнение рассчитанных спектров для разных масс с наблюдаемыми спектрами показало, что масса взрывающегося вещества должна составлять примерно несколько масс Солнца.

Эти модели подтвердили также, что еще два объекта принадлежат к классу СН Ib — это сверхновые 1983I и 1983V, открытые соответственно Д.Ю. Цветковым из Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга (ГАИШ) в СССР и Эвансом. В то время эти со-

бытия не привлекли особого внимания. Ситуация резко изменилась, когда Дж. Элиас и его сотрудники из Калифорнийского технологического института по сходству кривых блеска в инфракрасном диапазоне СН 1983I с СН 1983N и СН 1984L отнесли СН 1983I к типу СН Ib. Кроме того, в спектре СН 1983I отсутствуют линии водорода и линия кремния при 6150 Å, что также связывает ее со сверхновыми типа Ib. Однако характерная линия гелия при 5700 Å наблюдалась лишь как незначительное уменьшение интенсивности.

Принадлежность этих сверхновых к типу Ib подтвердилась, когда было показано, что модель, воспроизводящая спектр СН Ib, может воспроизводить также и их спектры. Она характеризуется увеличенным содержанием углерода и кислорода и уменьшенным содержанием гелия в атмосфере сверхновой. Кислород и углерод легко ионизируются и теряют электроны, которые рассеивают фотоны независимо от их частоты. Это приводит к уменьшению «глубины» абсорбционных линий в спектре. Таким образом, увеличение содержания углерода и кислорода приводит к дальнейшему ослаблению гелиевых линий, в свою очередь ослабленных уменьшением содержания гелия. В адекватной модели атмосфера сверхновой должна содержать 10% гелия, 10% углерода, 80% кислорода и малые количества тяжелых элементов. Сверхновые 1983I, 1983N, 1983V и 1984L, по видимому, принадлежат к классу СН Ib — классу неоднородному, с широким диапазоном отношения содержания гелия к кислороду.

ЭТИ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ модели атмосфер сверхновых помогают понять только ранние стадии взрыва сверхновой: примерно месяц после взрыва выброшенное вещество еще непрозрачное (оптически толстое) и каждый фотон многократно взаимодействует с электронами или ионами в расширяющемся с большой скоростью газе. Наблюдаемое излучение характеризует свойства поверхности такой области, откуда фотоны могут свободно выходить. По мере расширения оболочки и ее просветления можно изучать более глубокие слои. В конце концов примерно через месяц оболочка становится настолько прозрачной, что излучение из любой ее точки может непосредственно достичь наблюдателя. Этот разреженный остаток сверхновой, названный «сверхтуманностью», может дать ключ к разгадке природы СН Ib.

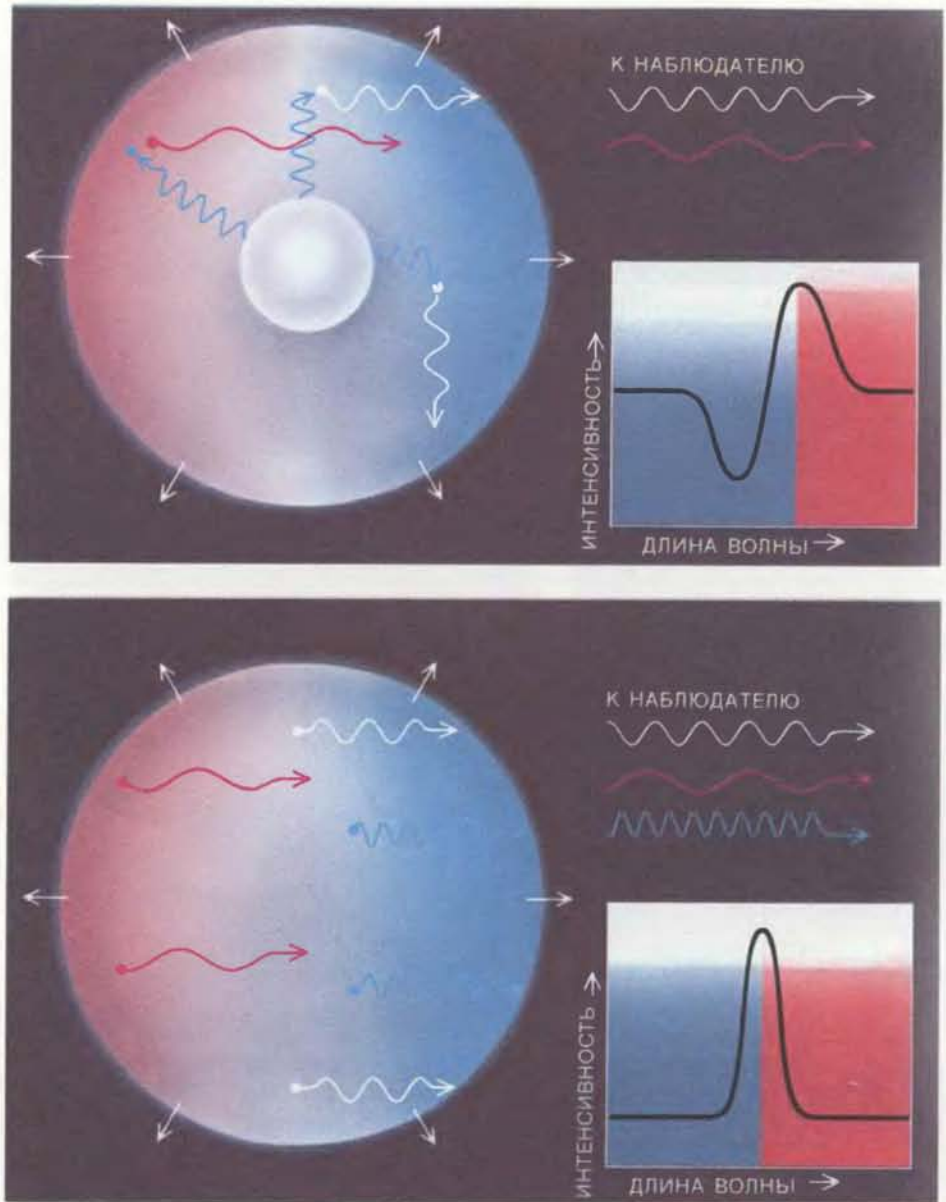
При наступлении фазы сверхтуманности спектр сверхновой радикально изменяется. В первые дни после взры-

ва он состоит из «разрешенных» линий, т. е. линий, обусловленных переходами, которые разрешены законами квантовой механики. Только такие очень быстрые переходы могут оставить след в спектре расширяющейся атмосферы, поскольку более медленные переходы опережаются столкновениями атомов, которые рассеивают энергию возбужденного атома или иона раньше, чем она могла бы излучиться. На зависимости интенсивности излучения от длины волны каждая разрешенная линия видна как эмиссионный пик с находящимся рядом углублением, которое соответствует поглощению при немного меньшей длине волны. Вещество, которое движется прямо на наблюдателя, рассеивает фотоны, приходящие из более глубоких непрозрачных слоев.

Наоборот, в фазе сверхтуманности в спектре преобладают «запрещенные» линии, которые обусловлены переходами, происходящими с такой малой вероятностью, что в лабораторных условиях они не наблюдаются. В разреженном газе сверхтуманности промежуток времени между столкновениями настолько велик, что каждый атом или ион может поглотить и излучить энергию как бы в одиночестве. Запрещенные линии в спектре видны только как эмиссионные пики, поскольку фотоны излучаются в прозрачной для них (оптически тонкой) среде и вероятность их рассеяния очень мала.

В фазе сверхтуманности не только каждый элемент проявляет необычные спектральные свойства, но и сверхновая в целом обнаруживает новый химический состав с большим количеством тяжелых элементов, ранее скрытых в непрозрачных глубинных слоях оболочки. Например, Т. Аксельрод из Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса показал, что спектр СН Ia в фазе сверхтуманности может быть воспроизведен наложившимися запрещенными эмиссионными линиями расширяющегося облака ионизованных железа и кобальта. Предполагают, что эти элементы являются продуктами взрывного термоядерного горения. Дж. Грэхэм, П. Мейкл и их коллеги из Имперского колледжа науки и техники в Лондоне обнаружили небольшое количество железа в фазе сверхтуманности СН Ib (1983N).

Фаза сверхтуманности СН Ib имеет свою особенность — большое количество кислорода. Это свойство было установлено косвенно после открытия СН 1985F А. Филиппенко из Калифорнийского университета в Беркли и У. Сарджентом из Калифорнийского технологического института. Сверхновая была открыта на фазе



РАЗНЫЕ ФАЗЫ развития вспышки сверхновой отражаются на спектральных характеристиках. В ранней фазе взрыва (вверху) свет, излученный поверхностью горячей непрозрачной центральной области, рассеивается окружающим полупрозрачным веществом. Из-за расширения оболочки сверхновой фотоны, испущенные веществом,двигающимся по направлению к наблюдателю, «синееют» (длина волны уменьшается под действием эффекта Доплера). Фотоны, излученные веществом,двигающимся перпендикулярно лучу зрения, не изменяются, а фотоны, излученные веществом,двигающимся от наблюдателя, «краснеют». Вещество, находящееся на луче зрения, рассеивает излучение, так что фотоны изменяют направление и не попадают к наблюдателю. Поэтому каждая спектральная деталь характеризуется наличием минимума в синей области. Фотоны, излученные в других направлениях, но рассеянные по направлению к наблюдателю, образуют эмиссионный пик, сопровождающий каждый минимум. Через месяц в фазе «сверхтуманности» (внизу) оболочка становится прозрачной и свет приходит к наблюдателю из любой точки. Из-за малого числа рассеянных фотонов каждая линия представляет собой только эмиссионный пик.

сверхтуманности через несколько месяцев после момента максимума блеска*. В ее спектре присутствовали очень интенсивные эмиссионные ли-

* Кривая блеска этой сверхновой была восстановлена Д.Ю. Цветковым по пластинкам фототеки ГАИШ. Удалось точно определить момент максимума блеска и независимо от спектральных данных классифицировать ее как СН Ib (см. библиографию на с. 103). — Прим. перев.

нии кислорода, подобных спектров астрономы еще не наблюдали.

Несколькими месяцами позже, после того как спектр СН 1983N, полученный через 8 месяцев после момента максимума блеска, был наконец исправлен с учетом инструментальных ошибок, оказалось, что он очень напоминает спектр СН 1985F. Этот факт позволил сделать два интересных вывода. Во-первых, фаза сверх-

| СВЕРХНОВАЯ | ПОЛОЖЕНИЕ В ГАЛАКТИКЕ | СОДЕРЖАНИЕ КИСЛОРОДА | СОДЕРЖАНИЕ ГЕЛИЯ |
|------------|--------------------------|-------------------------|---------------------|
| 1954A | ? | ВЫСОКОЕ? | ? |
| 1962L | ОБЛАСТЬ Н II | НИЗКОЕ | ? |
| 1964L | СПИРАЛЬНЫЙ РУКАВ | НИЗКОЕ | ? |
| 1982R | ? | НИЗКОЕ? | ? |
| 1983I | СПИРАЛЬНЫЙ РУКАВ | НИЗКОЕ | ? |
| 1983N | ОБЛАСТЬ Н II | ВЫСОКОЕ | ВЫСОКОЕ |
| 1983V | ОБЛАСТЬ Н II | НИЗКОЕ | ? |
| 1984L | ОБЛАСТЬ Н II | ВЫСОКОЕ | ВЫСОКОЕ |
| 1985F | ОБЛАСТЬ Н II | ? | ВЫСОКОЕ |
| 1986M | ? | НИЗКОЕ? | ? |

СВЕРХНОВЫЕ Ib и их основные параметры. SN Ib, как и SN II, имеют тенденцию к появлению в рукавах спиральных галактик, особенно в областях H II — облаках ионизованного водорода. Спектры SN Ib отличаются наличием слабой или сильной абсорбционной линии гелия в момент максимума блеска, которая уступает место эмиссионной линии кислорода в фазе «сверхтуманности». Этот класс «пекулярных» сверхновых был установлен на основе наблюдений SN 1983N и SN 1984L; более ранние сверхновые — «кандидаты» в SN Ib — включены в список на основе архивных спектров.

туманности SN Ib с необычно большим содержанием кислорода существенно отличается от подобной фазы как SN Ia, так и SN II (стадия сверхтуманности последних, как и ранние эпохи, характеризуется преобладанием водородных линий в спектре). Вторых, SN 1985F не является уникальной сверхновой, а принадлежит к классу SN Ib.

В настоящее время прилагаются большие усилия для интерпретации спектров SN Ib в фазе сверхтуманности и моделирования этой стадии взрыва. Спектр представляет состав внутренних, обогащенных кислородом слоев оболочки. Но откуда берется кислород? Как белые карлики (в некоторых моделях), так и массивные

звезды имеют богатые кислородом области. Однако масса кислорода, составляющая, по-видимому, несколько масс Солнца, определенная по спектральным линиям в фазе сверхтуманности, приводит к предположению о том, что наиболее вероятный источник кислорода — это внутренние слои разрушенной массивной звезды.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, и спектры, и радионаблюдения, и связь SN Ib с областями H II свидетельствуют о том, что предшественниками сверхновых этого необычного класса являются массивные звезды. Изучение звездного населения и его эволюции, а также дальнейшие теоретиче-

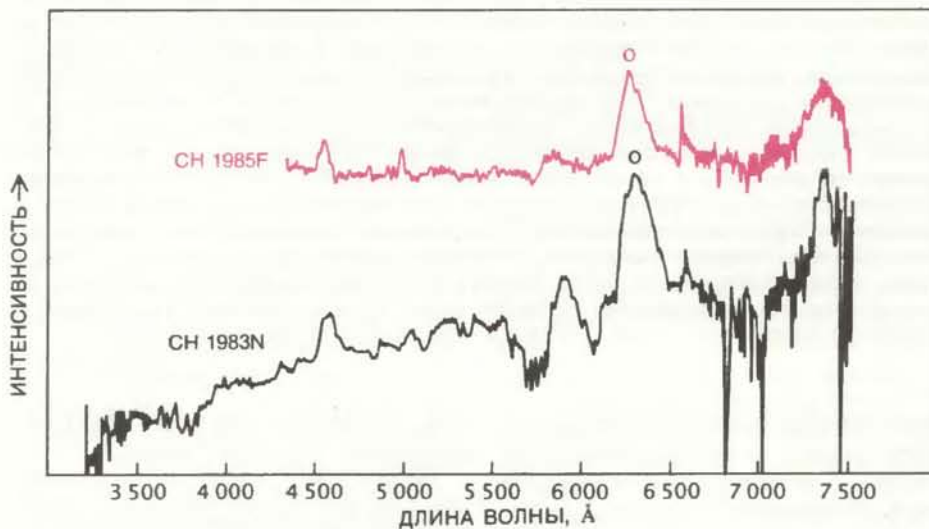
ские расчеты привели нас к более определенным гипотезам об их происхождении.

Прежде всего маловероятно, что их предшественниками могли быть наиболее массивные звезды с массой более 30 солнечных масс. Такие звезды слишком редки для того, чтобы объяснить растущее число вспышек SN Ib (см. таблицу слева); сейчас считают, что частота их вспышек может быть такой же, как и у SN Ia и SN II. Очень массивные сверхновые должны иметь кривые блеска, сильно отличающиеся от наблюдаемых, поскольку излучение очень долго выходит из их оболочек. В эволюционных моделях очень массивных звезд предполагается также наличие сильного звездного ветра, который в конце концов привел бы к потере не только всего водорода (что согласуется с наблюдаемым химическим составом SN Ib), но и всего гелия.

Могут ли взрывающиеся белые карлики быть предсверхновыми SN Ib, несмотря на то что предсверхновая должна быть молодой и массивной? Расчеты атмосфер показывают, что спектральные линии железа, образующегося в большом количестве при взрыве белого карлика, скрыли бы любую линию гелия, что исключает такое предположение.

Существует промежуточная возможность. Предсверхновыми SN Ib могут быть ядра звезд, когда-то имевших массу между 8 и 25 солнечных масс, но в ходе эволюции каким-либо образом потерявшие водородную оболочку. Звезды с такими массами являются предсверхновыми большинства SN II, поэтому вероятно, что механизм взрыва SN Ib такой же: коллапс ядра, приводящий к образованию из его компактной плотной части нейтронной звезды и ударной волны, сбрасывающей внешние слои звезды. Таким образом, сначала появляются внешние, богатые гелием слои предсверхновой, а затем — ее промежуточные слои, богатые кислородом.

Как предсверхновая могла потерять водородную оболочку? Звезды с массой меньше 25 масс Солнца имеют недостаточную светимость для сброса оболочки сильным звездным ветром. Вероятно, спутники звезд могли бы «позаимствовать» вещество их внешних водородных слоев, выявляя гелий и более тяжелые элементы. Согласно этой картине, SN Ib должны отличаться от многих SN II только тем, что последние произошли от массивных звезд, которые либо не имели спутника, либо имели, но он находился так далеко от предсверхновой, что они никогда не взаимодей-



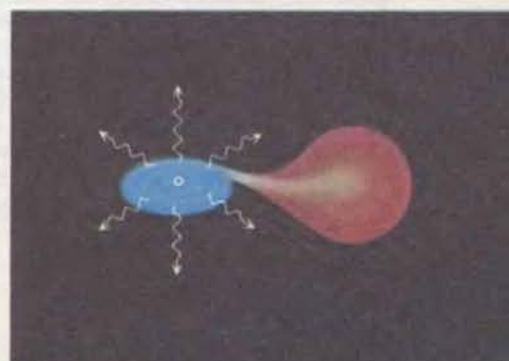
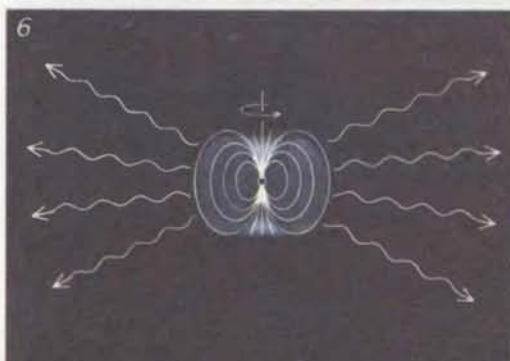
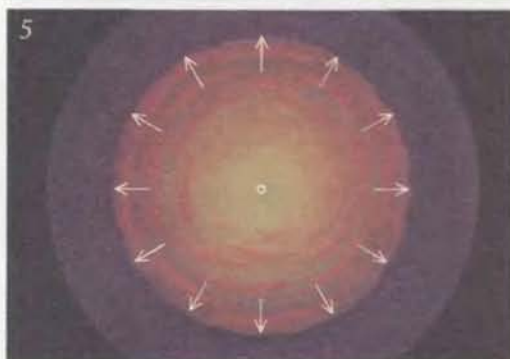
СПЕКТРЫ двух сверхновых Ib в фазе «сверхтуманности» имеют эмиссионные пики, вероятно принадлежащие кислороду. Вещество, впервые обнаруженное по спектру SN 1985F и позже по спектру SN 1983N, по-видимому, представляет собой внутренние, богатые кислородом слои предсверхновой звезды, которые становятся все более заметными при расширении и просветлении ее оболочки.

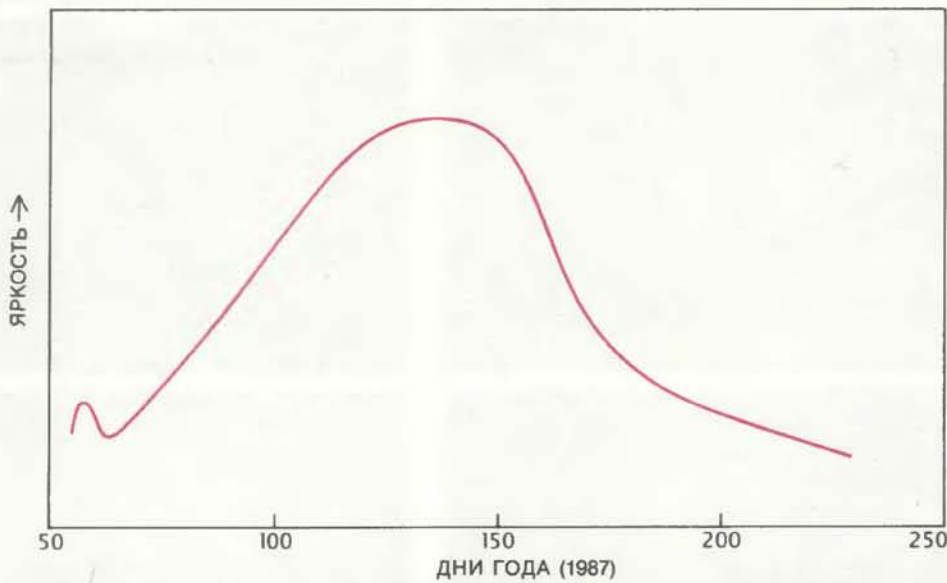
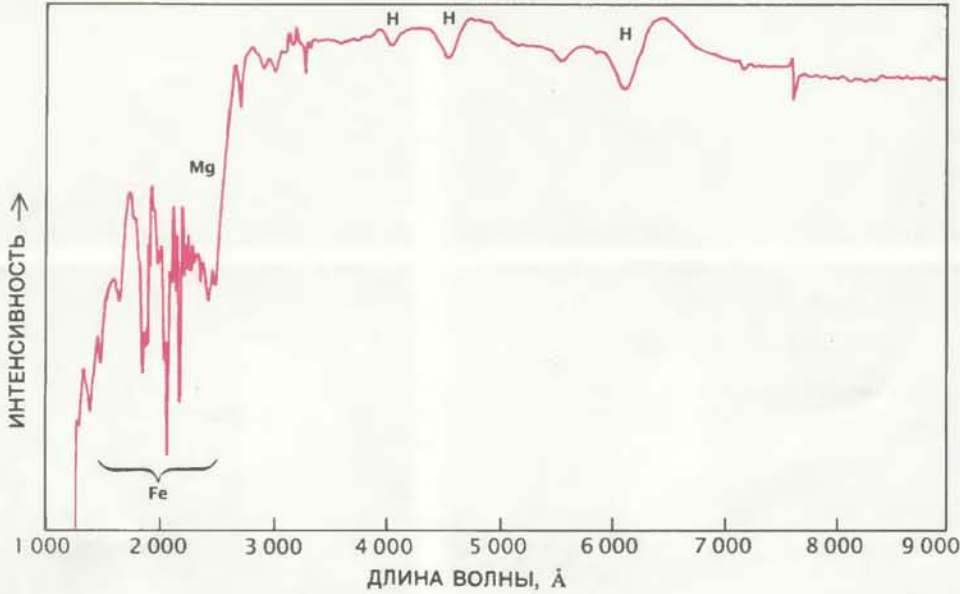
вовали. Однако СН Ib возникают среди части (возможно, половины) звезд того же диапазона масс, но имеющих близкий спутник.

Эта гипотеза могла бы помочь решить загадку звездной эволюции, поставленную основным классом двойных рентгеновских источников, которые состоят из нейтронной звезды, вращающейся вокруг довольно массивной звезды-компаньона. (Вещество, падающее со спутника на нейтронную звезду, при нагревании и сжатии излучает рентгеновские лучи). Вероятно, такие рентгеновские источники возникают в двойных системах, состоящих из двух массивных звезд, в которых более массивный партнер эволюционирует и коллапсирует, образуя нейтронную звезду. Внезапная потеря при взрыве большей части массы звезды может дестабилизировать двойную систему, при этом звезда уже потеряла внешнюю водородную оболочку (и таким образом большую часть массы) в пространство или в область гравитационного притяжения своего спутника. Тогда ядро звезды, которое в конце концов взорвется, должно иметь дефицит водорода. Другими словами, двойные рентгеновские источники могут представлять собой остатки сверхновых Ib.

В общем возможная тесная связь между СН Ib и СН II означает, что пекулярные сверхновые могут приоткрыть тайны классических взрывов с коллапсом ядра. Чтобы понять процесс коллапса ядра массивной звезды, необходимы длительные исследова-

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ СЦЕНАРИЙ образования СН II (слева) и СН Ib (справа). Взрыв СН II может начаться в массивной звезде (1), которая постарелась, расширилась и превратилась в красный сверхгигант — звезду, состоящую из протяженной водородной оболочки (2) и слоистого ядра (3), содержащего тяжелые элементы. При коллапсе ядра, приводящего к образованию нейтронной звезды, испускаются нейтрино (4) и образуется ударная волна, сбрасывающая внешние слои звезды (5). После взрыва обычно остается пульсар — мощный источник радиоизлучения, генерируемого при быстром вращении нейтронной звезды в собственном магнитном поле. Предсверхновая СН Ib может отличаться только наличием массивного спутника. По мере расширения звезды часть вещества покидает систему, а часть «перетекает» на спутник. При этом оставшееся «обнаженное» ядро коллапсирует и взрывается так же, как СН II. После взрыва нейтронная звезда может аккрецировать вещество спутника, которое при сжатии и нагреве способно излучать рентгеновские лучи.





СВЕРХНОВАЯ 1987А сияет в Большом Магеллановом Облаке рядом с туманностью, известной под названием 30 Doradus, — областью активного звездообразования (вверху). Спектр сверхновой (в середине) представляет собой комбинацию спектра в видимой области, полученного М. Филлипсом на Межамериканской обсерватории Серро-Тололо (Чили), и ультрафиолетового спектра со спутника IUE (Международный ультрафиолетовый спутник), предоставленного Р. Киршнером из Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра. Наличие линий водорода позволяет отнести сверхновую к II типу. Некоторые особенности, однако, аномальны. Среди них — сильные, широкие линии поглощения водорода, ультрафиолетовый спектр и форма кривой блеска (внизу). Кривая блеска, полученная Киршнером и Дж. Соннеборном из Computer Science Corporation на основании данных со спутника IUE, показывает аномальное уменьшение яркости сразу после взрыва, необычно медленный подъем к максимуму и экспоненциальное ослабление яркости, вероятно обусловленное радиоактивным распадом.

ния в течение многих лет и сотни часов машинного времени; кроме того, этому препятствует отсутствие данных наблюдений, с которыми можно было бы сравнить теорию, так как непрозрачная оболочка сверхновых II типа скрывает излучение, идущее из ее глубинных слоев. Моделирование на компьютерах для объяснения непосредственных наблюдений внутренних областей сверхновых Ib должны пролить свет на физические процессы, происходящие при коллапсе ядра.

То, что коллапс ядра может давать спектр, похожий на спектр классических сверхновых I типа с их столь отличным механизмом взрыва, привлекло внимание исследователей к проблеме классификации сверхновых. Ясно, что физика сверхновых не укладывается в рамки спектральной классификационной схемы. Подобно тому как любой механизм взрыва может привести к спектру с дефицитом водорода, так и некоторые сверхновые II типа могут рождаться при термоядерном взрыве в водородной оболочке, приводящему к полному разрушению звезды. По-видимому, по мере развития наших знаний о механизмах взрывов сверхновых существующая классификационная схема будет становиться все менее значимой*.

КАК БЫ иллюстрацией к этой сложной картине явилась вспышка Сверхновой 1987А на ночном небе. Хотя наблюдения еще систематизируются и интенсивно анализируются, уже стало ясно, что это событие представляет собой коллапс массивной звезды другой конфигурации. С одной стороны, взрыв явился эффективным подтверждением теории: впервые непосредственно была зарегистрирована вспышка нейтрино, образующихся при сжатии ядра в нейтронную звезду. Детекторы, установленные в Японии и в шт. Огайо, — гигантские баки с водой, специально оборудованные и помещенные глубоко под землей в шахтах, где они защищены от космических лучей, — зарегистрировали нейтринный импульс за несколько часов до прихода первых фотонов от сверхновой на Землю.

С другой стороны, сверхновая 1987А поставила теоретические вопросы. В ее спектрах хорошо видны линии водорода, поэтому ее сразу можно отнести к СН II. Однако массивная звезда перед коллапсом ядра

* Представления о конечных стадиях эволюции звезд уже много лет развиваются на основе подробных численных моделей в работах В.С. Имшенника и Д.К. Надёжина (см. библиографию на с. 103). — *Прим. ред.*

обычно превращается в холодный красный сверхгигант. А предсверхновая 1987А, как было установлено по ранним фотопластинкам, представляла собой голубой сверхгигант: более компактную и, следовательно, более горячую эволюционную стадию массивной звезды, причем ранее не было известно случаев взрыва таких звезд. Она, вероятно, имела массу от 15 до 20 масс Солнца — именно такая масса ожидается для СН Ib и некоторых СН II.

Само развитие взрыва свидетельствует в пользу компактной предсверхновой: нейтрино, излученные при коллапсе ядра, были зарегистрированы по крайней мере на три часа раньше первых фотонов, рожденных при выходе ударной волны из звезды. Зная эту временную задержку и скорость ударной волны, Д. Арнетт из Чикагского университета, С. Вусли и его коллеги из Калифорнийского университета в Санта-Круссе, научные группы в ФРГ, Советском Союзе*, Японии и в ряде других стран независимо определили, что радиус предсверхновой должен составлять около 30 радиусов Солнца — почти в 25 раз меньше радиуса красного сверхгиганта.

Компактность предсверхновой, возможно, позволяет объяснить еще одну особенность СН 1987А: несмотря на то что она была видна очень яркой вследствие ее близости к нам, ее абсолютный блеск не достигает значений, типичных для СН II и СН Ib. В любой сверхновой, индуцированной коллапсом ядра, часть энергии, запасенной ударной волной, расходуется на расширение звезды до тех пор, пока она не расширится настолько, чтобы излучать эффективно. Чем меньше предсверхновая, тем больше тепла расходуется на движение и меньше энергии в конце концов тратится на свечение сверхновой. (СН Ia, предшественниками которых являются белые карлики, были бы очень слабы, если бы в оболочку не поступала энергия радиоактивного распада.)

Сверхновая 1987А, аномально слабая в течение первой недели после открытия, в последующие 10 недель непрерывно увеличивала блеск. Такого длительного подъема к максимуму не было ни у одной сверхновой [кроме аномальной СН 1961V. — *Ред.*]. Позже светимость начала убывать по экспоненциальному закону, что может быть, если источником энергии на

поздней стадии является распад радиоактивных кобальта и никеля, образовавшихся при взрыве. В настоящее время считают, что радиоактивный распад важен не только для сверхновых Ia, но также для СН Ib и некоторых СН II.

Продолжение наблюдений СН 1987А изменит и расширит существующие

представления о коллапсирующих массивных звездах. Еще больший прогресс будет достигнут при обобщении всех наших знаний о сверхновых. Сравнение СН Ia, СН Ib и СН II со Сверхновой 1987А даст обилие информации и позволит глубже понять многочисленные проявления звездных катастроф.

Издательство МИР предлагает:

ТЕХНИКА ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ. ФОТОПРИЕМНИКИ

Под редакцией У. Тсанга
Перевод с английского

Коллективная монография известных специалистов из США посвящена вопросам разработки и использования быстродействующих высокочувствительных фотоприемников. Подробно изложены физические процессы в фотоприемниках, а также вопросы технологии и конструирования. Приведены эксплуатационные характеристики некоторых устройств.

Для специалистов в области волоконно-оптических систем передачи информации, а также для разработчиков фотоприемников и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

Из отзыва члена-корреспондента АН СССР Л.Н. Курбатова: «Книга посвящена одному из актуальных направлений физики и техники полупроводниковых приборов, связанному с разработкой и использованием быстродействующих высокочувствительных фотоприемников. В ней отражены основные достижения в данной области за последние годы».

1988, 32 л. Цена 4 р. 10 к.

Д. Ши ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ В ЗАДАЧАХ ТЕПЛООБМЕНА

Перевод с английского

В книге представлены обзор и описание наиболее эффективных, применяемых в вычислительной практике подходов и методов расчета, рассмотрено приложение этих методов к исследованию наиболее важных процессов теплообмена: теплопроводности, конвекции и излучения. Рассмотрены физические основы и методы решения сложных комплексных задач, связанных с турбулентностью и горением.

Для специалистов, аспирантов, студентов и инженерно-технических работников в области авиационной и ракетно-космической техники, энергомашиностроения, химической технологии.

Из рецензии академика АН ЛитССР А.А. Жукаускаса: «Книга построена методически очень удачно... Приступающий к изучению численных методов студент сможет проникнуть в сложности задач теплообмена с подкупающей простотой; а зрелый исследователь найдет в книге много поучительного и интересного».

1988, 39 л. Цена 4 р. 30 к.



* Имеются в виду работы группы под руководством В.С. Имшенника из Института теоретической и экспериментальной физики (см. библиографию на с. 103). — *Прим. ред.*

Искусственные хромосомы

Геноинженерные исследования поначалу ограничивались манипулированием отдельными генами. Сейчас приемы генетической инженерии используются для получения целых хромосом, что позволяет исследовать их поведение

ЭНДРЬЮ У. МЮРРЕЙ, ДЖЕК У. ШОСТАК

ГЕНЫ у высших организмов передаются от родителей потомкам в составе хромосом — молекул ДНК, которые во много раз длиннее отдельных генов. В клетках человека содержится по 46 хромосом, в клетках гороха по 14, а у плодовой мушки по 8. В настоящее время, когда стало реальным манипулирование генами и внимание исследователей сосредоточено главным образом на конкретных генах, может показаться, что хромосомы — это не более чем векторы, служащие для точного распределения генов при делении клетки. Действительно, именно таково назначение хромосом. Однако функция их вовсе не проста, и механизм действия выяснен далеко не полностью. Каким образом хромосомы узнают, куда им двигаться в ходе клеточного деления?

Для изучения этого вопроса пять лет назад мы занялись конструированием хромосом из их отдельных частей. Будучи как бы творцами этих молекул, мы могли, составляя их, включать различные функциональные элементы, чтобы наблюдать затем поведение хромосом в отсутствие того или иного элемента. Нам удалось создать искусственные хромосомы, которые успешно реплицировались в живых клетках и правильно распределялись между дочерними клетками, когда материнская клетка делилась. Мы получили также многочисленные варианты хромосом, совсем не способные нормально распределяться, и это позволило узнать кое-что о факторах, определяющих наследование хромосом.

Наши исследования хромосом вызваны не только академическим интересом. Само существование жизни зависит от точности передачи генов в ряду поколений, которая осуществляется хромосомами. Нарушения в распределении хромосом могут приводить к катастрофическим последствиям. Клетки, унаследовавшие ненор-

мальное число хромосом, чаще всего погибают, а выжившие, как правило, ненормальны. Например, причина синдрома Дауна у человека заключается в нарушении распределения хромосом, из-за чего у больного во всех клетках тела имеется лишняя копия хромосомы 21. Кроме того, искусственные хромосомы могут стать эффективным инструментом генетической инженерии. Методы введения в клетки чужеродной ДНК, доступные в настоящее время, не годятся для крупных генов или групп генов. Полученные нами искусственные хромосомы как векторы имеют гораздо большую емкость. Исследователи из других лабораторий уже клонировали гены человека в клетках дрожжей, встроив эти гены в искусственные хромосомы.

ЧТОБЫ создать искусственные хромосомы, способные функционировать подобно настоящим, необходимо было уметь манипулировать элементами, определяющими их функционирование. Все хромосомы построены из двухцепочечной ДНК, спирально закрученной в структуру, напоминающую винтовую лестницу. Цепи ДНК содержат азотистые основания, которые обозначаются А, Г, Т и С. В двухцепочечной ДНК цепи удерживаются вместе благодаря тому, что основания одной цепи образуют пары с основаниями другой. Спаривание оснований подчиняется строгим правилам: А связывается только с Т, а Г с С, так что цепи, как говорят, комплементарны друг другу и по последовательности нуклеотидов одной цепи можно однозначно установить последовательность парной ей цепи.

На комплементарности цепей ДНК основана способность клетки удваивать свой набор хромосом перед делением. Во время репликации ДНК цепи двойной спирали разъединяются, и каждая из них играет роль матрицы для синтеза комплементарной цепи. В

результате вместо одной хромосомы возникают две точно такие же. Затем идентичные «сестринские хроматиды» (хроматида — продольная половинка хромосомы) расходятся, увлекаемые нитями так называемого митотического веретена, к противоположным полюсам делящейся клетки, и в итоге по завершении митоза (митозом называют весь процесс деления клетки) каждая дочерняя клетка содержит полный набор хромосом.

Считается, что для обеспечения репликации и расхождения хромосом необходимы три элемента. Один — это участок начала репликации, т. е. сайт хромосомной ДНК, в котором начинается синтез новой ДНК. Поскольку хромосомы очень длинные, а скорость процесса репликации мала, в каждой хромосоме имеется множество участков начала репликации, и при образовании сестринских хроматид работает много молекул ферментов одновременно. Вторым элементом, нужным для нормального функционирования хромосомы, — это центромера; так называется сегмент ДНК, к которому в ходе митоза прикрепляются нити веретена. Часто, хотя и не всегда, центромера расположена в средней части хромосомы. И наконец, для защиты генов, расположенных на концах хромосом, от деградации необходимы повторяющиеся последовательности ДНК, называемые теломерами (от греческого «телос» — конец).

Здесь мы рассмотрим последние достижения в изучении того, какую роль играют эти элементы в правильном наследовании хромосом. Большая часть таких работ была выполнена на дрожжах; с этим одноклеточным организмом легко работать, и во многих отношениях он близок к клеткам высших организмов. Нарушения распределения хромосом у дрожжей редки: они происходят в среднем 1 раз на 100 тыс. актов деления клетки. К тому же дрожжи — пока единствен-

ный известный организм, у которого центромеры, теломеры и участки начала репликации представлены вполне конкретными непротяженными сегментами молекулы ДНК. Клетки дрожжей содержат по 16 хромосом, длина которых варьирует от 300 тыс. до более 2 млн. пар оснований. (У человека хромосомы значительно крупнее — их длина составляет в среднем 100 млн. пар оснований.) Функциональные элементы хромосом дрожжей имеют длину от 100 до 1000 пар оснований. Центромеры же других организмов (судя по немногим имеющимся сведениям) могут иметь длину до миллиона пар оснований.

КАКИМ образом эти элементы хромосом были выделены для

наших экспериментов? Первыми удалось клонировать участки начала репликации. Восемь лет назад в Станфордском университете К. Струль, Д. Стинчкомб, С. Шерер и Р. Дэвис установили, что фрагменты дрожжевой ДНК могут реплицироваться независимо от хромосом клетки, если к ним присоединены определенные участки хромосомной ДНК. Последовательности ДНК, придающие способность к репликации независимо от хромосомы, вероятно, и являются теми элементами, которые служат участками начала репликации на хромосомах.

Вскоре были выделены центромеры. Существуют свободно реплицирующиеся молекулы ДНК, известные под названием плазмид. Большин-

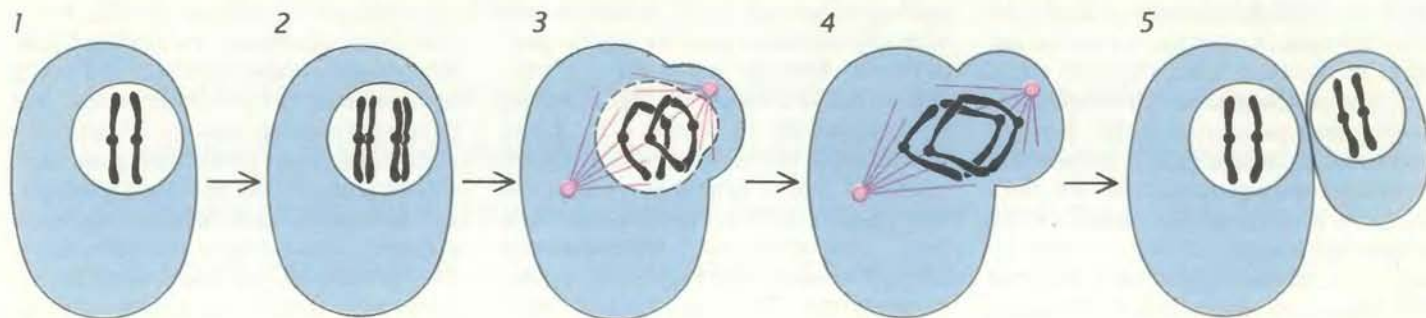
ство плазмид, в том числе и те, которые были получены группой из Станфордского университета, являются кольцевыми, а не линейными, как большинство хромосом. Хотя эти плазмиды и могут реплицироваться, в ходе митоза они ведут себя не так, как обычные хромосомы, которые поровну расходятся к полюсам клетки. Зачастую обе копии плазмиды остаются вместе в одной клетке. Этот факт подтверждает идею о том, что для нормального наследования молекул ДНК, образовавшихся в результате репликации, необходимы некие дополнительные элементы, имеющиеся в нормальных хромосомах.

В 1980 г. Л. Кларк и Дж. Карбон из Калифорнийского университета в Санта-Барбара клонировали ДНК,



ОКРАСКА КОЛОНИЙ ДРОЖЖЕЙ позволяет проследить наследование искусственных хромосом. Поскольку эти хромосомы содержат ген, который подавляет развитие окраски, клетки, в которых присутствует одна такая хромосома, имеют розовый цвет, клетки с двумя копиями белые, а клетки без искусственных хромосом красные. Каждая ко-

лония состоит из примерно 10 млн. клеток, происходящих от одной исходной клетки. Если искусственные хромосомы правильно распределяются при делении исходной клетки, все клетки в колонии окрашены одинаково (*слева*). Ошибки в наследовании приводят к появлению иначе окрашенных секторов (*справа*).



МИТОЗ — это процесс, в результате которого клетка разделяется на две одинаковые дочерние клетки, содержащие по столько же хромосом, сколько их было в материнской. В ходе митоза происходит репликация ДНК и каждая хромо-

сома удваивается — образуются сестринские хроматиды (1, 2). Они расходятся поровну в разные клетки (3–5), увлекаемые нитями митотического веретена (розовые) к противоположным полюсам делящейся клетки.

которая соответствует одной из дрожжевых центромер. Встроенная в плазмиды, центромерная последовательность оказывает замечательное действие на их поведение: такие плазмиды правильно расходятся в 99% клеточных делений. В настоящее время клонированы и детально исследованы центромеры 12 из 16 дрожжевых хромосом. Их последовательности оказались весьма сходными. Считается, что эти участки являются местами прикрепления микротрубочек, формирующих нити митотического веретена. По-видимому, хромосомы, лишённые центромер, не способны присоединяться к веретену и поэтому распределяются между дочерними клетками в лучшем случае случайным образом (т. е. в половине случаев сестринские хроматиды оказываются в разных клетках и в половине случаев — остаются в одной).

Наконец, настал черед теломер. Из-за того что эти элементы расположены на концах хромосом, ими нельзя манипулировать с помощью стандартных методов генетической инженерии. В течение многих лет исследовались природные теломеры у простейшего, обладающего необычайно большим числом таких элементов. В 1982 г. один из авторов этой статьи, а именно Шостак, и Э. Блэкберн из Калифорнийского университета в Беркли придумали, как использовать эти теломеры для создания молекул ДНК, способных реплицироваться в клетках дрожжей, оставаясь линейными. Вскоре при помощи этого подхода мы клонировали теломеры дрожжей. Приблизительно одновременно о клонировании теломер дрожжей сообщили также Г. Дани и В. Закиан из Центра онкологических исследований Фреда Хатчинсона в Сиэтле.

Поскольку теломеры необходимы для поддержания целостности линейной хромосомы в клетке, клонирование теломер подвело нас вплотную к вопросу о создании полной искус-

ственной хромосомы. Появилась возможность манипулировать всеми элементами, которые, как предполагалось, контролируют репликацию хромосом и их сегрегацию, т. е. распределение между дочерними клетками. Эти элементы были в нашем распоряжении, и создать такие хромосомы оказалось довольно легко. В 1983 г. мы получили первую искусственную хромосому. Она была совсем короткой, длиной всего 11 тыс. пар оснований, что соответствует лишь 5% длины наименьшей из природных хромосом дрожжей.

КОНСТРУИРОВАНИЕ искусственной хромосомы осуществляется в несколько этапов. Исходной молекулой служила бактериальная плаزمиды, которая обычно используется при клонировании в качестве вектора. На каждом этапе мы при помощи ферментов разрезали плазмидную ДНК и в образующийся разрыв встраивали нужный ген или один из элементов хромосомы. Прежде всего были встроены маркеры — гены, обуславливающие отличительные признаки клеток, например, определенный цвет или способность расти в отсутствие какого-то вещества, в норме необходимого для питания клетки. Это позволяло определять, какие из дрожжевых клеток получили искусственную хромосому. Затем в плазмиду вводили участки начала репликации и центромеру. Наконец, пристраивались две соединенные вместе теломеры. Когда плаزمиды попадает в дрожжевую клетку, ферменты разрезают соединенные концы на две функциональные теломеры, и кольцевая молекула превращается в линейную.

Что мы надеялись выяснить, наблюдая поведение искусственной хромосомы? Нас интересовали три вопроса. Во-первых, хотелось установить, действительно ли центромеры, теломеры и участки начала репликации составляют набор специфических

последовательностей ДНК, достаточный для нормальной работы хромосом. Во-вторых, мы стремились полнее изучить механизм, посредством которого митотическое веретено разводит хромосомы во время деления клетки.

И наконец, нас интересовало, каким образом возникают ошибки в распределении искусственных и нормальных хромосом. Известны два типа ошибок сегрегации. Первый, который называют сегрегацией 1:0, приводит к тому, что в одной дочерней клетке данная хромосома представлена единственной копией, а в другой клетке такой хромосомы нет совсем. Эта ошибка может возникать, если не произошло репликации хромосомы или если одна из сестринских хроматид деградировала. Второй тип ошибок — сегрегация 2:0 — приводит к тому, что обе сестринские хроматиды попадают в одну и ту же дочернюю клетку. Ошибки этого типа называют также нерасхождением хромосом, поскольку сестринские хроматиды при митозе не разделяются.

Наиболее удобный способ различать эти два типа ошибок основан на том, что регистрируется цвет колоний дрожжевых клеток. Создавая векторную ДНК — будь то плазмиды или искусственная хромосома, — в нее включают ген, подавляющий образование красного пигмента, синтезирующегося у некоторых штаммов дрожжей. Клетка, которая не содержит такую маркированную хромосому, сохранит свой естественный красный цвет; если клетка получила одну копию гена (а значит, и хромосомы), она будет розовой, а если две, то белой. Допустим, исходная клетка была розовой, т. е. содержала одну копию хромосомы. Тогда в результате сегрегации 2:0 появятся белая и красная клетки, в случае сегрегации 1:0 — розовая и красная клетки, а нормальная сегрегация даст две розовые клетки. Этот метод был разработан Ф. Хие-

тером из Медицинской школы Университета Джонса Гопкинса, а также К. Манном, М. Снайдером и Р. Дэвисом из Станфордского университета. Сходную систему предложили Дж. Кент и Л. Хартвелл из Вашингтонского университета и Д. Кошланд из Калифорнийского университета в Сан-Франциско.

Выращивая из розовых клеток колонии и наблюдая за их окраской, можно количественно определять частоту ошибок обоих типов. Если ошибка произошла во время первого деления исходной клетки, половина колонии будет одного цвета, а половина — другого. Если ошибки происходят во время последующих делений, колонии получатся пестрыми, подобно круглому пирогу, который разрезали на куски. Толстые «ломтики» соответствуют ошибкам сегрегации на ранней стадии роста колонии, тонкие — более поздним ошибкам. Другими словами, колонии, в которых произошло немного ошибок сегрегации, содержат лишь несколько разноцветных секторов, а колонии, в которых ошибки имели место часто, выглядят мелко «нарезанными».

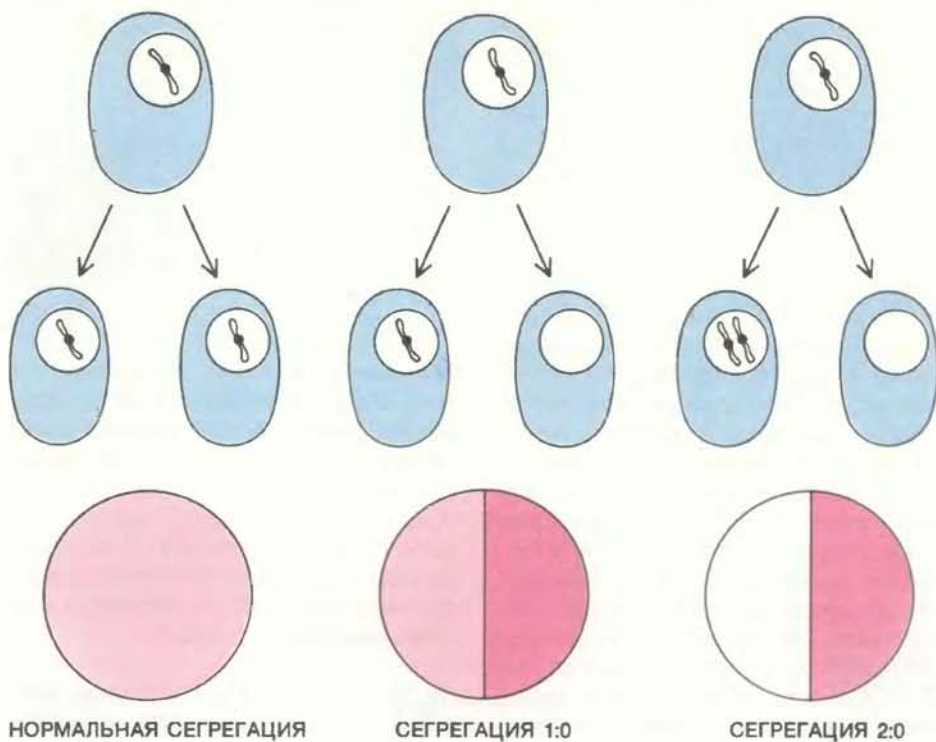
С ПОМОЩЬЮ этого и других методов мы сравнили точность расхождения плазмид, искусственных хромосом и нормальных хромосом. Полученные нами искусственные хромосомы вели себя совершенно удивительно. В отличие от кольцевых плазмид, содержащих центромеры, линейные искусственные хромосомы распределялись между дочерними клетками беспорядочно. Этот неожиданный результат заставил нас задуматься над двумя вопросами. Почему линейные молекулы ДНК не способны к нормальной сегрегации, в то время как кольцевые в таких же условиях распределяются правильно? Как нужно изменить линейные искусственные хромосомы, чтобы они вели себя подобно естественным?

Мы проверили некоторые предположения о причинах аномальной сегрегации искусственных хромосом. Во-первых, «виновниками» могли быть теломеры, которые были получены из простейшего, а не из дрожжей. Однако оказалось, что они функционируют точно так же, как теломеры дрожжей. Во-вторых, не исключалось, что в ходе клонирования нарушилась структура центромеры. Но, как выяснилось, центромеры были интактными. Оставалось предположить, что сама топология линейной молекулы каким-то образом имеет значение для сегрегации. Несмотря на то что искусственная хромосома представляла собой попросту укороченный вариант нормальной, ее способность к сегрегации была хуже, чем у кольцевой. Не длина ли хромосомы существенна в данном случае?

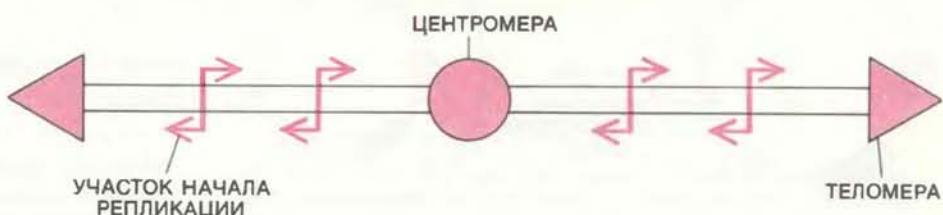
Чтобы исследовать эту возможность, мы построили искусственную хромосому длиной около 55 тыс. пар оснований. Добавочная ДНК, которую включили в нее для увеличения длины, была получена из бактериального вируса (мы полагаем, что в клетках дрожжей гены вируса инертны). Во всех остальных отношениях новая

молекула была подобна прежней хромосоме длиной 11 тыс. пар оснований.

С удлиненной искусственной хромосомой ошибки сегрегации происходили лишь в 1,5% клеточных делений. Из них 90% приходилось на утрату хромосомы (сегрегация 1:0) и только 10% на нерасхождение (сегрегация 2:0). Эта частота все еще в 1000 раз выше, чем частота ошибок, наблюдающаяся для нормальной хромосомы, но, когда мы удвоили длину хромосо-



СЕГРЕГАЦИЯ ХРОМОСОМ определяет цвет колоний дрожжевых клеток, изображенных на с. 25. В исходной клетке каждой колонии имелась одна искусственная хромосома, содержащая ген, подавляющий развитие окраски, и поэтому клетка была розовой. Если при митозе репликация и сегрегация хромосом протекают нормально, обе дочерние клетки получают по одной копии искусственной хромосомы и будут также розовыми (слева). Иногда сестринская хроматида не синтезируется или утрачивается (в середине). Такая ошибка (сегрегация 1:0) приводит к образованию розовой и красной клеток. Если при дальнейших делениях ошибок не происходит, половина колонии окажется розовой, а половина — красной. Может случиться и так, что обе копии хромосомы попадают в одну и ту же дочернюю клетку (сегрегация 2:0) — она получается белой, а другая клетка — красной (справа). Если впоследствии при делении клеток ошибок не возникнет, колония будет окрашена в эти два цвета поровну. Когда же ошибки сегрегации появляются в ходе роста колонии, в ней образуются выделяющиеся окраской «ломтики» (см. рисунок на с. 25 справа).



ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ хромосомы — это особые последовательности ДНК, необходимые для ее работы. Центромера, расположенная обычно в середине хромосомы, служит местом прикрепления нитей митотического веретена. Теломеры защищают концы хромосомы от деградации. В участках начала репликации начинается удвоение ДНК; они разбросаны по всей хромосоме.

мы до 104 тыс. пар оснований, частота ошибок снизилась до 0,3%. Хитер и его сотрудники получили в своей лаборатории сходные результаты. Эти данные убедительно показывают, что длина хромосомы сильно влияет на точность сегрегации.

Как это объяснить? Нам представлялись разумными две возможности. С одной стороны, общая физическая длина молекулы сама по себе может иметь значение для механизма сегрегации. С другой стороны, вполне вероятно, что на сегрегацию влияет расстояние между центромерой и концами молекулы, которое в хромосомах разной длины различно. Для проверки второго предположения мы изменили структуру естественной дрожжевой хромосомы таким образом, что центромера, которая в норме расположена вблизи центра молекулы, оказалась сдвинутой к одному из концов. Это лишь незначительно уменьшило точность сегрегации: она была все равно в 10 тыс. раз выше, чем в случае короткой искусственной хромосомы.

Если же определяющим фактором является общая длина молекулы, то короткие фрагменты естественных хромосом должны вести себя в процессе клеточного деления подобно искусственным хромосомам. Нам удалось получить такие фрагменты, и оказалось, что точность сегрегации

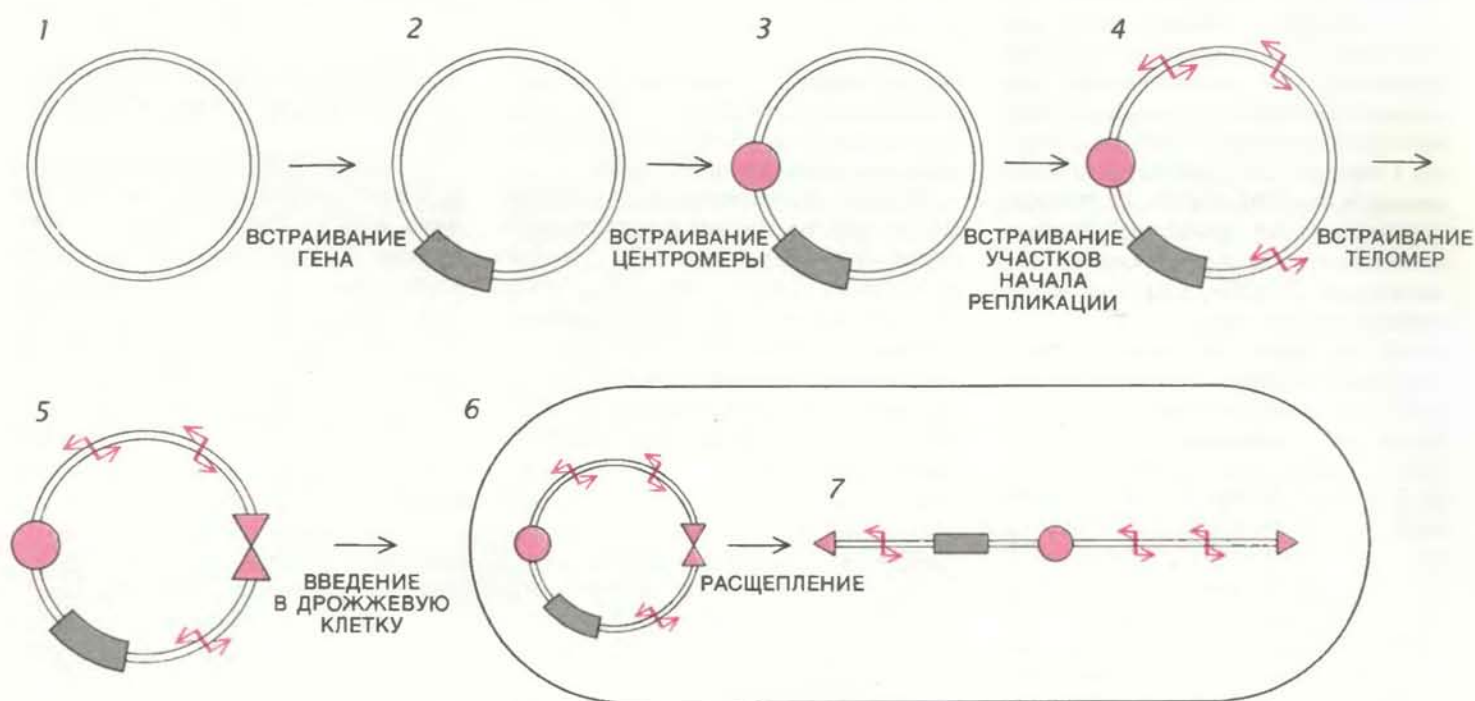
для них действительно уменьшается вместе с длиной; она начинает падать ниже нормальной при длине хромосомы 100 тыс.—150 тыс. пар оснований.

Суммарная частота ошибок сегрегации для фрагментов нормальных хромосом ниже, чем для искусственных хромосом такой же длины. Но почти вся эта разница получается за счет того, что для искусственных векторов больше частота сегрегации 1:0, а частота ошибок типа 2:0 практически одинакова. Мы объясняем это тем, что в случае искусственных хромосом, вероятно, преобладают нарушения репликации, а не собственно клеточного деления. Следовательно, решающим фактором, определяющим точность сегрегации хромосом, по-видимому, является именно общая длина хромосомы, а не какое-то свойство, связанное с длиной.

МЫ РАЗРАБОТАЛИ в общих чертах модель, позволяющую объяснить влияние длины и топологии на свойства искусственных хромосом. Отчасти она основана на наблюдениях, сделанных ранее исследователями, которых интересовали силы, обеспечивающие передвижение хромосом при делении клетки. В 1970-х годах Р. Никлас и его сотрудники в Университете Дьюка провели серию изящных экспериментов, продемонстрировавших, что прикрепление

центромеры к нитям веретена стабильно только при наличии в них механического напряжения. Другими словами, если отсутствует сила, направленная против силы натяжения нитей митотического веретена, центромеры отделяются от аппарата веретена. Эта сила сопротивления возникает благодаря тому, что сестринские хроматиды каким-то образом связаны вместе.

Определенных данных о том, что удерживает сестринские хроматиды вместе, нет, однако можно предложить вероятный механизм. Мы считаем, что эта связь обеспечивается зацеплением двух двойных спиралей ДНК сестринских хроматид. Зацепление возникает во многих участках вдоль хроматид во время репликации, когда молекулы, осуществляющие синтез ДНК, сталкиваются с ней те ферменты, функция которых заключается в расплетании ДНК (см. иллюстрацию на с. 29). При делении клетки участки зацепления препятствуют расхождению хромосом, тем самым создавая силу, противодействующую натяжению веретена и стабилизирующую присоединение центромеры к его нитям. Позднее в ходе митоза другой фермент позволяет одной двойной спирали ДНК пройти сквозь другую, так что сестринские хроматиды получают возможность разделиться. Однако это происходит, наверно, не



СОЗДАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ ХРОМОСОМЫ начинается с кольцевой молекулы ДНК — плазмиды (1). В нее встраивают какой-либо маркер, например, ген, влияющий на окраску клетки (2), и один за другим необходимые функциональ-

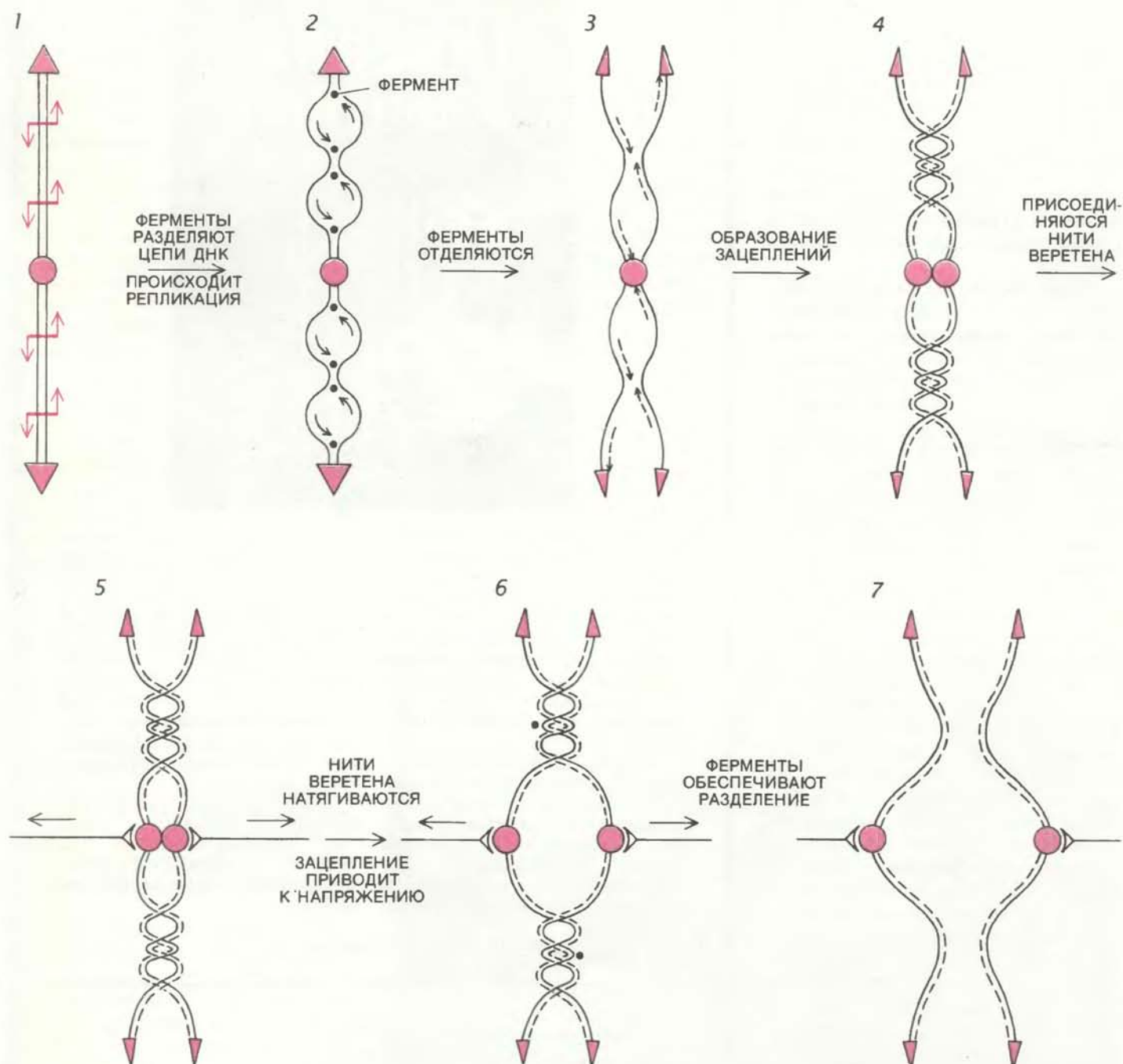
ные элементы (3—5), причем теломеры включаются в соединенном виде. Такую молекулу вводят в дрожжевую клетку (6); там связь между теломерами расщепляется ферментами, и молекула становится линейной (7).

раньше, чем хромосома стабильно присоединится к митотическому веретену.

Эта гипотеза привлекает нас тем, что хорошо объясняет результаты экспериментов с искусственными хромосомами. При репликации кольцевых плазмид независимо от их размеров всегда образуются две замкнутые сестринские молекулы, которые зацеплены, что создает препятствие их расхождению в митозе. Зацепление

же между двумя линейными молекулами может быть устранено просто путем вращения одной молекулы вокруг другой. Даже в отсутствие специальной ферментативной активности линейные сестринские хроматиды могут расплестись, а если они разделяются, исчезнет напряжение нитей веретена, необходимое для правильной сегрегации. Чем короче хромосома, тем легче расплетаются сестринские хроматиды, и тем менее вероятна

правильная их сегрегация. Напряжение нитей митотического веретена отсутствует и в том случае, если репликация хромосомы не произошла или если одна из пары сестринских хроматид утрачена; одиночная хроматида, не имея противодействующего партнера, не может присоединиться к митотическому веретену. Обе возможности согласуются с нашими данными о частоте ошибок сегрегации типа 1:0 и 2:0.



ЗАЦЕПЛЕНИЕ двойных спиралей ДНК может объяснить, почему при митозе сестринские хроматиды вначале удерживаются вместе. Зацепление возникает во время репликации хромосомы (новые цепи ДНК показаны пунктиром). Ферменты, расплетающие исходную двойную спираль, отделяются от нее, когда растущие концы двух сегментов новосинтезированной ДНК (стрелки) разных цепей сближаются (1—3); в результате хроматиды оказываются закру-

ченными относительно друг друга (4). Когда к центромерам присоединяются нити митотического веретена (5) и начинают тянуть сестринские хроматиды в противоположные стороны, из-за зацепления появляется напряжение (6). Другие ферменты на короткое время образуют разрывы в местах зацеплений в одной из хроматид, и те получают возможность разделиться (7).

НАШИ НАБЛЮДЕНИЯ позволяют также предположить, что клетки обладают механизмами, контролирующими сегрегацию хромосом. Мы обнаружили, например, что в штаммах дрожжей, содержащих короткую искусственную хромосому, многие делящиеся клетки морфологически ненормальны: дочерние клетки вырастают до размеров материнской, прежде чем окончательно разделяются. В норме же дочерние клетки разделяются, когда одна приблизительно вдвое меньше другой (см. рисунок на с. 26). Как показал анализ точности сегрегации, более чем в 90% таких делений происходят ошибки сегрегации. По-видимому, необычный внешний вид этих клеток отражает тот факт, что их митоз на время приостанавливается. Клетка «замечает» нарушение сегрегации и откладывает завершение митоза, ожидая, пока проблема разрешится сама собой. А отпочковывающаяся клетка продолжает расти.

Искусственные хромосомы сослужили хорошую службу в изучении факторов, определяющих поведение хромосом при митозе. И есть надежда узнать еще больше, когда метод их получения будет усовершенствован и его можно будет применять шире. В настоящее время мы и другие исследователи используем искусственные хромосомы для изучения мейоза — процесса клеточного деления, при котором образуются половые клетки высших организмов. Эти работы, возможно, углубят понимание генетических нарушений, связанных с ненормальным наследованием хромосом, например синдрома Дауна.

Уже созданы искусственные хромосомы для клонирования генов человека в клетках дрожжей; клонирование осуществили Д. Берк, Дж. Карл и М. Олсон из Медицинской школы Висконсинского университета. В данном случае искусственные хромосомы выступили просто в роли векторов для сохранения и размножения генов человека, чтобы их можно было переносить в другие клетки и исследовать. Берк и его сотрудники ожидают, что искусственные хромосомы смогут содержать гены длиной более 50 тыс. пар оснований; тем самым будет удовлетворена потребность в векторе, способном включать в себя крупные гены или группы генов, которые играют важную роль в генетике человека и животных. Быть может, в области генетической инженерии искусственные хромосомы позволят выйти на новый уровень и станут возможным тонкий контроль активности генов.

Издательство МИР предлагает:

Д. Мак-Фарленд

ПОВЕДЕНИЕ ЖИВОТНЫХ

Перевод с английского



Книга английского автора — современное, увлекательно написанное руководство по поведению животных. Отличие данной книги от других подобных изданий — в сбалансированном освещении различных аспектов поведения: зоологического, физиологического и психологического.

Содержание: Эволюция поведения (генетика; естественный отбор; эволюция и социальное поведение). Механизмы поведения (физиология органов чувств; координация и ориентирование; поддержание гомеостаза; физиология и пове-

дение в изменчивых условиях среды; научение). Сложные формы поведения (инстинкт; механизмы принятия решений; проявления рассудочной деятельности).

Положительное качество этой книги — ее универсальность. Это и учебник для студентов-биологов, это и научное пособие для специалистов, начинающих заниматься поведением животных.

Предназначена для этологов, психологов, физиологов, зоологов, студентов-биологов, для всех, кто интересуется проблемами высшей нервной деятельности.

1988, 45 л. Цена 3 р. 45 к.



50 и 100 лет назад

SCIENTIFIC
AMERICAN

НОВАБРЬ 1937 г. Как часто подчеркивают астрономы, мы можем наблюдать на небосводе лишь то, что «позволяет» земная атмосфера. Но вот майор А. Стивенс, член экспедиции по изучению солнечного затмения, поднявшись на самолете на высоту 8 км (за пределы нижнего слоя атмосферы), сфотографировал во время затмения корону нашего светила и впервые обнаружил, что она представляет собой не просто зубцеобразные «потоки», истекающие из Солнца, а окружающий все Солнце слой толщиной много миллионов километров.

Сегодня, когда творения человеческих рук становятся все более грандиозными, растут размеры и научной аппаратуры. «Чемпионом» остается, безусловно, 5-метровый телескоп: он в несколько раз превосходит по весу самые тяжелые инструменты, предназначенные для чисто научных изысканий. Вес этого телескопа — 500 т. Другой гигант — «разбиватель атомов» строится компанией Westinghouse Electric & Manufacturing Company. Он поднимется над землей на высоту двухэтажного дома и будет весить около 100 т.

Если соевую муку, из которой путем экстрагирования растворителями извлечено все масло, затем растворить в воде, то полученную смесь можно сбить в плотную пену, очень напоминающую яичный белок. Белки, содержащиеся в соевых бобах, обходятся в 10 раз дешевле, чем белки яиц или молока (которые близки к белкам сои по своим пищевым качествам), поэтому сейчас предпринимаются попытки заменить соей эти более дорогие продукты питания.

Не знающая усталости автоматическая машина, которая «видит» лучше орла, «слышит» лучше зайца и обладает исключительно развитым «осознанием», запущена в работу на заводах Форда. Она предназначена для контроля за качеством толкателей клапанов — небольших деталей автомобильного двигателя, которые должны изготавливаться с высокой точностью. Необычное устройство, снабженное фотоэлектрическими элементами и радиоэлектронными усилителями, проверяет толкатели на

твердость, ищет скрытые дефекты и контролирует размеры деталей.



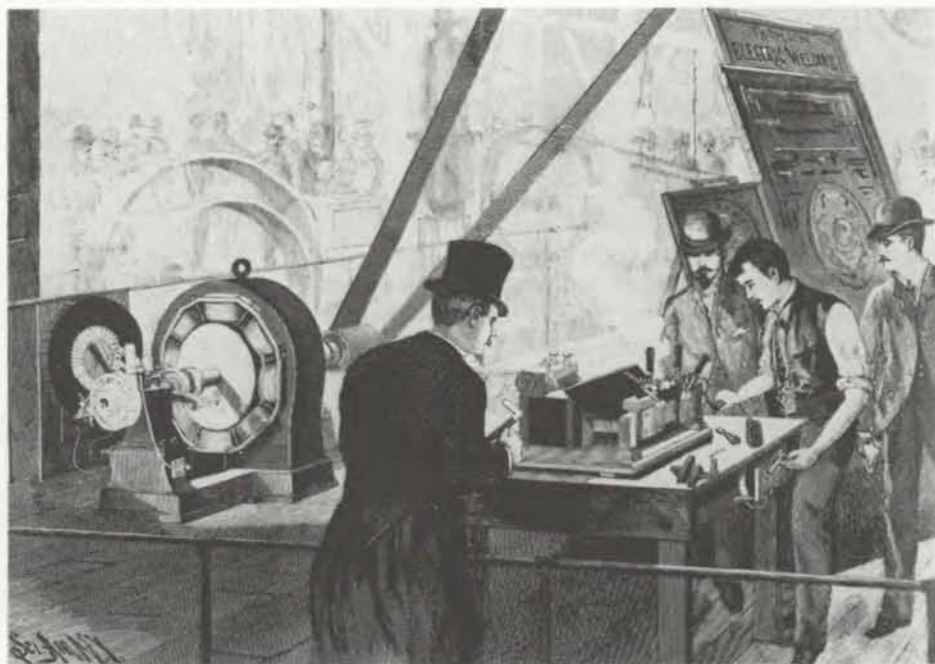
НОВАБРЬ 1887 г. Русская газета «Каспий» сообщает интересные подробности об одном из крупнейших в мире нефтяных фонтанов, который забил неподалеку от Баку и в буквальном смысле угрожает затопить окрестности. Под давлением газа столб нефти поднимается на высоту от 80 до 130 м. Часть нефти относится ветром на большое расстояние, где она выпадает на землю в виде морозящего дождя. Вблизи скважины нефть льет потоком, образуя нефтяные реки и ручьи. Немного поодаль выпадения, напоминающие дождь со снегом, ложатся сплошным слоем на здания.

На недавно состоявшемся собрании геологического отделения Британской ассоциации был прочитан доклад об экспериментальной проходке, предназначенной для туннеля между Дувром и Кале, расстояние между которыми составляет 34 км. Работы были остановлены английским правительством. Уже прорыт ход диамет-

ром 3,5 м и длиной 2 км, большая часть которого лежит ниже морского дна. Основной объем работ был выполнен пять лет назад. Бурение велось в слое мела, и поэтому ход остается совершенно сухим.

В наше время, когда обычным стало применение динамо-машин и электрических моторов, возникла задача создания часов, которые бы «не боялись» самых сильных магнитов. С появлением динамо-машин, когда многие часы оказались намагниченными, стали разрабатываться и методы их размагничивания. В конце концов, чтобы избежать такого неудобства, вошло в привычку, входя в помещение, где находятся динамо-машины, оставлять часы за дверью. Решение нашел Ж. Пэйяр, изобретатель из Женевы, который предложил использовать палладий для изготовления деталей часового механизма, которые обычно делаются из стали.

Открытие электрической индукции и последовавшие за этим изобретения, позволившие создать устройства по превращению механической энергии в электрическую, сделали возможным применение электрического освещения и множество других приложений. Среди них одно из последних и наиболее интересных — это электрическая плавка, изобретенная профессором Э. Томсоном из Линна (шт. Массачусетс).



Электрическая плавка металлов демонстрируется на технической выставке в Нью-Йорке

Синхротронное излучение

Тонкий, как нить, пучок электронов, траектория которого искривляется в магнитной системе накопительного кольца, является самым ярким источником ультрафиолетового света и рентгеновских лучей. Уникальные свойства этого излучения открывают новые перспективы его использования в науке и технике

ГЕРМАН ВИНИК

ДВАДЦАТЬ лет назад во всем мире, наверное, не нашлось бы и 50 человек, использующих в своей работе особый вид электромагнитного излучения, которое рождается в синхротронах и других циклических ускорителях электронов. Хотя оно достаточно интенсивно, сильно поляризовано и содержит широкий континуум длин волн, большинство ученых рассматривали его тогда как досадную помеху, поскольку потери на излучение затрудняют ускорение электронов до более высоких энергий и удорожают проведение экспериментов. Немногочисленные исследования проводились лишь в рамках «паразитных» программ с использованием излучения, возникающего побочно в экспериментах по физике элементарных частиц.

В настоящее время общепризнано, что этот вид излучения, получивший название синхротронного, обладает уникальными научными и технологическими возможностями. В спектре электромагнитных волн оно охватывает область от инфракрасных до гамма-лучей и в то же время является наиболее мощным источником рентгеновских лучей и вакуумного ультрафиолета среди источников с непрерывным спектром. (Название «вакуумный ультрафиолет» обусловлено тем, что в связи с сильным поглощением в любой среде такие волны могут распространяться лишь в вакууме.) К числу преимуществ следует отнести также импульсный характер, высокую степень коллимации и частичную когерентность синхротронного излучения. Благодаря всем этим свойствам оно представляет универсальное аналитическое средство для фундаментальных и прикладных исследований в физике, химии, биологии и других областях.

Применение синхротронного излучения не ограничивается научными лабораториями. Например, для полу-

чения изображений кровеносных сосудов с успехом используются селективные радиографы, которые можно «настроить» на определенные химические элементы при выделении из рентгеновского излучения с непрерывным спектром отдельных длин волн. Мощные рентгеновские лучи от источников синхротронного излучения можно использовать также при травлении элементов интегральных схем, меньших длины волны видимого света.

Поэтому не удивительно, что в настоящее время многие циклические ускорители электронов полностью или частично отданы для работы в качестве источников синхротронного излучения. Чаще всего для этих целей используют синхротроны (за короткое время разгоняющие электроны до больших энергий) и накопительные кольца (в которых пучок высокоэнергичных электронов может циркулировать часами). На установках такого типа ведут исследования во многих странах более 5000 ученых: пользователи синхротронного излучения, находившиеся на положении «бедных родственников», превратились в полновластных хозяев этих мощных генераторов. Однако для удовлетворения растущих потребностей ученых и инженеров из университетов, национальных лабораторий и промышленных предприятий необходимо больше источников и с более высокой интенсивностью.

Чтобы расширить доступ к источникам, открываются новые линии, по которым излучение каналируется из накопительного кольца к экспериментальным станциям, и используются магнитные устройства, получившие название вигглеров и ондуляторов, которые значительно увеличивают интенсивность излучения. Наряду с этим строятся новые установки, начиная от компактных сверхпроводящих приборов, которые могут уместиться

в достаточно большой жилой комнате, и кончая накопительными кольцами, окружность которых достигает километра. С их помощью могут проводить эксперименты тысячи специалистов.

Несмотря на большие размеры источников синхротронного излучения, экспериментальные станции, расположенные на концах выводных каналов, по размерам мало отличаются от установок, которые обычно встречаются в небольших лабораториях. Поэтому одним источником могут пользоваться сразу несколько научных групп. Обычно такая группа состоит из трех—пяти сотрудников, которые в состоянии провести основные измерения примерно за неделю (при этом стоимость оборудования не превышает 100 000 долл.).

Механизм излучения

Любая заряженная частица при ускоренном (или замедленном) движении излучает электромагнитные волны. Например, источником радиоволн являются осцилляции электронных токов в антенне, частота которых соответствует данной части электромагнитного спектра. Поскольку всякое криволинейное движение является ускоренным, электроны, движущиеся по окружности, также являются источниками излучения. При небольших скоростях (много меньше скорости света) они излучают волны почти во всех направлениях, причем это излучение имеет очень малую интенсивность, максимум которой приходится на длинноволновую область спектра. Интенсивность, направленность и частота излучения резко возрастают, если движение происходит с релятивистскими (близкими к световой) скоростями.

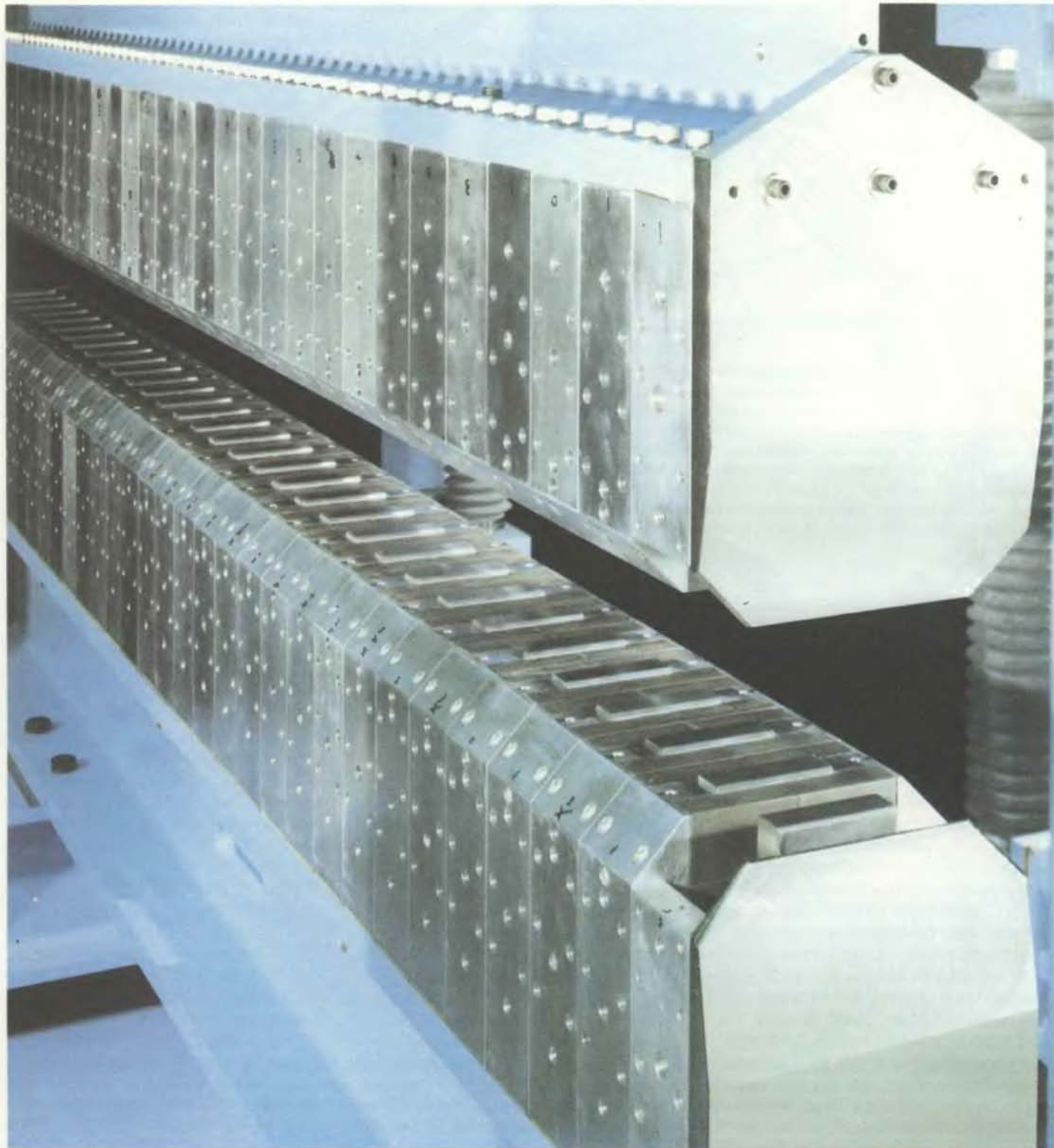
В синхротронах и накопительных кольцах мощные магниты заставля-

ют релятивистские электроны двигаться по круговым орбитам, поэтому они и являются источниками электромагнитного излучения. (Такой механизм генерации впервые был обнаружен в 1947 г. на синхротроне фирмы General Electric Company, отсюда и пошло название излучения.) В синхротроне низкоэнергичные элек-

троны разгоняются до высоких энергий и затем сталкиваются с мишенью. Частота повторения этого процесса 50—60 Гц. В накопитель инжектируются уже ускоренные электроны, энергия которых равна или немного меньше рабочей энергии кольца. В последнем случае сразу после инжектирования кольцо работает как синхро-

трон и повышает их энергию до нужной величины, а затем электронный пучок с постоянной энергией в течение длительного времени циркулирует в кольце.

Основным элементом синхротронов и накопителей является вакуумированная кольцевая камера, вдоль которой установлены фокусирующие и



ВИГГЛЕР заставляет электроны, циркулирующие в вакуумированной трубе, на которой он установлен, интенсивно испускать ультрафиолетовое и рентгеновское излучение. Данное устройство, разработанное и построенное в Лаборатории им. Лоуренса в Беркли, состоит из тридцати пар постоянных магнитов. Установка эксплуатируется рядом

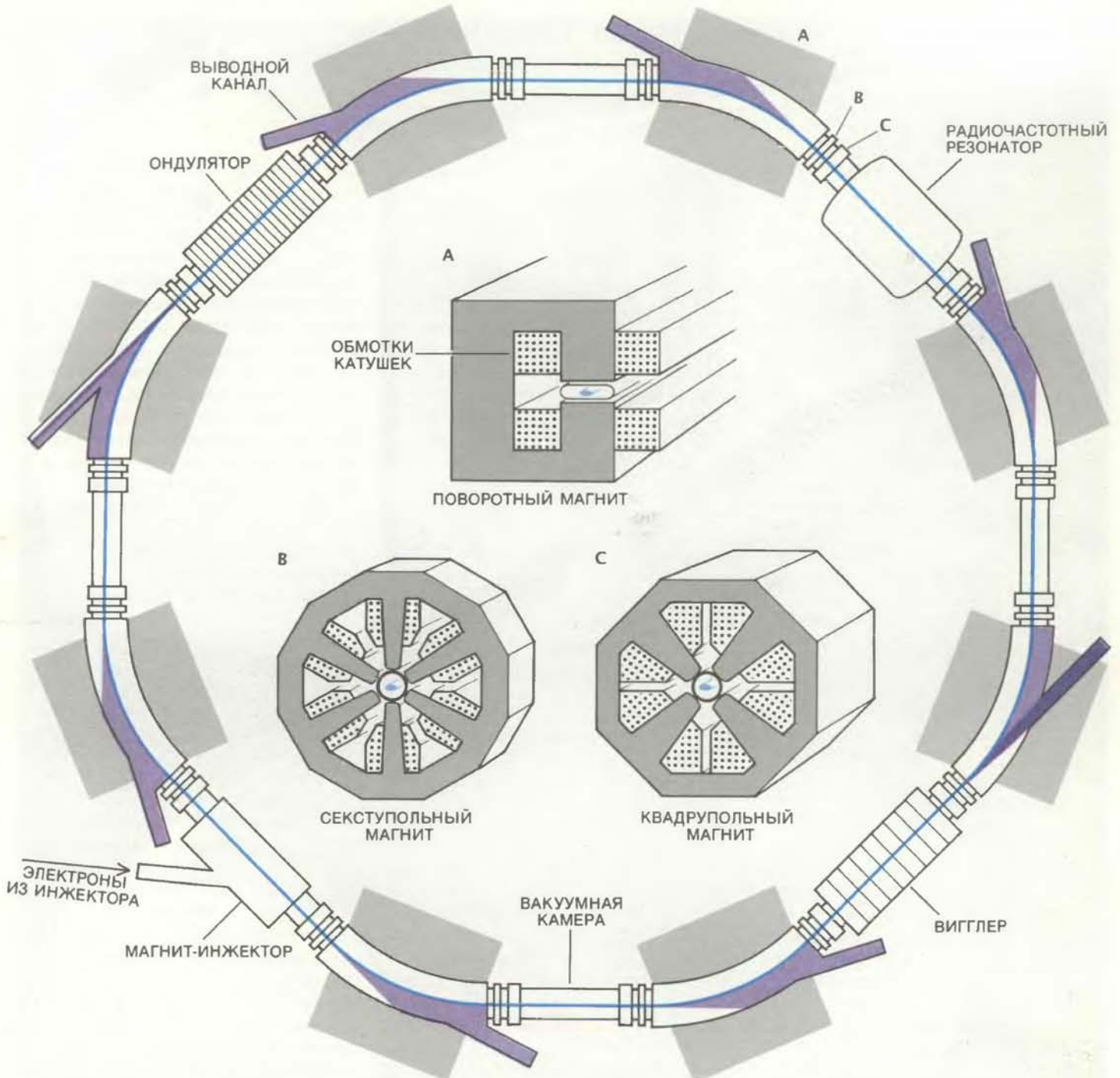
организаций, куда входят национальные лаборатории (возглавляемые Ливерморской национальной лабораторией им. Лоуренса), различные отделы системы Калифорнийского университета, а также Станфордская лаборатория синхротронного излучения.

поворотные магниты. Фокусирующие мультиполюсные магниты формируют неоднородное поле, которое действует на электроны как линза, стягивающая их в узкий пучок, движущийся по оси камеры. Поворотные магниты обычно создают однородное магнитное поле под прямым

углом к направлению движения электронов. Такое поле искривляет их траекторию. Таким образом, электроны обычно двигаются не по окружности, а по траектории, которая состоит из нескольких дуг окружности, находящихся в местах расположения поворотных магнитов и соеди-

ненных прямолинейными секциями. Синхротронное излучение, рождающееся на криволинейных участках траектории, выводится затем из камеры по тангенциально расположенным каналам (см. рисунок внизу).

Кольцевая камера, кроме того, проходит через один или несколько резонан-



НАКОПИТЕЛЬНОЕ КОЛЬЦО, предназначенное для получения синхротронного излучения, состоит из кольцевой вакуумированной камеры, в которой циркулирует электронный пучок (синий цвет). Переменное электромагнитное поле, созданное в радиочастотном резонаторе, дает энергию, необходимую для поддержания движения частиц, инжектированных в кольцо из внешнего ускорителя (на рисунке не показан) с релятивистскими (близкими к скорости света) скоростями. Квадрупольные и секступольные фокусирующие магниты стягивают электроны в узкий пучок посредством магнитных полей, создаваемых соответствен-

но четырьмя или шестью полюсами, расположенными по радиусам вокруг вакуумированной камеры. Поворотные магниты искривляют траекторию электронного пучка и заставляют частицы испускать синхротронное излучение (фиолетовый цвет). На накопительном кольце установлены также другие магнитные устройства, называемые вигглерами и ондуляторами, существенно повышающие яркость излучения, которая является мерой его «концентрации». Трубы, которые называют выводными каналами, направляют излучение из различных магнитных устройств к экспериментальным станциям.

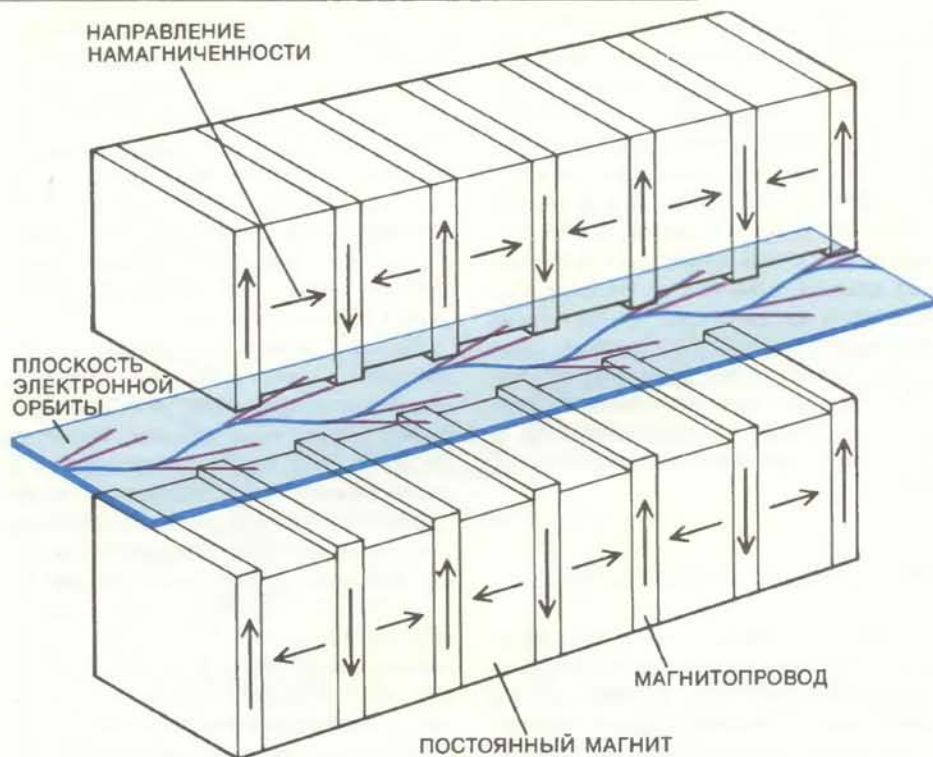
наторов, в которых создается осциллирующее с радиочастотой электромагнитное поле. Это поле восполняет потери энергии на синхротронное излучение, а при необходимости может и поднять энергию электронов. После прохождения радиочастотного резонатора пучок разбивается на «сгустки», длина которых составляет обычно несколько сантиметров.

Накопительное кольцо по сравнению с синхротроном позволяет получить более стабильный электронный пучок, более стабильный спектр и интенсивность излучения, поэтому как источник излучения оно предпочтительнее. Переход от синхротронов к накопителям как генераторам излучения начался в 1968 г., когда Э. Роуз и его коллеги приспособили для этих целей накопительное кольцо «Tantalus» Висконсинского университета.

Свойства излучения

Синхротронное излучение независимо от метода генерации имеет характерные свойства. На некоторые из них указывал А. Льенард еще в 1898 г. В заданный момент времени отдельный электрон, движущийся по искривленной траектории в поле поворотного магнита, излучает в основном вперед, в конус с очень маленьким углом раствора. Этот угол, соответствующий естественной расходимости излучения, численно примерно равен отношению энергии покоя электрона (ее значение дается знаменитой формулой Эйнштейна $E = mc^2$) к его полной энергии, которая включает как энергию покоя, так и кинетическую энергию. Энергия электрона обычно измеряется в электронвольтах (1 эВ равен энергии, приобретаемой электроном при прохождении в вакууме разности потенциалов 1 В). Энергия покоя электрона равна примерно 0,5 МэВ (миллион электронвольт), поэтому, если электрон имеет полную энергию, например 5 ГэВ (миллиард электронвольт), то угол естественной расходимости испускаемого синхротронного излучения составляет всего лишь 0,0001 радиана, или примерно 0,006 град. Практически это пучок параллельных лучей — его геометрические параметры близки к параметрам узких пучков лазеров.

При движении электрона по дуге внутри поворотного магнита вместе с ним движется и ось конуса, в который он излучает. В горизонтальной плоскости пучок излучения «расплывается» в довольно широкую полосу с угловой расходимостью порядка нескольких градусов, хотя угол верти-



МАГНИТНОЕ УСТРОЙСТВО, например вигглер или ондулятор, является гораздо более ярким источником излучения по сравнению с поворотным магнитом. Электроны внутри него двигаются не по дуге окружности, а по синусоидальной траектории вследствие создания конфигурации знакопеременных магнитных полей, перпендикулярных направлению движения. Вигглер увеличивает яркость излучения, испускаемого одним электроном, примерно в $2N$ раз, где N — число полных осцилляций электронного пучка внутри прибора. Отклонение пучка от оси в ондуляторе меньше, чем в вигглере, и теоретически он может давать яркость в N^2 раз выше, хотя электроны в нем излучают в основном фотоны дискретных энергий.

кальной расходимости остается очень малым. Чтобы собрать максимально возможное число фотонов из такого пучка и доставить их к аппаратуре, находящейся на конце выводного канала, используют зеркала и другие оптические устройства.

Синхротронное излучение имеет и другие уникальные свойства, которыми не обладают обычные источники вакуумного ультрафиолета (например, газоразрядные лампы) и рентгеновских лучей (например, обычные рентгеновские трубки, в которых излучение образуется при соударении электронов с мишенью из материала с высокой плотностью). В частности, синхротронное излучение сильно поляризовано, т. е. электрическое поле испускаемой электромагнитной волны осциллирует в основном в плоскости орбиты электронного пучка. Кроме того, излучение носит импульсный характер, поскольку электронный пучок разбит на следующие друг за другом сгустки. Импульсы излучения можно сделать очень короткими, всего лишь 0,2 наносекунды ($1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$). В зависимости от размеров кольца и числа движущихся электронных сгустков частота повторения

импульсов меняется от 100 тыс. до 500 млн. раз в секунду.

Спектры рентгеновского и вакуумно-ультрафиолетового излучения от накопительных колец и обычных источников также существенно отличаются. Газоразрядные лампы и рентгеновские трубки дают в основном излучение с дискретным спектром, т. е. несколько линий (длин волн), наложенных на очень слабый непрерывный фон, в то время как синхротронное излучение характеризуется высокой интенсивностью в пределах широкого континуума длин волн.

Обычно экспериментатору нужна лишь узкая полоса (узкий диапазон длин волн) из широкого спектра синхротронного излучения. Для заданной полосы поворотные магниты накопителей могут давать в 1000 раз больше фотонов, чем обычные источники вакуумного ультрафиолета и рентгеновского излучения. Эта характеристика — число фотонов, испускаемых в секунду в заданной полосе, — называется потоком излучения. Но часто более важна другая характеристика источника — яркость (иногда ее называют светимостью), которая равна потоку излучения, испускаемо-

го в единичный телесный угол единичной поверхности источника. Она служит приблизительной мерой «концентрации» излучения. Синхротронное излучение характеризуется чрезвычайно высокой яркостью, так как большой поток излучается в малый телесный угол электронным пучком, имеющим очень небольшое поперечное сечение (обычно не больше квадратного миллиметра). Синхротронное излучение от поворотных магнитов накопителей примерно в миллион раз ярче, чем излучение от других источников в рентгеновском и вакуумно-ультрафиолетовом диапазонах.

Вигглеры и ондуляторы

Поток и яркость синхротронного излучения можно еще увеличить, если заставить электроны колебаться при движении в накопительном кольце. Для этого предназначены вигглеры и ондуляторы — магнитные устройства, которые устанавливаются на прямолинейных участках между поворотными магнитами накопителей. Основой их конструкции служат два ряда магнитов (набор магнитных диполей), которые создают чередующиеся по знаку магнитные поля, направленные перпендикулярно электроно-

му пучку. Знакопеременные магнитные поля заставляют его «качаться» вверх-вниз или из стороны в сторону. В результате внутри устройства электроны двигаются по синусоиде. Поскольку траектория каждого электрона искривляется, он излучает электромагнитные волны по той же причине, что и при прохождении через поворотный магнит, когда электрон движется по окружности.

Разница между вигглером и ондулятором заключается в величине углового отклонения, вызываемого одним магнитным диполем. В вигглере этот угол велик по сравнению с естественной расходимостью испускаемого синхротронного излучения. Это приводит к непрерывному спектру, близкому к спектру излучения от поворотного магнита с той же напряженностью поля. (Чем сильнее магнитное поле, тем дальше спектр «тянется» в сторону высоких энергий.) Однако вигглер имеет больший поток и яркость излучения. Отношение этих параметров для вигглера и поворотного магнита равно числу магнитных диполей или удвоенному числу полных осцилляций электронного пучка внутри вигглера.

В ондуляторе угловое отклонение, вызываемое одним магнитным диполем, меньше или близко естественной расходимости излучения. В данном

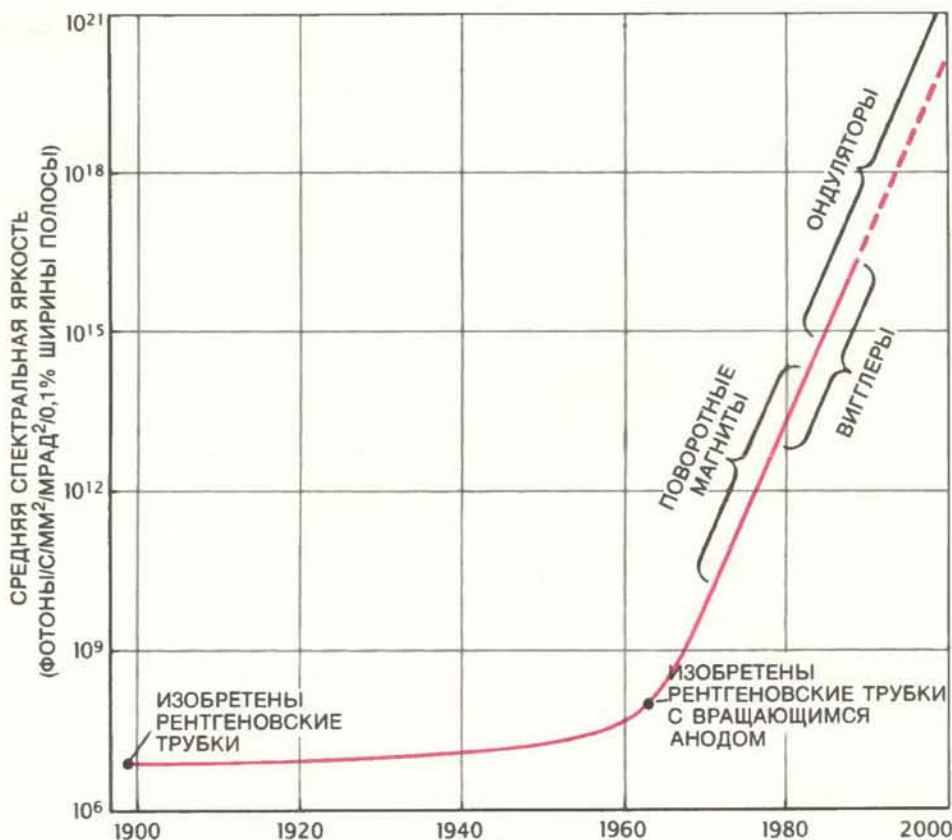
случае электромагнитные волны, испускаемые каждым электроном, могут усиливать или подавлять друг друга, что приводит к стимулированию излучения с определенными длинами волн в определенных направлениях. При таком стимулированном излучении вся мощность концентрируется на частотах, где происходит усиление. Кроме того, степень когерентности ондуляторного излучения пропорциональна его яркости. Мерой когерентности пучка служит контрастность интерференционных картин, полученных от волн, которые пришли из различных точек или в различные моменты времени.

Для идеального электронного пучка (пучка, очень малого сечения, в котором нет «расталкивания») отношение яркостей излучения от ондулятора и поворотного магнита равно квадрату числа полных осцилляций. В настоящее время уже построен ондулятор, в котором электронный пучок совершает 60 осцилляций. В ближайшем будущем появятся установки, имеющие несколько сотен магнитных диполей.

Первый вигглер для получения синхротронного излучения был установлен в накопительном кольце SPEAR (на 4 ГэВ) Станфордской лаборатории синхротронного излучения (СЛСИ). В нем было шесть магнитных диполей, которые давали три полные осцилляции электронного пучка. Катушки вигглера могли поддерживать пиковые магнитные поля, более чем в два раза превосходящие поле поворотных магнитов накопительного кольца.

Хотя ондуляторы изучались уже в 50-х годах на линейных ускорителях в Станфордском университете и в 70-х — на синхротронах в СССР, главная цель исследований в то время сводилась к проверке принципов их работы, и они в основном давали излучение видимого диапазона. Разработка ондуляторов, генерирующих излучение вакуумно-ультрафиолетового и рентгеновского диапазонов, сдерживалась вплоть до 1979 г., поскольку считалось, что необходимое для таких устройств магнитное поле могут создать лишь сложные и дорогостоящие сверхпроводящие системы; обычные катушки сильно перегреваются.

Положение изменилось после появления пионерской работы К. Хальбаха из Лаборатории им. Лоуренса в Беркли (ЛЛБ). Хальбах показал, что для создания знакопеременных полей вместо катушек можно использовать сильные постоянные магниты, изготовленные из редкоземельных элементов и кобальта. В таких устройствах при пропорциональном уменьшении всех линейных размеров напряженность поля в зазоре между полю-



ИНТЕНСИВНОСТЬ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, доступная исследователям, увеличилась во много раз с момента открытия источников синхротронного излучения. Самыми яркими источниками являются ондуляторы, установленные на накопительных кольцах.

сами магнитов остается неизменной. Следовательно, на их основе можно создать ондуляторы с малым расстоянием между диполями (т. е. на единице длины электрон будет совершать большее число осцилляций), в то время как устройства на электромагнитах при уменьшении линейных размеров довольно быстро начинают перегреваться. Появление работы Хальбаха означало, что открыт путь для создания довольно простых и экономичных установок, пригодных для использования в качестве источников синхротронного излучения вакуумно-ультрафиолетового и рентгеновского диапазонов.

В конце 1980 г. совместными усилиями специалистов ЛЛБ и СЛСИ был построен и установлен на накопительном кольце SPEAR первый ондулятор — источник рентгеновского излучения. Он давал поток фотонов с энергией 1 кэВ (1000 электронвольт), а его яркость более чем в 100 раз превосходила яркость излучения от поворотного магнита кольца. В 1981 г. этот ондулятор впервые был использован как источник излучения. Для выделения узкой полосы из спектра применялась дырочная диафрагма (отверстие размером с булавочный прокол). Принцип ее работы заключается в использовании естественной корреляции между длиной волны и углом испускания ондуляторного излучения. Прибор давал фотонов на 4 порядка величины больше, чем использовавшийся до него источник излучения с поворотными магнитами. Аналогичная установка примерно в то же время была создана Г.Н. Кулипановым и Н.В. Винокуровым из Института ядерной физики СО АН СССР (г. Новосибирск).

Успешные испытания нового устройства явились мощным стимулом для СЛСИ и других лабораторий в разработке и строительстве вигглеров и ондуляторов на уже существующих накопителях. В настоящее время в мире около 20 таких приборов используется в качестве источников излучения, еще больше строится. Основные усилия прилагаются для создания сверхмощных систем на больших установках, таких как фотонная фабрика в Японии и национальный источник синхротронного излучения в Брукхейвене, специально предназначенных для этих целей.

Научные приложения

Усовершенствованные источники синхротронного излучения позволяют проводить многочисленные научные исследования. Это излучение можно успешно использовать для изучения

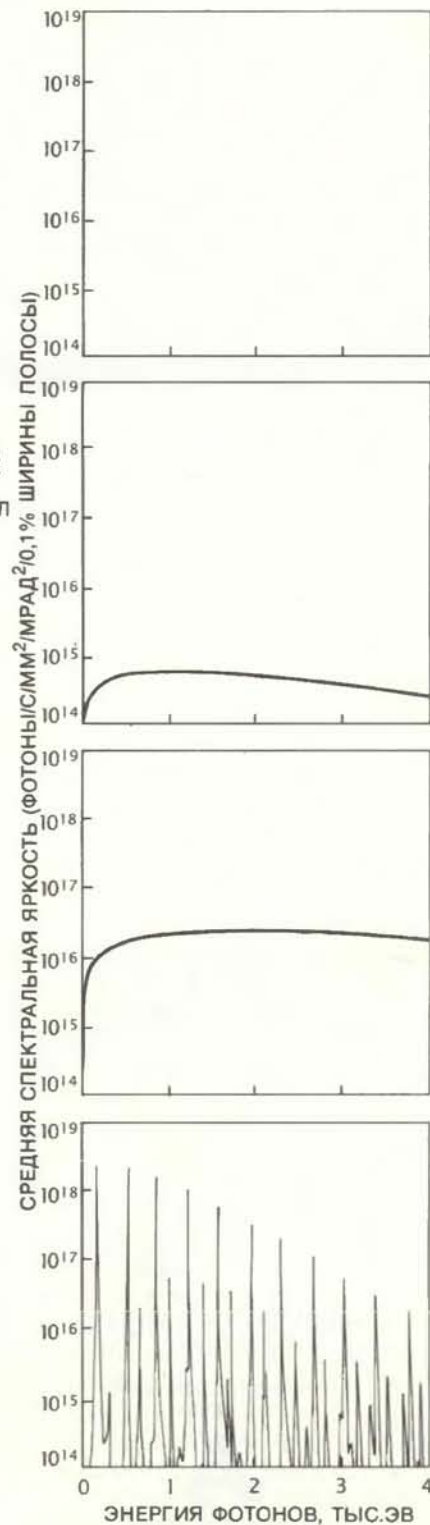
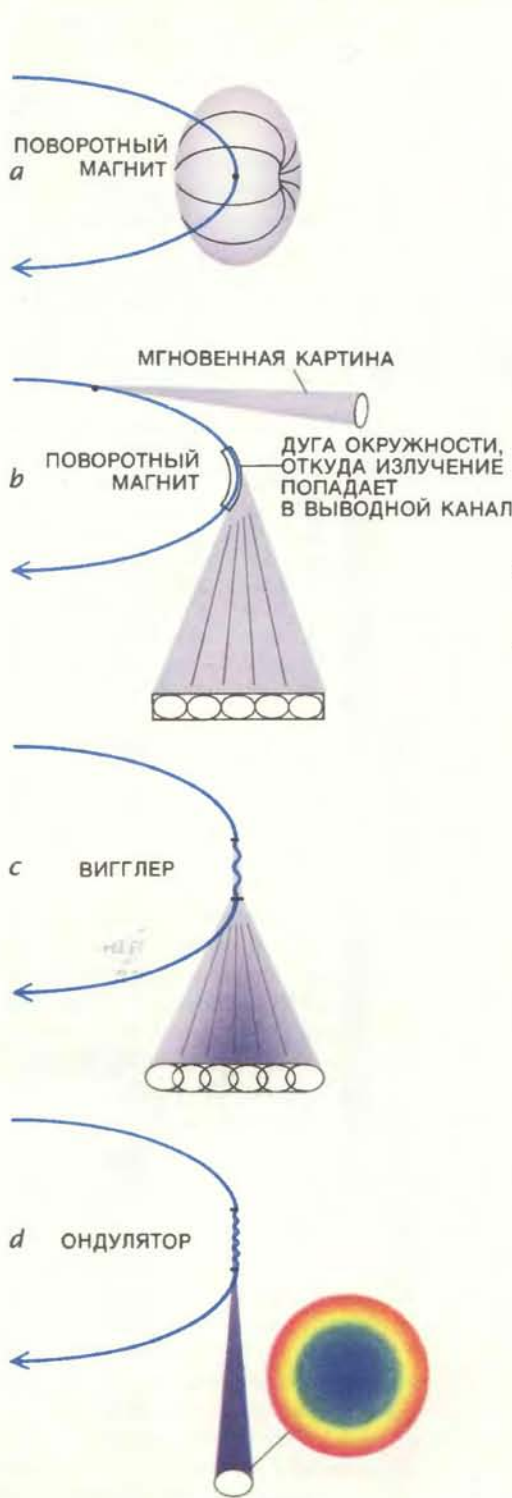


ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР испускаемых из накопительного кольца фотонов зависят от скорости электронов и прибора, внутри которого они излучают. Если электроны проходят через поворотный магнит со скоростями, много меньшими скорости света (а), то они излучают почти во всех направлениях, но излучение настолько рассеяно и интенсивность его настолько мала, что на приведенном графике оно даже не заметно. Электроны, двигающиеся внутри поворотного магнита с релятивистскими скоростями (b), дают гораздо более интенсивное излучение, максимум которого сдвинут в сторону более высоких энергий. Все фотоны испускаются в узкий конус, ось которого направлена по касательной к траектории электрона. Поскольку она совпадает с направлением скорости электрона, при его движении пучок излучения прочерчивает узкую горизонтальную полосу. Релятивистские электроны в вигглере (c) дают подобный, но гораздо более интенсивный пучок; усиление интенсивности связано с интерференцией волн, испускаемых электронами на каждом периоде синусоиды. Пучок излучения из ондулятора (d) лучше сфокусирован, и поэтому имеет большую яркость. Вследствие интерференционных эффектов фотоны различных энергий (показаны разными цветами) излучаются под характерными углами к оси пучка. Это позволяет для выделения фотонов определенной энергии использовать простейшую диафрагму.

структуры веществ, поскольку длины волн вакуумно-ультрафиолетового и рентгеновского диапазонов соответствуют характерным размерам атомов и молекул. Кроме того, с помощью монохроматора из интенсивного широкого спектра можно выделить очень узкую полосу, т. е. источники синхротронного излучения легко «перестраиваются». В области вакуумного ультрафиолета в качестве монохроматора используют обычную дифракционную решетку, представ-

ляющую собой отполированную пластину, на которой процарапано или вытравлено большое число равноудаленных, расположенных близко друг к другу канавок.

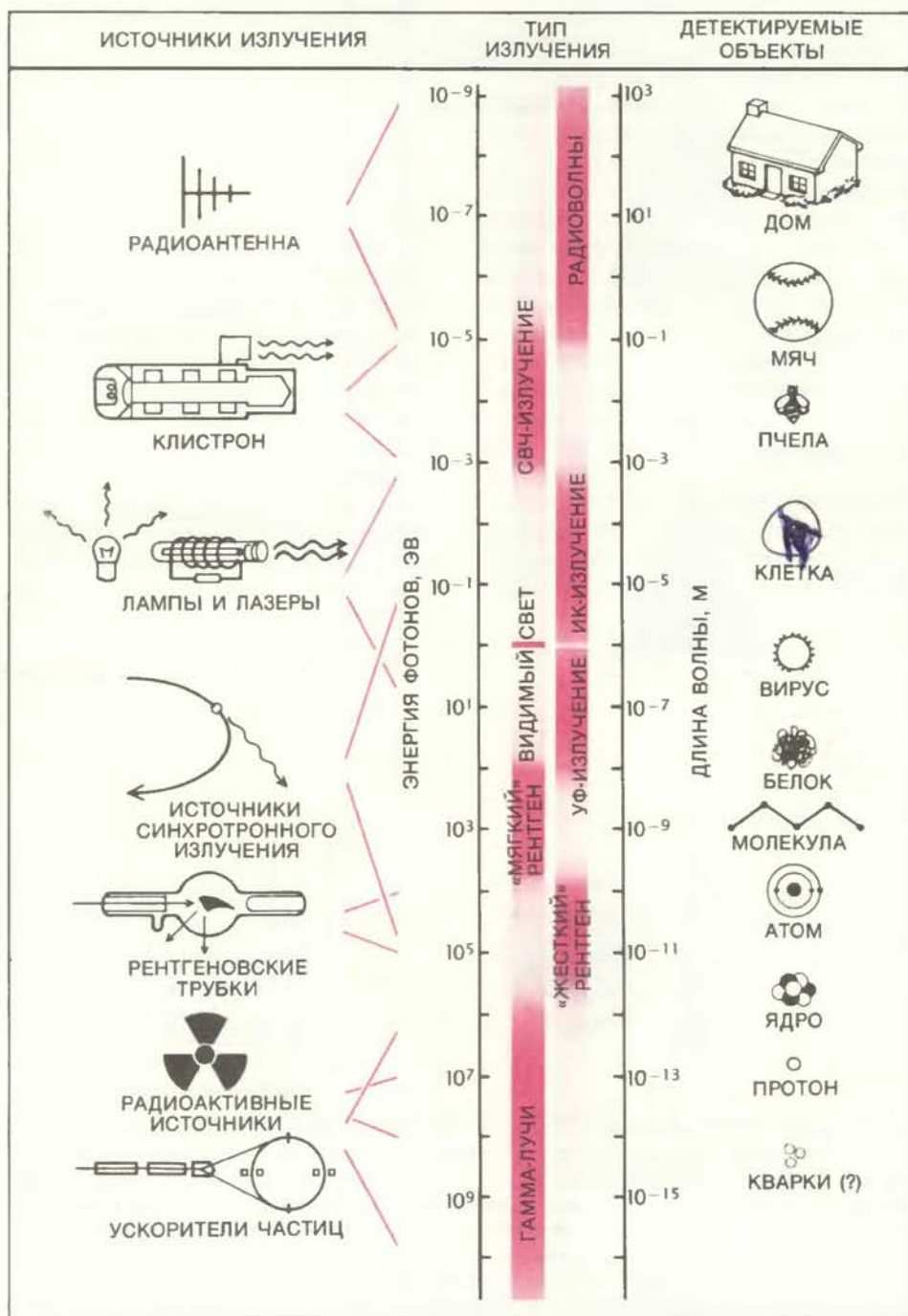
При уменьшении длины волны канавки должны располагаться все гуще и гуще, но расстояние между ними не может уменьшаться беспредельно, поэтому изготовить дифракционные решетки для рентгеновского излучения невозможно. Выход заключается в использовании в качестве монохро-

маторов больших монокристаллов, в которых атомные плоскости образуют естественную дифракционную решетку. При этом электроны атомных оболочек отражают лишь излучение определенной длины волны под определенным углом. Этот процесс называется «брегговское рассеяние». Таким образом, можно получить пучки рентгеновских квантов, энергия которых определена с точностью до сотой, а иногда и тысячной доли процента. Недавно удалось получить еще более монохроматичный пучок, неопределенность его энергии достигла рекордной величины в одну триллионную часть самой энергии. Для этого было использовано рассеяние на ядрах атомов кристаллической решетки (так называемое ядерное брегговское рассеяние). Сам факт, что синхротронно излучение может быть монохроматизировано со столь высокой точностью, значительно расширяет круг явлений, которые можно исследовать с его помощью.

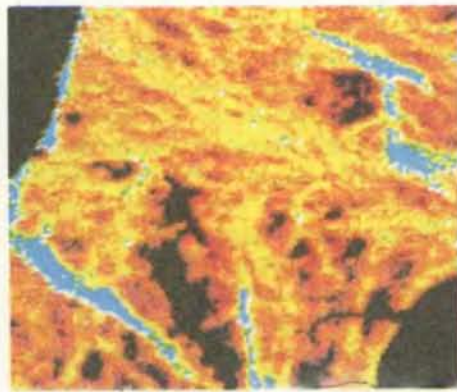
Возможность плавной перестройки энергии позволяет использовать наличие у каждого элемента «края» полосы поглощения. Его появление связано с тем, что электрон на данном энергетическом уровне может поглотить фотон и оторваться от атома, только если энергия фотона будет больше энергии связи электрона в атоме; при этом поглощение излучения резко возрастает.

Непрерывным сканированием энергии фотонов от края полосы поглощения данного элемента до энергий на несколько сотен электронвольт выше можно получить кривые поглощения рентгеновского излучения, которые содержат детальную информацию о локальном окружении атомов в сложных соединениях. Этот метод изучения тонкой структуры поглощения рентгеновского излучения получил название EXAFS (extended X-ray absorption fine structure; см. Edward A. Stern. The Analysis of Materials by X-Ray Absorption, "Scientific American", April 1976). При использовании обычных источников излучения исследование одного образца занимает несколько дней или недель, тогда как источники синхротронного излучения позволяют провести измерения в течение нескольких минут и даже секунд. Поэтому можно изучать гораздо больше образцов, а также многие разбавленные системы и следить за структурными изменениями при протекании химических реакций. Таким образом, при использовании синхротронного излучения метод EXAFS может получить широкое применение в аналитической химии.

Яркий, коллимированный и ста-



В СПЕКТРЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ представлены длины волн или энергии, которые находят наиболее широкое применение в научных исследованиях. Весь спектр может быть покрыт лишь при использовании многих источников электромагнитных волн. Излучение, пригодное для исследования некоторого объекта, должно иметь длину волны, сравнимую с его размерами. Источники синхротронного излучения дают очень яркие пучки в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах, которые используются при исследовании атомных и молекулярных структур.



ИЗОБРАЖЕНИЯ, полученные при помощи синхротронного излучения, демонстрируют его универсальность. Рентгеновское излучение от накопительных колец рассеивается кристаллическим белком и дает дифракционную картину (слева), которая регистрируется на пленке. Такие дифракционные картины содержат информацию о структуре кристалла. (Светлые штрихи обусловлены вращением кристалла во время экспозиции.) Поскольку каждый край полосы поглощения, «перестраиваемое» синхротронное излучение позво-

ляет получать поэлементные изображения объектов. Изображение, полученное методом сканирующей рентгеновской микрографии (в центре), показывает распределение кальция в образце кости, взятом из человеческого черепа. Это же свойство рентгеновского излучения используется и в рентгеновской микротомографии, позволяющей по нескольким проекциям восстановить двумерное изображение среза образца. Справа представлено такое изображение, на котором выявляется внутренняя микроструктура большого куска угля в поперечном сечении.

бильный пучок синхротронного излучения, который при необходимости можно настроить на любую длину волны, позволил создать рентгеновскую микротомографию. Этот метод появился также недавно. С его помощью можно получать микроскопические изображения поперечных срезов небольших образцов. Достижимое при этом разрешение составляет чуть больше 1 мкм (миллионная доля метра) — это в 1000 раз лучше, чем для обычных томографов. Подбирая энергию рентгеновского излучения выше и ниже определенного края полосы поглощения, можно получить изображения, обработка которых дает карты распределения соответствующих элементов по образцу.

При исследовании магнитных свойств материалов и фазовых переходов в двумерных поверхностных слоях и пленках жидких кристаллов более эффективны эксперименты по дифракции (рассеянию) рентгеновских лучей. В обоих случаях представляющие интерес эффекты очень малы, и лишь излучение очень высокой интенсивности дает достаточное число рассеянных фотонов. Из углов рассеяния и их энергии можно получить информацию о структуре исследуемых систем. Эти и другие методы с использованием рентгеновских лучей открывают новые возможности для изучения атомной структуры конденсированных сред.

Не менее ценны и другие характерные свойства синхротронного излучения. Например, с помощью поляризованного пучка такого излучения можно определять ориентацию адсорбированных на поверхности молекул, так как вероятность того, что элек-

трон молекулы поглотит фотон, зависит от ориентации молекулы относительно направления поляризации падающего фотона. Данные, полученные из таких измерений, очень важны, например, при изучении коррозии материалов или каталитических процессов рафинирования масел, поскольку в основе этих процессов лежат такие поверхностные явления.

Многие эксперименты основаны на импульсном характере синхротронного излучения. В качестве примера можно привести измерения времени жизни возбужденных состояний атомов и молекул. Острый, хорошо сформированный импульс синхротронного излучения падает на образец исследуемого вещества и одновременно запускает таймер. Под действием излучения атомы и молекулы возбуждаются и переходят в состояния с более высокой энергией. Таймер выключается, когда детектор регистрирует частицы или фотоны, испускаемые возбужденными атомами или молекулами при переходе на более низкий энергетический уровень.

По-видимому, наиболее интересные перспективы связаны с применениями, в основе которых лежит когерентность ондуляторного излучения. Хотя излучение некоторых лазеров в диапазоне видимого света имеет большую степень когерентности, в области вакуумного ультрафиолета и в рентгеновском диапазоне первенство остается за ондуляторными генераторами. По мере создания новых выводных каналов и установки на накопительных кольцах более мощных ондуляторов подобные применения, например рентгеновская голография, несомненно, будут развиваться.

Технологические применения

Уникальные свойства синхротронного излучения открывают новые возможности для его применения в медицине и промышленности. Так, в медицине плодотворным оказывается использование в диагностической радиографии плавной перестройки энергии излучения, чтобы радиограф был настроен на определенные химические элементы. В настоящее время ангиограммы (изображения кровеносных сосудов) получают путем введения в кровеносную систему иодсодержащих растворов и последующего облучения пациента рентгеновскими лучами от обычных источников. Для получения хороших изображений необходима довольно высокая концентрация иода в крови, поскольку интенсивность источника невелика и он не настроен на край полосы поглощения иода. При ангиографии венечных сосудов возникает дополнительная сложность: чтобы изображение не «смазывалось» из-за сердечных сокращений, время экспозиции не должно превышать нескольких миллисекунд. Необходимая при таком малом времени экспозиции концентрация иода может быть достигнута лишь при введении раствора через катетер, входящий по крупной артерии непосредственно до венечных сосудов. Несмотря на высокое качество получаемых радиограмм, данный метод связан с введением в организм инородных предметов и поэтому сопряжен со значительным риском.

Чувствительность к рентгеноконтрастному элементу можно поднять

более чем на два порядка величины, если использовать перестраиваемые монохроматические рентгеновские пучки. Для этого надо сравнить радиогаммы, полученные при облучении квантами с энергией чуть выше и чуть ниже края полосы поглощения интересующего элемента (см. рисунок внизу). Идеальным источником таких пучков служит синхротронное излучение. Путем «вычитания» из изображения, соответствующего более высокой энергии, изображения, полученного ниже края полосы поглощения, можно существенно увеличить контраст между кровеносными сосудами, содержащими иод, и другими тканями организма, поскольку вклад от них «сокращается».

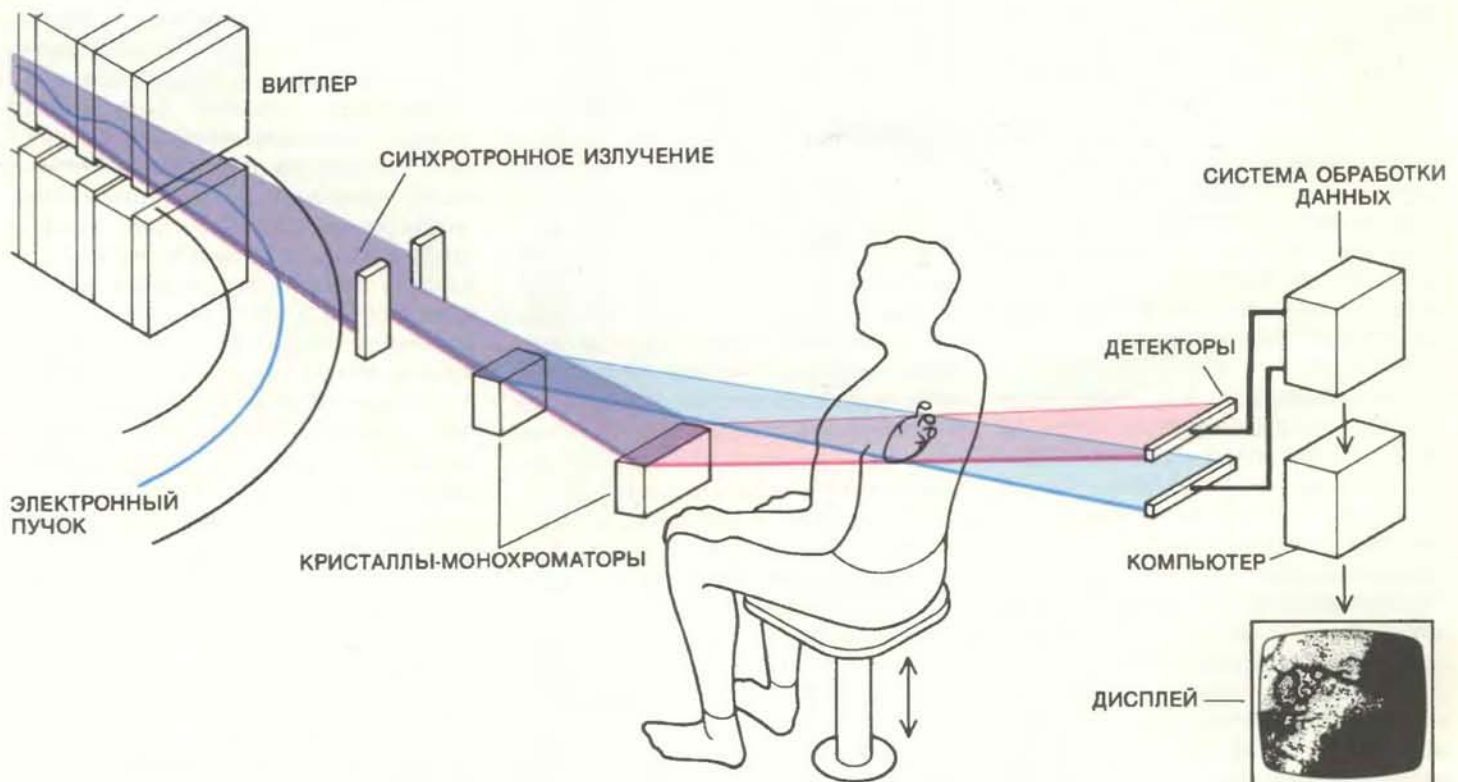
Эта методика вычитания изображений дуальных энергий требует гораздо меньшего времени экспозиции по сравнению с обычной ангиографией, а для получения хороших изображений не нужны столь высокие концентрации иода в венечных сосудах. Последнее обстоятельство позволяет обходиться без внутриартериального катетера, при этом существенно уменьшается риск, которому подвергается пациент.

Сколлимированное и интенсивное рентгеновское излучение, которое можно получить из накопительных колец, имеет еще одно, потенциально более перспективное применение в электронной промышленности. Его можно использовать для производства интегральных микросхем с высокой плотностью элементов. Для производства кристаллов (чипов), на которых размещены или один элемент, или вся интегральная схема, в настоящее время используют метод оптической литографии, при помощи которого последовательно протравливаются слои в пластине полупроводника. Для получения соответствующей схемы пластина покрывается веществом, чувствительным к свету, которое называют фоторезистом. Затем покрытую фоторезистом пластину освещают через «маску», или шаблон, на котором нанесена схема, светом видимого или ультрафиолетового диапазона. В зависимости от используемого фоторезиста освещенные или неосвещенные участки фоторезиста удаляются травлением, а оставшиеся формируют необходимую схему.

Минимальный размер, а следова-

тельно, и максимальная плотность размещения элементов ограничены дифракционными эффектами, которые «смазывают» экспонируемую через шаблон схему. Величина этих эффектов зависит от длины волны используемого излучения. С помощью видимого и ультрафиолетового света точно воспроизводятся лишь элементы, имеющие размер больше 500 нм. Более короткие длины волн (оптимальным является «мягкое» рентгеновское излучение с длиной волны 1—2 нм) позволили бы надежно воспроизводить элементы схемы размером 50 нм и менее. Применение в данной области излучения с более высокой энергией, которое получило название рентгенолитографии, позволяет вырезать на поверхности материалов, покрытых фоторезистом, структуры с огромным отношением высоты к ширине. Эту литографическую технику применяют для изготовления микроскопических фильтров и насадок.

Для использования рентгенолитографии в массовом производстве она должна быть экономичной, а для этого необходимы времена экспозиции порядка одной секунды. По-видимо-



КОРОНАРНАЯ АНГИОГРАФИЯ (рентгенография венечных сосудов) более чувствительна и связана с меньшим риском для пациента при использовании синхротронного излучения вместо обычных источников. Для получения изображения в кровь пациента вводится иодсодержащая жидкость. Специальные кристаллы-монокроматоры дают пучки фотонов с энергиями немного выше и немного ниже края полосы поглощения иода. Оба пучка направляются в область сердца пациента и затем регистрируются отдельными детекторами. Высокоэнергетичный пучок поглоща-

ется мягкими тканями и костями почти так же, как и низкоэнергетичный пучок, в то время как иод поглощает в основном фотоны с более высокой энергией. Сравнив два изображения, можно вычесть вклад от мягких тканей и костей, при этом контрастность изображения венечных и других кровеносных сосудов существенно повышается. Обычная ангиография сопряжена с необходимостью введения рентгеноконтрастного раствора непосредственно в артерии, поскольку этот метод менее чувствителен.

му, лишь синхротронные источники рентгеновского излучения позволяют получить необходимые для этого интенсивности. Перспектива того, что рентгенолитография станет альтернативной методикой в массовом производстве микросхем с элементами, размеры которых меньше получаемых с использованием оптической или ультрафиолетовой литографии, побудила научные группы из Японии, Западной Германии, Великобритании и США приступить к разработке для этой цели специальных накопительных колец. Чтобы промышленные установки были компактными, некоторые проекты включают сверхпроводящие поворотные магниты.

Несмотря на большое разнообразие применений синхротронного излучения, ни одно из ныне действующих накопительных колец не реализует полностью потенциальные возможности вигглеров и особенно ондуляторов. В связи с этим ученые многих стран ведут интенсивную работу по созданию накопителей следующего поколения. Первая такая установка на 0,8 ГэВ Super-ACO в Орсе (Франция) начала работать в начале 1987 г. О строительстве некоторых других уже объявлено: Тайваньский источник на 1,3 ГэВ, Европейская установка синхротронного излучения на 6 ГэВ в Гренобле, усовершенствованный источник излучения на 1,5 ГэВ в Беркли, накопительное кольцо на 1,5 ГэВ в Триесте и на 2,5 ГэВ — в Москве. На стадии разработки находятся еще установки в Арагонской национальной лаборатории США и лабораториях Бразилии, ФРГ и СССР.

Новые накопительные кольца будут иметь большое число прямолинейных секций, приспособленных для установки вигглеров и ондуляторов; электронные пучки в них оптимизируются, чтобы существенно повысить эффективность работы этих магнитных устройств. В частности, циркулирующие в кольцах электронные пучки должны иметь очень малые диаметр и расходимость. Эта совокупность свойств обозначается термином «низкий эмиттанс».

В 1976 г. К. Грин и Р. Чазмэн из Брукхейвенской национальной лаборатории показали, что чем меньше эмиттанс электронного пучка, тем выше яркость испускаемого излучения. Большинство существующих накопительных колец имеет эмиттанс 100 нм на радиан и выше. Некоторые накопительные системы, находящиеся в стадии разработки, должны иметь пониженный эмиттанс порядка 5—10 нм на радиан; установленные на них ондуляторы будут давать излучение с яркостью примерно в 100

раз выше, чем аналогичные системы на существующих установках.

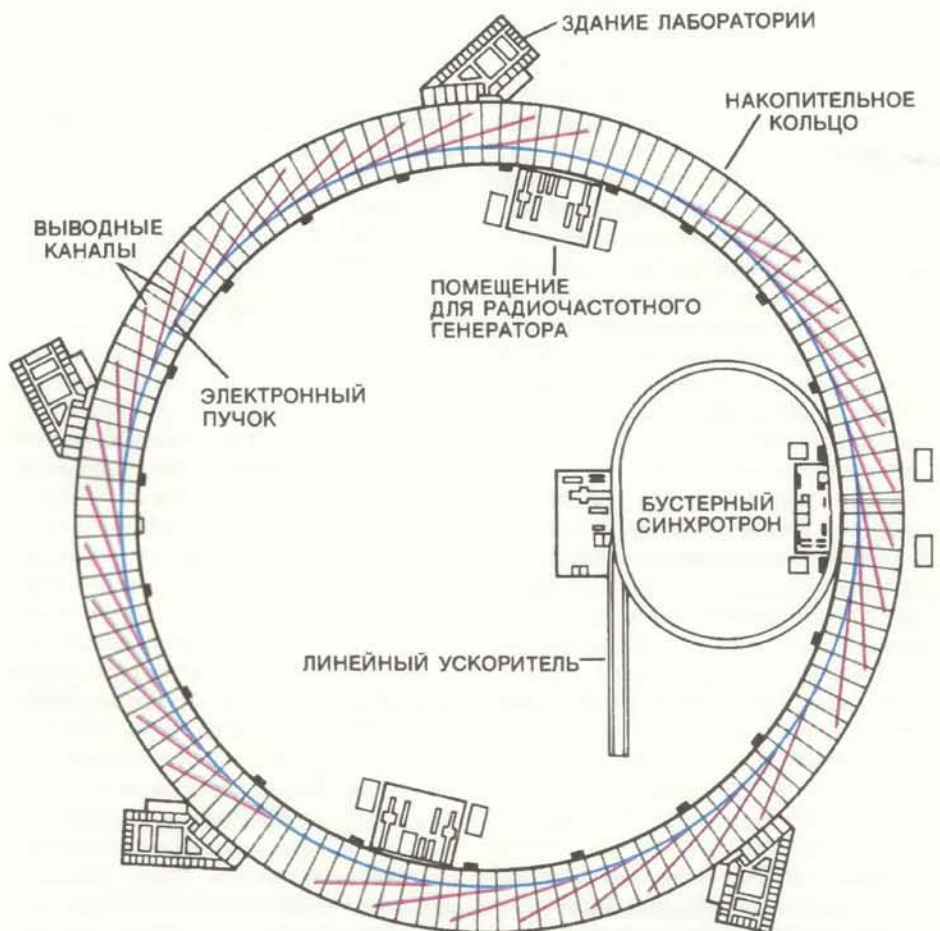
Однако максимум яркости и когерентности ондуляторного излучения достигается лишь в так называемом дифракционном пределе, когда эмиттанс пучка численно примерно равен $1/10$ длины волны излучения. Дальнейшее понижение эмиттанса не приведет к улучшению параметров источника из-за принципиальных ограничений, связанных с дифракционными эффектами. Таким образом, в дифракционном пределе электронный пучок источника излучения с длиной волны 0,1 нм (12,4 кэВ) должен иметь эмиттанс примерно 0,01 нм на радиан.

Усовершенствование накопительных колец

Достижение таких низких эмиттансов представляет очень серьезную проблему для конструкторов накопительных колец. Эмиттанс электрон-

ного пучка определяется установившимся равновесием между процессами, вызывающими колебания отдельных электронов в плоскости, перпендикулярной оси пучка, и процессами, гасящими эти колебания, (получившие название бетатронных). Бетатронные колебания возбуждаются при испускании фотонов под небольшим углом к направлению движения электронов, при этом импульс отдачи вызывает отклонение в перпендикулярном их движению направлении. Радиочастотные резонаторы гасят бетатронные колебания, поскольку они компенсируют потери энергии на синхротронное излучение, сообщая электронам дополнительный импульс лишь в направлении движения пучка.

Результирующий эмиттанс электронного пучка зависит от конкретного расположения фокусирующих и поворотных магнитов, которые образуют так называемую магнитную систему кольца. Магнитная система должна обеспечивать соответствующую



БОЛЬШАЯ УСТАНОВКА для получения синхротронного излучения, подобная изображенной на рисунке, может в окружности достигать 1 км, причем тысячи исследователей одновременно могут проводить эксперименты на небольших установках в конце нескольких выводных каналов. Такие накопительные кольца с рабочей энергией электронов 6—8 ГэВ (миллиард электронвольт) предназначены для получения очень яркого излучения с энергией фотонов намного больше 10 кэВ (тысяч электронвольт). Одна такая установка сооружается в Гренобле (Франция) по совместному европейскому проекту, строительство других планируется в Японии и США.

щую «динамическую апертуру», т. е. давать возможность электронам совершать устойчивые бетатронные колебания около оси пучка. Такие колебания совершают электроны, только что инжектированные в кольцо. Они возникают также из-за столкновений электронов с молекулами остаточного газа в вакуумной системе. В результате совместного действия резонаторов и испускания синхротронного излучения осциллирующие электроны в конце концов собираются на оси циркулирующего пучка. Магнитная система должна обеспечивать достаточную динамическую апертуру для того, чтобы избежать потери большого числа электронов прежде, чем колебания затухнут. Большая динамическая апертура снижает также требования к юстировке пучка и качеству поля магнитов и способствует устойчивому функционированию кольца.

Низкий эмиттанс можно получить главным образом за счет использования большого числа сильных квадрупольных и секстипольных магнитов, фокусирующих электронный пучок. К сожалению, нелинейные поля секстипольных магнитов, необходимых для коррекции аббераций, возникающих в квадрупольных, приводят к сужению диапазона устойчивых колебаний частиц, т. е. к малой динамической апертуре. Поэтому необходимо особо тщательно подходить к разработке магнитной системы колец, чтобы при низком эмиттансе пучка обеспечить достаточную динамическую апертуру.

Низкий эмиттанс можно достичь и другим путем, если поместить в кольцо специальные вигглеры длиной несколько десятков и даже сотен метров. Этот способ может оказаться особенно пригодным для получения очень низких эмиттансов, поскольку он не должен снижать динамическую апертуру системы. Расчеты Х. Видемана из Станфордского университета показывают, что использование демпфирующего вигглера длиной 200 м позволяет снизить эмиттанс пучка накопителя РЕР в Станфорде, работающего при энергии 6 ГэВ, примерно в 10 раз, достигнув приемлемой абсолютной величины около 0,5 нм на радиан.

Существует много других технических сложностей при создании накопительных колец, оптимизированных для работы с вигглерами и ондуляторами. Например, при соударениях электронов с атомами остаточного газа в вакуумной камере образуются положительно заряженные ионы, даже если давление составляет несколько триллионных частей от атмосферного. Эти ионы захватываются отрицательно заряженным электронным

пучком, что приводит к увеличению рассеяния и неконтролируемым фокусирующим эффектам. По-видимому, лучшим решением данной проблемы является использование позитронных накопительных колец (позитроны — античастицы, соответствующие электронам). Положительные ионы отталкиваются позитронным пучком, который также можно использовать в качестве источника синхротронного излучения.

Увеличивающийся поток излучения и концентрация мощности в новых накопительных кольцах создают новые проблемы. Вигглеры и ондуляторы, работающие на накопителях, где достигаются энергии в несколько гигаэлектронвольт излучают суммарную мощность в несколько киловатт, и элементы экспериментальных каналов подвергаются воздействию мощностей порядка 10 кВт на 1 см². Такие концентрации мощности достигаются в сварочной дуге! Еще большую мощность дадут новые источники синхротронного излучения, поэтому необходимы дальнейшие усовершенствования элементов выводных экспериментальных каналов, особенно их оптических частей, которые должны обеспечивать высокую точность при воздействии огромных тер-

мических нагрузок. Большой поток квантов потребует также развития быстродействующих фотонных детекторов и более мощных систем обработки данных. Все элементы существующих выводных каналов и экспериментальных установок должны быть приведены в соответствие с возросшими возможностями источников синхротронного излучения нового поколения, которые сейчас разрабатываются и строятся.

Усилия, приложенные в этом направлении, не пропадут даром. По мере того как будут запускаться накопительные кольца нового поколения, ученые смогут изучить многие уже открытые явления, исследование которых невозможно с использованием существующих источников излучения. Еще больший интерес связан с тем, что новые источники синхротронного излучения позволяют открыть новые важные разделы в науке. Прошедшие два десятилетия показали, что при повышении потока, яркости, когерентности или какого-либо другого параметра синхротронного излучения на порядок величины появляются новые, совершенно неожиданные его применения, о которых никто ранее не предполагал.

Наука и общество

Одиссея

«ОДИССЕЯ» Гомера повествует о странствованиях греческого царя Одиссея, возвращающегося после захвата Трои к себе домой на остров Итака. Почти 200 лет ведутся раскопки на современной Итаке — острове длиной 27 км, имеющем форму восьмерки и расположенном к западу от Греции. Археологи пытаются доказать, что герой поэмы Гомера имеет прототипом историческое лицо — царя, правившего на острове в XIII в. до н.э., в Микенский период. Последняя из попыток найти его родные места, предпринятая английскими учеными в 1930-х годах, окончилась, как и все остальные, неудачей. Три года назад С. Сименоглу из Вашингтонского университета в Сент-Луисе возобновил поиски, которые, как он сам признает, напоминают приключения Дон Кихота.

«Среди ученых есть такие, кто считает повествования Гомера мифами, никак не связанными с реальностью, — замечает этот исследователь. — Другие говорят, что в исто-

рии были похожие события. На самом деле это вопрос веры». Сименоглу полагает, что Гомер, слепой поэт, предположительно сложивший «Одиссею» в VIII или IX в. до н.э., был на Итаке и что в его стихи вошли его впечатления от острова и исторические свидетельства, сохранившиеся среди островитян. Как считает Сименоглу, его «вера в то, что Гомер описал нечто реальное, а не вымышленное», подкрепляется все большим количеством конкретных свидетельств.

Сименоглу ведет раскопки на склоне, заросшем дубом и чертополохом, недалеко от узкой средней части острова. Это место, утверждает он, по меньшей мере в трех отношениях соответствует гомеровскому описанию города, которым правил Одиссей: здесь имеется множество родниковых источников, отсюда открывается вид на главную гавань острова и когда-то здесь находилось открытое святилище, посвященное Аполлону.

Существование святилища, поясняет Сименоглу, подтверждается целым рядом свидетельств. В 1930-е годы английские исследователи, отко-

пав предметы религиозного характера, датируемые 900 — 600 г. до н.э., высказали предположение, что на этом месте стояло святилище, но не стали строить догадки, в честь какого бога оно было воздвигнуто. Греческие исследователи предприняли в 1979 г. тщательный просмотр коллекции из афинского музея и обнаружили более явные свидетельства; это были предметы, найденные в конце 1800-х годов крестьянами: бронзовая статуэтка Аполлона, миниатюрная бронзовая лира (традиционный атрибут этого бога) и фрагмент посуды, на котором есть его имя. Последним свидетельством, говорит Сименоглу, является каменный фундамент, датируемый примерно 650 г. до н.э. На основе результатов своих раскопок он пришел к выводу, что это фундамент храма Аполлона, построенного на месте открытого святилища.

Самое старое строение, обнаруженное Сименоглу при раскопках, датируется гомеровской эпохой. В то же время были найдены фрагменты посуды с грубой ручной росписью, характерной для Микенского периода. Были также обнаружены глиняные черепки с рисунками, характерными для так называемого протогеометрического периода (1050 — 900 г. до н.э.), когда ремесленники стали с помощью инструментов наносить точный геометрический рисунок, и для геометрического периода (900—700 г. до н.э.), когда они усовершенствовали свои методы. Эти открытия привели Сименоглу к выводу, что место, где ведутся раскопки, было обитаемым на протяжении всего времени начиная с Микенского периода, в том числе и в гомеровскую эпоху. «Предание об Одиссее не было придумано поэтом. Оно сохранилось благодаря указанной преемственности поколений».

Сименоглу отмечает, что город, который он ищет, был, возможно, велик: с населением в несколько сот человек и площадью в несколько гектар. Раскопки ведутся на площади всего 400 м², поэтому, по его словам, потребуются годы поисков на то, чтобы прояснить связь между этим местом и историей об Одиссее.

П. Уоррен из Бристольского университета считает, что установление связей между любыми археологическими открытиями и гомеровским эпосом является исключительно трудной, если только вообще достижимой, целью и что действительная ценность таких открытий заключается в тех сведениях, которые они дают о древних культурах. «Есть свое очарование в том, чтобы попытаться связать такие исследования с истори-

ей об Одиссее, — пишет он, — но по сути дела тревожить Гомера нет нужды.»

Гете против Ньютона

ЗНАМЕНИТЫЙ немецкий поэт Иоганн Вольфганг Гете (1749-1832) помимо литературных произведений написал также ряд научных трактатов, один из которых под названием «Учение о цвете» посвящен анализу света и цвета. Он был опубликован в 1810 г. В этом трактате поэт оспаривает правильность модели света, изложенной Ньютоном в его «Оптике» (1704 г.). Свет не может состоять из различно окрашенных компонентов, утверждал Гете, он по своей сути чист и неизменен; наблюдателю лишь кажется, что свет принимает разную окраску при взаимодействии с различными средами. К таким средам относится и темнота, которую Гете рассматривает не как отсутствие света, а как некую объективную реальность, имеющую свою собственную природу.

За эти объяснения, граничащие с мистикой, Гете не раз подвергался осмеянию со стороны ученых. Но вот недавно М. Дак из Центра атомных исследований в Харуэлле (Великобритания) повторил один из основных опытов немецкого поэта и в статье, опубликованной в журнале «American Journal of Physics», пришел к выводу, что модель Гете, будучи неправильной, дает более точное по сравнению с моделью Ньютона описание того, как человек в действительности воспринимает спектр света.

В то время как Ньютон направлял луч света, прошедший через призму, на экран, в эксперименте, повторенном Даком, наблюдатель приставлял призму к глазу и смотрел на белый экран на черном фоне. Находясь поблизости от экрана, наблюдатель видит его края окрашенными: у одного края располагаются полосы желтого, оранжевого и красного цвета, у другого голубого, синего и фиолетового. Когда наблюдатель отходит от экрана, окрашенные края становятся шире и в какой-то момент середина экрана делается зеленой.

Сторонник взгляда Ньютона объяснил бы, что рассматриваемый с близкого расстояния экран в действительности отражает много лучей. В центре экрана спектры накладываются друг на друга и наблюдателю это место кажется белым, у боковых же границ экрана располагаются цвета, соответствующие краям спектра, поэтому наблюдатель там видит окрашенные полосы. Если же наблюдатель отойдет достаточно далеко, то на экране уместится весь спектр. Те-

перь, как бы далеко ни отходил наблюдатель, спектр на экране меняться не должен.

Гете придерживался другого мнения. Он утверждал, что когда человек смотрит сквозь призму, то темнота и свет накладываются друг на друга. Когда наблюдатель отходит назад, то цветные полосы, возникающие в результате такого наложения, расширяются. Появление же в центре экрана зеленого цвета объясняется не тем, что он изначально присутствует в белом свете, а тем, что внутренние края двух цветных полос — желтой и синей — сливаются, образуя зеленый цвет. Гете полагал, что его теория будет доказана, если окажется, что по мере удаления наблюдателя от экрана желтый и синий цвета будут постепенно исчезать и их полностью заменит зеленый цвет.

«Сторонников Ньютона, безусловно, огорошит тот факт, — пишет Дак, — что именно так и происходит. Когда наблюдатель удаляется от экрана, желтый и синий цвета действительно постепенно ослабевают, пока совсем не исчезают. Получается, что точка зрения Гете подтвердилась, а Ньютон оказался неправ!»

На самом деле, пишет Дак, Гете «споткнулся» на едва уловимом физиологическом эффекте, получившем название (по именам двух немецких ученых, впервые описавших его в конце 80-х годов прошлого века) явления Бецольда — Брюкке. Видимая окраска цветного источника света, как обнаружили упомянутые ученые, может меняться в зависимости от его яркости. По мере того как интенсивность излучения источника падает, фоторецепторы глаза становятся более чувствительными к красному, зеленому и фиолетовому цветам, чем к желтому и голубому. Этот эффект трудно обнаружить, если посмотреть через призму на ночное небо. Луна, Венера и яркие звезды дадут все цвета спектра, но в окраске менее ярких звезд голубого и желтого цветов мы не увидим.

Дак указывает, что Ньютон, возможно, наблюдал явление Бецольда — Брюкке, но предпочел не принимать его во внимание, так как не мог дать ему объяснение, не противоречившее его собственной теории. Полагают, что Ньютон иногда изменял данные опытов, чтобы те увязывались с его гипотезами. В одном опыте, например, он «доказал» невозможность изготовления ахроматической линзы, т.е. такой линзы, которая не искажала бы окраску изображений. «Возможно, Ньютон не был абсолютно честным, — замечает Дак. — Но кто же честен тогда?»

Родословная большой панды

К кому относится большая панда — к медведям или к енотам?

Быть может, этот вид нужно выделять в самостоятельное семейство? Результаты изучения макромолекул по-новому освещают давнюю проблему его происхождения

СТИВЕН ДЖ. О'БРАЙЕН

ПУГЛИВЫЕ, осторожные большие панды *Ailuropoda melanoleuca*, ведущие кочевой образ жизни, обитают в горных бамбуковых лесах на периферии Тибетского нагорья в западном Китае. Огромные «очки» вокруг глаз, ушки Микки-Мауса, игривое, «ребяческое» поведение — все это сделало панду одним из наиболее известных и любимых животных. С эволюционной точки зрения большая панда — весьма загадочный вид. Вот уже почти 120 лет биологи никак не могут договориться о месте этого вида в системе живых организмов: его относили то к медведям (сем. Ursidae), то к енотам (сем. Procyonidae) или же выделяли в отдельное семейство (Ailuropodidae). Исследования, которые провели мои коллеги и я в Национальном институте рака и Национальном зоопарке Вашингтона, позволили решить загадку происхождения большой панды.

Споры начались в 1869 г., когда большая панда впервые была описана жившим в то время в Китае французским миссионером и натуралистом Арманом Давидом. Он понял, что это новый, неизвестный науке вид и дал ему название *Ursus melanoleucus* (т. е. черно-белый медведь). На следующий год коллега Давида, Альфонс Милн-Эдвардс (впоследствии директор Музея естественной истории в Париже), изучил скелет, присланный ему Давидом, и пришел к заключению, что большая панда более похожа на малую, или рыжую панду *Ailurus fulgens* (также живущую в Китае), чем на медведей. Поскольку к тому времени родословная малой панды была уже установлена (ее относили к семейству енотов), Милн-Эдвардс решил, что сходство с медведями у большой панды отражает прошлое этого вида — его происхождение от общего предка енотов и медведей. Он предложил новое название — *Ailuropoda melanoleuca*.

С тех пор было опубликовано более

сорока работ, посвященных истории происхождения большой панды, но, несмотря на многочисленные исследования, ученые так и не пришли к единому мнению. Относительно недавно, в 1964 г., сотрудник отдела млекопитающих Музея естественной истории в Чикаго Д. Дэвис подробно

описал анатомическое строение *Ailuropoda* и на основе сравнительного изучения 50 групп органов сделал вывод, что панду следует относить к семейству медведей. Вскоре Д. Моррис из Лондонского зоологического общества, и независимо от него Р. Ивер из Университета Ганы, ана-



БОЛЬШАЯ ПАНДА И МАЛАЯ ПАНДА, как выяснилось, вовсе не близкие родственники, хотя и имеют немало общих черт. И те и другие питаются в основном бамбуком и имеют плоские зубы с множеством бугорков, приспособленные к

лизируя поведение и морфологию большой панды, пришли к тому, что этот вид принадлежит к семейству енотов. Позднее этологи Дж. Эйзенберг из Университета Флориды и Дж. Шаллер из Нью-Йоркского зоологического общества предложили выделить большую панду в отдельное семейство Ailuropodidae. В 1986 г. эту точку зрения поддержала группа китайских ученых, в том числе сотрудники Пекинского зоопарка и Пекинского университета, опубликовавшие обширное анатомическое описание панды.

САМО существование проблем такого рода отражает те сложности, с которыми сталкиваются систематики, определяя видовую принадлежность организма и его родственные связи с другими видами. Один из важнейших вопросов, которые при этом приходится решать: является ли тот или иной признак гомологичным по отношению к сходным признакам

других видов или аналогичным. Гомологичными называют признаки, сходные вследствие общности происхождения, т. е. виды, обладающие гомологичными признаками, имеют общего предка. Так, у всех животных класса Mammalia (млекопитающие) тело покрыто волосами, сердце четырехкамерное, самки вскармливают детенышей молоком. У всех видов семейства кошачьих втягивающиеся когти, четыре пальца на задних лапах, сокращающиеся зрачки. Степень эволюционного родства оценивается по числу гомологичных признаков у сопоставляемых видов. Чем ближе друг к другу два вида, тем больше у них таких общих признаков.

Одна из сложностей выявления гомологичных признаков заключается в том, что их генетическая основа чаще всего неизвестна. Небольшое изменение морфологии может быть следствием крупных перестроек множества генов и тем самым отражать скачок в эволюции на молекулярном уровне. И

наоборот, видимые крупные изменения структуры (например, появление отстоящего большого пальца у панды) могут возникать в результате небольших генетических изменений.

Аналогичные признаки — это черты сходства между видами, возникшего путем конвергенции, т. е. у неродственных организмов под влиянием одних и тех же условий среды развиваются сходные структуры. Примером конвергенции могут быть крылья птиц и насекомых. Функции их одинаковы, но развились они совершенно разными путями. Поскольку конвергентные признаки не имеют общего происхождения, они могут искажать картину родства, составляемую по внешнему сходству, и приводить рассуждения в тупик. Именно так было в случае большой панды.

ВНЕШНЕ большая панда напоминает медведя, но многие признаки у нее вовсе не медвежьи. Как и малая панда, это животное растительнояд-



перетиранию растительной пищи. Но малая панда (слева) ближе к енотам, а большая панда (справа; это Линг-Линг и ее супруг Шинг-Шинг, живущие в Национальном зоопарке

в Вашингтоне) — к медведям. Большая панда передвигается мелкими шажками и почти весь день проводит, сидя «столбиком» и поедая побеги бамбука.



БОЛЬШАЯ ПАНДА обитает только в горных бамбуковых лесах по краям Тибетского нагорья на западе Китая (показано цветом). Сокращение местообитаний, обусловленное ростом населения, вырубкой лесов и периодически повторяющимся отмиранием зарослей бамбука, ставит этот вид под угрозу. Сегодня в Китае насчитывается менее 1000 особей.

ное; основной его пищей является бамбук. У большой панды массивная голова, крупные уплощенные зубы, хорошо выраженные челюсти и челюстные мышцы — все это позволяет без труда измельчать богатую волокнами растительную пищу. Одна из уникальных анатомических особенностей большой панды заключается в том, что у нее есть отстоящий большой палец, причем он функционален. Кроме этого вида функциональный отстоящий большой палец свойствен только обезьянам, но большие пальцы обезьян и панды — образования сугубо аналогичные. У приматов это просто модифицированный пятый палец. У панды же он представляет собой вырост лучевой сесамовидной кости запястья, действующий как шестой палец, с помощью которого животное проворно обрывает листья с побегов бамбука. Эти и другие развившиеся в ходе эволюции признаки в совокупности сложили неторопливое существо, приспособленное поедать бамбук, сидя подолгу (до 10—12 ч в день) на задку выпрямившись, в мирной, без хищников обстановке.

Надо добавить, что большая панда отличается от медведей и признака-

ми, прямо не связанными с питанием. Так, обитающие в альпийском поясе медведи обычно впадают в зимнюю спячку, что не свойственно большой панде (наверное, питаюсь бамбуком, трудно отложить запасы на зиму). Еще одна особенность панды, путавшая систематиков, — это характер производимых ею звуков. Она не рычит и не ревет, а блеет, как овца. При изучении большой панды на клеточном уровне был получен неожиданный результат: оказалось, что по числу и морфологии хромосом (21 пара) этот вид ближе к малой панде (22 пары), чем к медведям (37 пар).

МОИ КОЛЛЕГИ в Национальном институте рака и я заинтересовались происхождением большой панды в 1983 г., когда нас попросили определить отца детеныша, родившегося у самки по кличке Линг-Линг — одного из двух экземпляров панды, имевшихся в Национальном зоопарке в Вашингтоне. Вопрос этот возник вследствие весьма любопытных обстоятельств. В течение нескольких лет совместной жизни Линг-Линг и вторая особь — самец Шинг-Шинг — так и не смогли спариться, так что ре-

шено было искусственно осеменить Линг-Линг спермой другого самца, Чиа-Чиа, живущего в Лондонском зоопарке. К всеобщему изумлению за 24 часа до назначенной процедуры Линг-Линг впервые спарилась с Шинг-Шингом. Тем не менее руководство зоопарка решило все же провести искусственное осеменение, и Линг-Линг ввели сперму Чиа-Чиа в дополнение к сперме, уже полученной ею от Шинг-Шинга. Это повышало вероятность успешного оплодотворения, но не позволяло предсказать отца будущего детеныша.

Хотя родившийся детеныш и погиб спустя несколько часов после появления на свет, отцовство было легко установлено (как это можно сделать и для ребенка) при помощи метода, называемого электрофорезом в геле. Из тканей детеныша выделили белки, нанесли их на слой специального геля и подвергли воздействию электрического поля. Различные белки движутся в электрическом поле с разной скоростью и таким образом разделяются. Если белки в сравниваемых образцах идентичны, то и картина их распределения в геле после электрофореза одинакова. Этим методом мы показали, что отцом детеныша был Шинг-Шинг.

Продлав эту работу, мы подумали: а нельзя ли использовать сходный генетический метод для выяснения происхождения большой панды? Если на молекулярном уровне она ближе к енотам, чем к медведям, или наоборот, это будет убедительным доказательством в пользу той или другой из альтернативных гипотетических родословных. По законам гомологии можно было ожидать, что белки большой панды (и кодирующие их последовательности нуклеотидов ДНК) больше всего будут похожи на белки ее близких родственников. Мы приступили к сравнению белков большой и малой панды, енота и нескольких видов медведей.

ЧТОБЫ разобраться в полученных нами результатах, необходимо вначале познакомиться с гипотезой «молекулярных часов». Эта простая и продуктивная гипотеза была предложена в 1962 г. Э. Цукеркандлем и Л. Полингом, работавшими тогда в Калифорнийском технологическом институте. Она исходит из того соображения, что генетический материал репродуктивно изолированных популяций с течением времени непрерывно дивергирует. Дивергенция происходит вследствие возникновения случайных мутаций (изменений в ДНК), которые передаются из поколения в поколение и потому со временем на-

капливаются. Мутировать могут как участки ДНК, кодирующие определенные аминокислоты, из которых образуются белки, так и некодирующие участки, которые прямо не влияют на химический состав организма. В любом случае, поскольку эти изменения накапливаются пропорционально времени, степень различия двух видов по последовательностям ДНК или аминокислотной последовательности какого-то белка оказывается хорошим мерилем их родства. По таким данным удастся довольно точно оценить время дивергенции двух видов от общего предка.

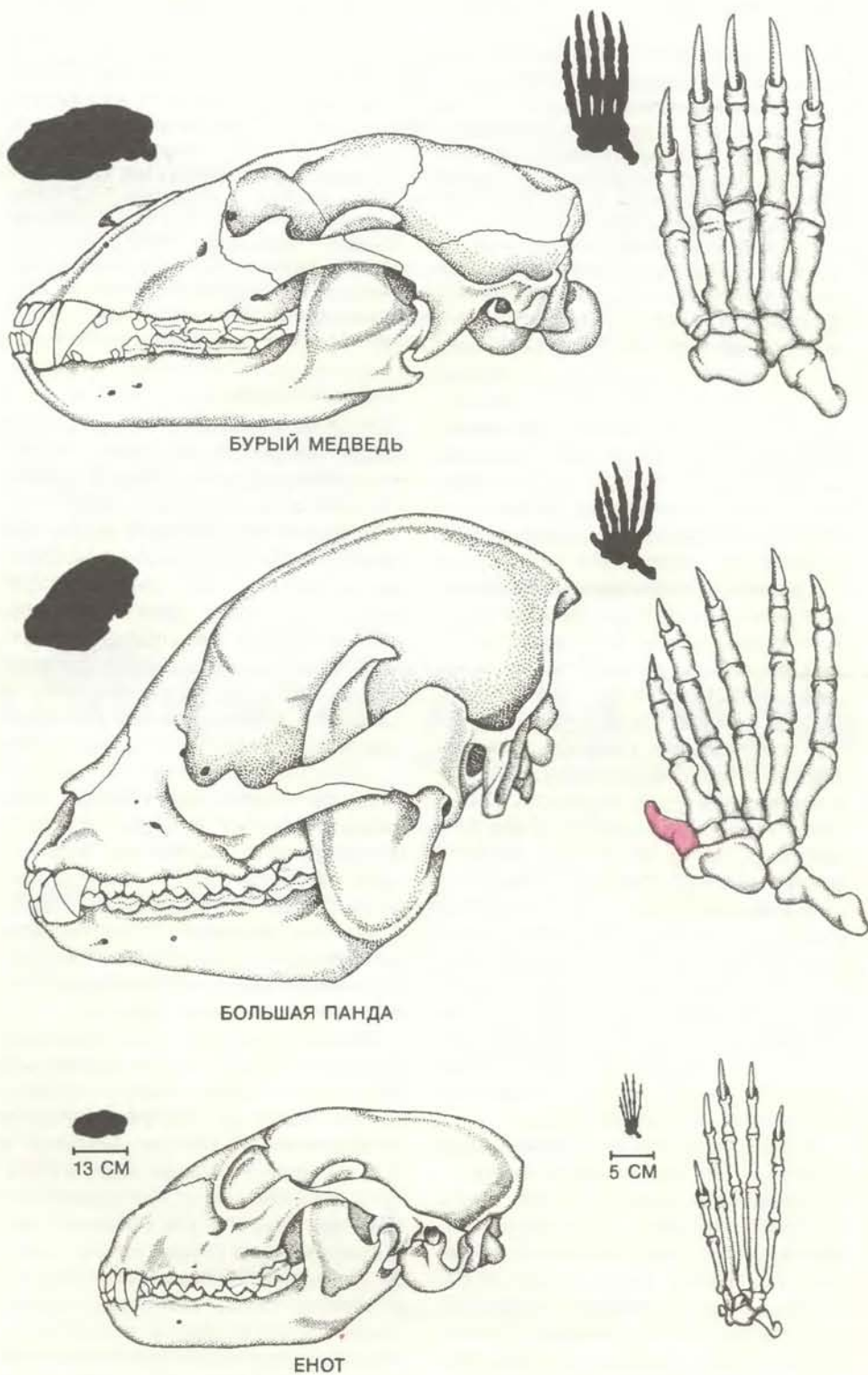
Создание гипотезы молекулярных часов послужило основой совершенно нового раздела биологии — теории молекулярной эволюции. Несмотря на ряд ограничений (так, скорость накопления изменений может быть различной в молекулах разных типов и для разных видов), большинство биологов-эволюционистов согласны с тем, что изменение генов во времени происходит относительно равномерно, и поэтому изучение молекул может быть полезным дополнением к традиционным методам таксономического анализа.

Для исследования происхождения большой панды мы собрали образцы крови и кожи шести видов семейства Ursidae — бурого, белого, белогрудого (черного гималайского), черного (барибала), малайского (бируанга) медведей и медведя-губача — и трех видов из семейства Procyonidae — малой (рыжей) панды, енота-полоскуна и цепкохвостого медведя (кинкажу).

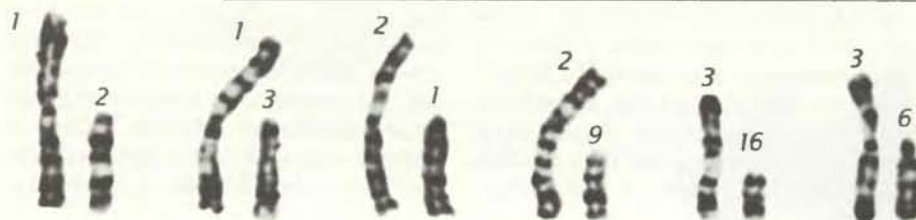
Вначале мы применили метод анализа, называемый гибридизацией ДНК. Фибробласты (эти клетки были выбраны потому, что они охотно делятся в культуре) изучаемых видов выращивали в среде, содержащей радиоактивные нуклеотиды, которые играли роль метки. По мере деления клеток метка включалась во вновь синтезируемую ДНК. Одиночные нити такой радиоактивной ДНК одного вида смешивали затем с одиночными нитями нерадиоактивной ДНК другого вида и создавали условия, при которых они формировали двунитевые гибридные молекулы ДНК. Степень гибридизации оценивали по радиоактивности таких новообразованных молекул ДНК. О гомологичности последовательностей ДНК двух видов судят по температуре, при которой гибридные молекулы расплетаются. Эта так называемая температура плавления обратно пропорциональна числу различий в последовательностях двух сравниваемых молекул ДНК, образующих гибридную молекулу.

В результате опытов по гибридизации ДНК большой панды и близких видов один из моих коллег, Р. Бенвенисте из Национального института рака, получил матрицу температур плавления. На основании этих данных мы, исходя из гипотезы молекуляр-

ных часов, построили филогенетическую схему, отражающую эволюционные взаимосвязи между организмами. Получилось, что первой группой, отделившейся от общего предка семейства медведей и енотовидных, были Procyonidae. Вскоре после этого от



АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ большой панды существенно иное, чем у родственных ей животных — медведей и енотов. Форма черепа панды связана с приспособленностью к питанию растениями: увеличенная краниальная часть позволяет создать большие усилия при пережевывании пищи, которой служит в основном бамбук. Отстоящий большой палец, представляющий собой вырост сесамовидной кости запястья (показан цветом), тоже является приспособлением к питанию бамбуком; с его помощью панда обрывает листья с побегов. Эти и другие признаки, связанные со специализацией, затрудняли определение систематического положения большой панды и ее эволюционных связей.



ПАНДА МЕДВЕДЬ

СТРОЕНИЕ ХРОМОСОМ у большой панды *Ailuropoda melanoleuca* совершенно иное, чем у медведей, что служило аргументом против включения этого вида в семейство медведей. Тщательный анализ окрашивания хромосом показал, что в ходе эволюции произошло слияние хромосом: двуплечные хромосомы панды происходят от одноплечных хромосом предкового медведя (ныне вымершего), которые, видимо, соединились концами, несущими центромеру, так что общая центромера оказалась в середине. Здесь представлены хромосомы 1—3 большой панды (во всех парах они слева) и гомологичные хромосомы бурого медведя *Ursus arctos* (в каждой паре справа). Каждая хромосома панды показана дважды: первый раз рядом с одним гомологом медведя, второй раз — повернутая на 180° рядом с другим гомологом. Сравнивая распределение полос, можно, например, установить, что одна половина хромосомы 1 большой панды гомологична хромосоме 2 бурого медведя, а другая половина — его хромосоме 3.

общей линии развития отделилась ветвь, ведущая к малой панде. Однако самым главным в наших данных было другое: они говорили о том, что большая панда ближе к медведям, чем к енотам.

Хотя мы не сомневались в полученных результатах, было решено углубить исследование. Во-первых, хотелось проверить, приведет ли к тем же выводам анализ других типов молекул при помощи иных методов.

Мы обратились к методу электрофореза в геле, применяемому для установления отца детеныша Линг-Линг. Целью было оценить генетическое сходство по возникшим вследствие мутаций изменениям в генах, кодирующих изоэлемы, т. е. различные варианты гомологичных ферментов. Мы измерили относительную подвижность около 50 ферментов у всех 9 видов животных и по этим данным определили «генетические расстояния» (среднее число различий, возникших в результате мутаций, в расчете на 1 ген) между этими видами.

В результате, после внесения необходимых поправок, обусловленных разрешающей способностью метода электрофореза и различиями в относительной скорости накопления замен для разных аминокислот, получилось, что величины генетических расстояний между видами действительно пропорциональны времени, прошедшему с момента установления их репродуктивной изоляции. На основании таких оценок генетических расстояний удалось построить филогенетическую схему, причем она оказалась совершенно такой же, как схема, созданная по результатам гибридизации ДНК. Совпадение независимых схем, составленных по данным, полученным разными методами, сви-

детельствовало о достоверности сделанных нами выводов об эволюционных взаимосвязях изучаемых видов и о верности молекулярных часов.

На следующем этапе исследований мы использовали другой метод изучения молекул — двумерный электрофорез. Этот метод дает в принципе такие же данные, как и обычный электрофорез в геле, но позволяет анализировать одновременно много белков — более 300. По различиям в распределении белков (которое обусловлено их подвижностью в геле) можно оценить генетическое расстояние между видами. По моей просьбе сотрудник Национального института психического здоровья Д. Голдмен изучил белки фибробластов большой панды и близких к ней видов. Результаты его экспериментов полностью согласовались с выводами, сделанными нами по ранее полученным данным.

Окончательное подтверждение правильности наших филогенетических схем дало сопоставление их с данными В. Сарича из Калифорнийского университета в Беркли, который в 1973 г. изучал большую панду и близкие к ней виды с помощью иммунологических методов. Он оценивал эволюционное расстояние по интенсивности взаимодействия между белком сыворотки крови (например, альбумином) одного вида и антителами, вырабатываемыми против того же белка другого вида. Чем меньше антител вступает в реакцию, тем менее родственны сравниваемые виды. Хотя результаты, полученные Саричем в опытах с малой пандой, не были однозначными, в случае с большой пандой они вполне согласовались с нашими выводами, а именно с тем, что этот вид ближе к медведям, чем к енотам.

УБЕДИВШИСЬ в надежности своих результатов, мы решили установить скорость хода молекулярных часов. Для этого следовало рассмотреть филогенетическое дерево в свете данных геологической летописи, чтобы датировать его разветвления. Хотя теперь было известно, какие из видов ближе всего друг к другу, мы не знали, как давно они дивергировали, когда обособились ведущие к ним линии эволюционного развития.

Один из способов калибровки эволюционных схем, составленных по результатам изучения макромолекул, основан на сопоставлении скорости молекулярной эволюции в изучаемой группе организмов с аналогичными данными для другой, неродственной группы, у которой изменения в белках накапливались с такой же скоростью, а палеонтологическая летопись достаточно полна. В нашем случае 9 перечисленных выше видов из отряда Carnivora (хищные) имело смысл сравнивать с приматами. Если, скажем, молекулярное расстояние между двумя видами приматов такое же, как и между двумя видами медведей, то есть основания считать, что те и другие дивергировали примерно одновременно. Иными словами, если альбумин бурого медведя и альбумин барибала различаются в той же мере, что и аналогичные белки гориллы и шимпанзе, это говорит о том, что сравниваемые виды в обеих группах в ходе эволюции разошлись почти в одной точке шкалы геологического времени.

Мы провели анализ макромолекул нескольких видов приматов теми же методами, которые были использованы при изучении большой панды и родственных видов. Полученные данные совпали с результатами экспериментов других исследователей, занимавшихся молекулярной эволюцией приматов, так что мы могли не сомневаться в достоверности своих данных. Момент дивергенции африканских человекообразных обезьян и человека датируется 35 млн. лет назад; исходя из этого, мы заключили, что линии эволюционного развития, ведущие к современным медведям и к енотовидным, берут начало от общего предка, жившего 30—50 млн. лет назад.

Спустя 10 млн. лет после этого в результате дальнейшей дивергенции енотовидные разделились на две группы — енотовидных Старого Света (т. е. обитающих в Европе, Африке и Азии), в настоящее время представленных, в частности, малой пандой, и енотовидных Нового Света (т. е. Северной и Южной Америки), из которых ныне существуют еноты, носухи, олинго и кинкажу. Приблизительно

тогда же, когда разошлись гиббоны и высшие приматы (18—25 млн. лет назад), от основной линии эволюции медведей отделилась ветвь, ведущая к большой панде. Это произошло приблизительно через 20 млн. лет после дивергенции енотов и медведей. Бурый медведь, барibal, медведь-губач и бируанг определены как самостоятельные виды 6—10 млн. лет назад.

ХОТЯ НАШИ результаты изучения макромолекул и позволяют решить проблему происхождения большой панды, они все же не дают ответа на одну из загадок: как объяснить необычность набора хромосом у этого вида? У медведей рода *Ursus* 74 одноплечных хромосомы с центромерой на одном из концов, а у большой панды 42 хромосомы, и большинство из них двуплечные с центромерой в середине. Некоторые специалисты считают это убедительным основанием для того, чтобы даже не относить медведей и панду к одному семейству.

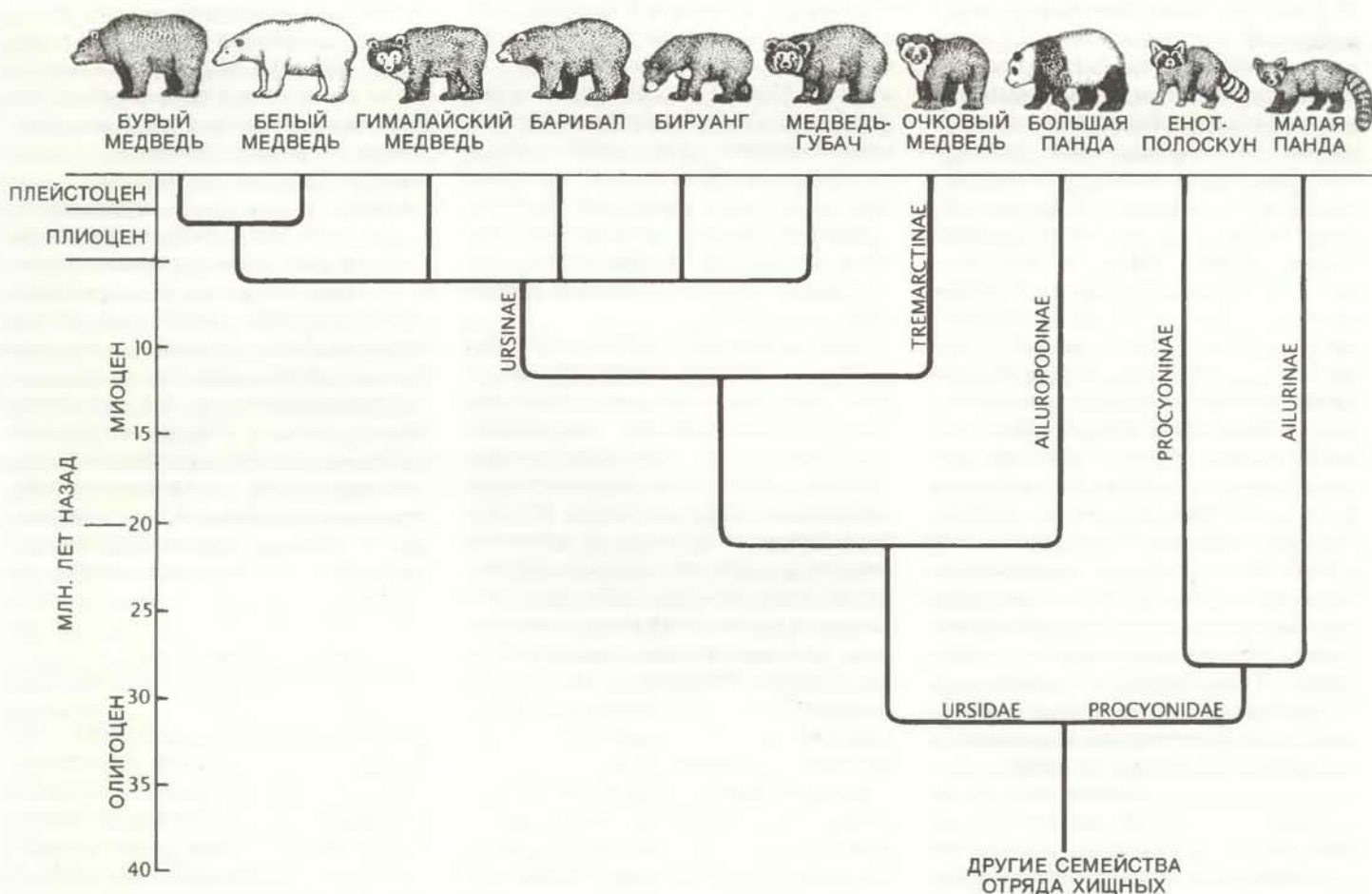
В свете новых данных правомерность такой позиции вызывала сомнения, и я попросил своего коллегу У. Нэша из Национального институ-

та рака вновь изучить хромосомы большой панды. Нэш недавно разработал новые приемы для анализа распределения окрашивающихся участков хромосом. Он выращивал клетки в присутствии ретровируса, превращающего нормальные, медленно делящиеся клетки в быстро делящиеся, и изучал хромосомы в момент клеточного деления, непосредственно предшествующий метафазе, когда специфика в распределении полос, появляющихся после окрашивания, особенно четко видна.

Сравнив хромосомы большой панды и шести видов медведей рода *Ursus*, Нэш обнаружил, что характер окрашивания хромосом этих медведей практически идентичен тому, что наблюдается на плечах хромосом большой панды. Из этого был сделан вывод, что хромосомы большой панды — это не что иное, как хромосомы медведей, соединенные попарно «голова к голове» и имеющие общую центромеру. Все то, что считалось следствием крупных хромосомных перестроек, оказалось на деле результатом простого слияния хромосом в ходе эволюции.

ОПИРАЯСЬ на результаты своей работы, мы в итоге можем рекомендовать систематикам считать большую панду наряду с медведями членом семейства Ursidae, а малую панду вместе с енотами относить к семейству Procyonidae. Так как линии эволюционного развития, ведущие к большой и малой пандам, довольно рано отделились от основных стволов семейств, к которым они принадлежат, эти виды вполне заслуживают ранга подсемейства.

Кроме того, мы считаем, что на основе наших данных возможен новый подход к проблеме скорости эволюции. История происхождения большой панды нередко приводилась как яркий пример быстрой («прерывистой») эволюции, поскольку считалось, что дивергенция этого вида и медведей произошла относительно недавно, около 2 млн. лет назад. Из наших же результатов следует, что разделение линий эволюционного развития, ведущих к большой панде и к медведям, произошло 15—25 млн. лет назад. Если эти последние оценки верны, то с ними лучше согласуется концепция градуализма, согласно ко-



ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ДЕРЕВО, основанное на данных, полученных при помощи современных методов изучения макромолекул. Большая панда попадает в семейство медведей (Ursidae), внутри которого этот вид достаточно обособлен, чтобы поместить его в отдельное подсемейство —

Ailuropodinae. Малая панда принадлежит к семейству енотовидных (Procyonidae); она также может быть выделена в подсемейство. Согласно молекулярным часам семейства медведей и енотовидных возникли в результате дивергенции общего предка около 35—40 млн. лет назад.

торой эволюция идет путем накопления небольших, постепенных изменений.

В процессе этой работы я убедился в огромной эффективности анализа макромолекул для изучения эволюционных взаимосвязей организмов. Однако следует отметить, что ценность данных такого рода ограничена по меньшей мере по двум причинам. Во-первых, сами по себе они не определяют временные интервалы, и необходима датировка по палеонтологической летописи. Во-вторых, фиксация мутаций — это случайное событие; изменения макромолекул мало что говорят о тех силах отбора, которые

обуславливали морфологические изменения. Тем не менее мы верим, что анализ макромолекул обеспечивает объективный подход к проблемам систематики и дает дополнительную информацию, которая в совокупности с результатами традиционных морфологического и поведенческого анализа позволяет более полно и точно устанавливать родственные отношения видов.

В случае большой панды применение концепции молекулярных часов позволило нам выяснить происхождение этого вида, что решило тем самым проблему, которая волновала умы систематиков более ста лет.

бождаются и начинают свою разрушительную работу. Отмечено, что хлористый водород, единственным известным источником которого являются вещества антропогенного происхождения, присутствует в полярном вихре весной также в большем количестве.

Дж. Фарман из Британской антарктической службы, впервые описавший озоновую дыру, считает, что хлорфторуглероды попадают в стратосферу вблизи экватора и что соединения хлора, образующиеся при их распаде, засасываются в полярный вихрь по мере того, как воздух в нем антарктической зимой охлаждается. Альтернативная теория образования дыры, у которой, однако, остается все меньше сторонников, утверждает, что озоновая дыра возникает вследствие поднятия бедного озоном воздуха с меньших высот. Сделать однозначный выбор в пользу одной или другой точки зрения окажется трудной задачей, так как многие важные измерения могут вестись пока только при солнечном свете. Сейчас разрабатываются новые приборы, которые позволят обойти эту трудность, и тогда наблюдения можно будет распространить и на полярную ночь. Нерешенной проблемой остаются измерения в движущихся воздушных потоках во время антарктической ночи: добраться до континента в это время невозможно и получить назад шарызонды не удастся.

Правительства многих стран решили не ждать, пока им будут представлены окончательные доказательства. В сентябре страны, на долю которых приходится 80% вырабатываемых в мире хлорфторуглеродов, подписали протокол к Венской конвенции по защите озонового слоя. Этот протокол обязывает их к 1999 г. снизить потребление хлорфторуглеродов и других соединений, разрушающих озон, до половины уровня 1986 г. Развивающимся странам предоставляется дополнительный 10-летний период.

*Осторожнее с косметикой! **

СОВРЕМЕННЫЕ женщины все больше пользуются косметическими средствами. В развитых странах производство различных препаратов для макияжа стало немаловажной отраслью промышленности. Но в связи с широким использованием косметики распространились и осложнения, обусловленные токсичностью косметических средств.

Наука и общество

Куда же уходит озон?

ДАННЫЕ продолжающихся измерений в Антарктике проливают свет на особенности химического состава стратосферы, объясняющего, как полагают, образование каждой весной над Антарктикой озоновой «дыры» — временного утончения атмосферного озонового слоя (см. рубрику «Наука и общество» в журнале «В мире науки», 1987 г., № 10). Похоже, что окончательное доказательство того, причастны ли к образованию дыры хлорфторуглероды (антропогенные вещества, используемые в качестве охладителей и растворителей), в ближайшие годы получено не будет. Однако данные, опубликованные в начале сентября прошлого года в журнале «Nature», похоже, убедили большинство исследователей, что приведенное объяснение является самым правдоподобным. Предварительные результаты новых самолетных измерений в Антарктике, проведенных Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства, должны были появиться в конце сентября.

Уменьшение содержания озона в атмосфере, если оно действительно происходит, создаст серьезную угрозу, поскольку озоновый слой защищает все живое на Земле от солнечного ультрафиолета. Установлено, что, подвергаясь более сильному облучению ультрафиолетовой радиацией, человек имеет большую вероятность заболеть раком кожи.

Озоновая дыра располагается в полярном вихре — огромной массе воздуха, которая остается изолированной над Антарктикой в продолжение длинной полярной ночи и, частично, весны. Данные, опубликованные в журнале «Nature» К. Фармером и его коллегами из Лаборатории реактивного движения, показывают, что в сентябре—октябре, т. е. весной Южного полушария, когда озона в вихре становится меньше, содержание простых соединений хлора, таких, как хлористый водород и нитрат хлора, резко возрастает.

Лабораторные эксперименты показывают, что такие соединения могут разрушать озон. Исходя из этого, авторы статьи считают полученные ими результаты «несомненно подтверждающими» гипотезу о том, что соединения хлора, которые образуются главным образом из промышленных хлорфторуглеродов, приводят к уменьшению содержания атмосферного озона. Этот вывод подкрепляют и более ранние исследования, показавшие, что весной наблюдаются локально высокие значения монооксида хлора, образующегося при разрушении озонового слоя.

Концентрация соединений хлора, похоже, коррелирует с температурой. Авторы высказывают предположение, что эти соединения захватываются в конденсированном виде полярными стратосферными облаками во время зимы Южного полушария. Когда весной Солнце появляется из-за горизонта и температура начинает повышаться, эти соединения высво-

Потребительское качество косметического средства определяется его способностью плотно прилегать к коже, обеспечивая эластичность и смягчая ее поверхность за счет образования мягкой пленки. Тени для глаз и тушь для ресниц наряду с привлекательной окраской должны обладать улучшенными косметическими свойствами — иметь повышенную устойчивость к водным растворам, не осыпаться, не накапливаться в складках кожи; тушь должна прикрепляться к ресницам, увеличивая их длину, так, чтобы они в то же время не слипались. Многие свойства косметических средств определяются тем, что в их состав входят в значительных концентрациях (20-80%) липиды, содержащиеся в большом количестве остатки полиненасыщенных длинноцепочечных ($C_5 - C_{24}$) жирных кислот. Но эти липиды в процессе хранения и использования препарата могут спонтанно окисляться. Вещества, появляющиеся в результате автоокисления липидов в косметических средствах, могут изменять их цвет, запах, устойчивость, а кроме того, могут быть токсичны для кожи и глаз. Некоторые косметические средства вызывают дерматиты и конъюнктивиты, в механизме развития которых определенную роль играют процессы перекисного окисления липидов.

Офтальмологам в их практике часто приходится сталкиваться с бытовыми конъюнктивитами невыясненной этиологии у женщин. В Московском научно-исследовательском институте глазных болезней им. Гельмгольца под руководством профессора Э.В. Егоровой была проведена большая работа с целью оценить качество различных косметических средств для глаз в зависимости от способности липидов, входящих в их состав, подвергаться перекисному окислению в процессе хранения и использования; статья об этом недавно опубликована в «Вестнике офтальмологии». Сотрудник института М.А. Бабижаев проанализировал образцы коммерческих косметических препаратов краски для ресниц различных парфюмерных фирм: «Maquicils», Lancôme (Франция); Estée Lauder, Dist. «Lustrous Black», New-York — London — Paris; Louis Phillipe (Франция); «Пчелка», Рассвет (СССР). Качество их определяли по спектрам поглощения и флуоресценции липидных экстрактов сразу же после приобретения препарата и вскрытия расфасовочной упаковки, а затем в различные сроки по мере хранения и использования.

Оказалось, что в процессе хранения и использования спектры поглощения

и флуоресценции характерным образом изменяются. Эти изменения свидетельствовали об исчезновении одних компонентов и появлении других. В частности, наблюдались признаки образования диеновых конъюгированных структур, которые возникают в результате перегруппировки метилен-разделенных двойных связей — $CH_2 - CH =$
 $= \dots - CH = CH - \dots =$
 $= CH - CH_2 -$ в сопряженную диеновую структуру — $C = C - C =$
 $= C -$. Это отражает накопление первичных продуктов автоокисления полиненасыщенных жирных кислот. Наблюдались также признаки кетодиенов, которые тоже являются индикаторами активации процесса перекисного окисления липидов. Косметические средства обычно содержат длинноцепочечные ненасыщенные ($C_6 - C_{24}$) жирнокислотные остатки с метилен-разделенными двойными связями, поэтому можно ожидать, что в ходе их перекисного окисления легко могут образовываться конъюгированные и неконъюгированные гидроперекиси полиненасыщенных жирных кислот. Как известно, образование большого числа сопряженных двойных связей в жирнокислотных остатках должно сопровождаться появлением характерных флуорофоров в липидном экстракте. Действительно, при анализе косметических средств некоторых фирм было обнаружено накопление флуоресцирующих продуктов перекисного окисления липидов. Препараты фирм Louis Phillipe и особенно Estée Lauder оказались более устойчивыми к окислению: в их составе практически не обнаруживалось продуктов перекисного окисления липидов даже при длительном хранении и использовании.

Поскольку содержащиеся в косметических средствах липиды потенциально способны к автоокислению, при пользовании косметикой возможна сенсibilизация организма вследствие активации нейтрофилов и макрофагов (эти клетки выполняют защитные функции) частицами препарата и активация ферментных систем, контролирующих реакции перекисного окисления (липоксигеназы, циклооксигеназы). В результате образуются простагландины и другие вещества — медиаторы воспаления, и развивается воспалительная реакция, что и наблюдается при конъюнктивитах и дерматитах, вызванных косметическими средствами.

У тех, кто долго и много пользуется кремами для кожи лица, довольно часто встречаются легкие расстройства гормональной регуляции. Количество косметического препарата, попа-

дающее через кожу в организм, очень невелико. Почему же крошечные дозы оказывают столь заметное действие? Дело, вероятно, в особенностях кровообращения в этой области тела: часть венозной крови поступает от тканей лица и глазниц в полость черепа, причем довольно близко от гипоталамуса, где находятся нервные центры гормональной авторегуляции. Можно предположить, что токсичные продукты автоокисления косметических средств, наносимых на кожу лица, попадают с током крови в гипоталамическую область и там вмешиваются в процессы регуляции. Если содержание продуктов перекисного окисления липидов превышает некоторый порог, то снижается поступление в кровь гормонов гипофиза, изменяется работа коры надпочечников. Косметический препарат, проникнув через кожу лица и веки, подает, таким образом, ложный сигнал о якобы избыточной функции желез внутренней секреции и провоцирует ослабление их работы.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что целесообразно включать в состав косметических средств антиоксиданты, чтобы избежать окисления липидных компонентов и предотвратить патологические процессы в организме. Для этого достаточно добавлять в препараты 3,5-дитретбутил-4-гидрокситолуол (ио нол), 3(2)-третбутил-4-гидроксианизол или α -токоферол, в остальном не изменяя ни состав, ни технологию промышленного изготовления. Другая возможность защиты — применение дипептидов, способных тормозить развитие воспалительных и аллергических реакций, а также удалять продукты перекисного окисления из липидной фазы.

Разработанный Егоровой и Бабижаевым способ регистрации продуктов перекисного окисления липидов в косметических средствах может служить удобным экспресс-методом определения потенциальной способности препарата вызывать токсические реакции. МНИИ глазных болезней им. Гельмгольца намерен вести дальнейшие исследования в этой области совместно с рядом парфюмерных фирм. В частности, большой интерес к полученным результатам проявила представитель французской фирмы Christian Dior Клод Нузей (хотя продукция именно этой фирмы оказалась наилучшей в обсуждаемом здесь аспекте). Такие исследования позволяют выявить в косметической продукции компоненты, токсичные для кожи лица и глаз, и дать рекомендации для улучшения изделий.

Демоны, двигатели и второе начало термодинамики

С 1871 г. физики пытались разрешить загадку демона Максвелла: воображаемого существа, которое может нарушать второе начало термодинамики. Решение дает теория вычислений

ЧАРЛЗ Г. БЕННЕТ

ОДНО ИЗ СЛЕДСТВИЙ второго начала термодинамики состоит в том, что такие устройства, как холодильники, создающие неравенство температур, требуют для своей работы затрат энергии. И наоборот: имеющуюся разность температур можно использовать для совершения полезной работы. Эта идея реализована, например, в паровых двигателях, принцип действия которых основан на использовании разности температур между горячим котлом и холодным конденсатором. Но еще в 1871 г. шотландский физик Джеймс Кларк Максвелл высказал предположение (оно было сформулировано в его работе «Теория теплоты»), что некое существо, достаточно маленькое, чтобы быть способным видеть отдельные молекулы и управлять ими, могло бы нарушить этот закон, т. е. создавать и поддерживать разницу температур, не совершая никакой работы:

«... Мы видели, что в наполненном воздухом сосуде, температура которого однородна, молекулы движутся далеко не с одинаковыми скоростями... Теперь предположим, что такой сосуд разделен на две части, А и В, перегородкой с маленьким отверстием и что некое существо, которое способно видеть отдельные молекулы, открывает и закрывает это отверстие так, чтобы пропускать из А в В только быстрые молекулы, а из В в А только медленные. Оно будет, таким образом, повышать температуру в В и понижать ее в А, что противоречит второму началу термодинамики».

ВСКОРЕ «существо» получило название «демона Максвелла» — дань необычайным способностям этого существа вмешиваться в естественный порядок вещей. Самое важное из

всего, что сулит этот демон, это то, что отпадает необходимость в источниках энергии, будь то нефть, уран или солнечное тепло. Машины всех видов могли бы работать без батарей и бензобаков. К примеру, демон Максвелла позволил бы получать энергию от парового двигателя, вообще не сжигая топлива: он бы постоянно поддерживал котел горячим, а конденсатор холодным.

Желая защитить второе начало термодинамики, физики выдвигали много объяснений тому, почему придуманный Максвеллом демон не сможет работать, как считал его создатель. Удивительно, но почти все эти объяснения оказались несостоятельными. Часто неудачи возникали потому, что ученые неправильно применяли результаты, полученные в новых областях физики; многие считали (как выяснилось, ошибочно), что различные ограничения, которые налагает квантовая теория, делают невозможным существование демона Максвелла.

Правильный ответ — истинная причина, по которой демон Максвелла не может нарушить второе начало термодинамики, — был получен лишь недавно. Он появился неожиданно на весьма далеком от термодинамики направлении исследований, связанном с расчетом энергетических требований, соблюдение которых необходимо для обеспечения работы компьютера.

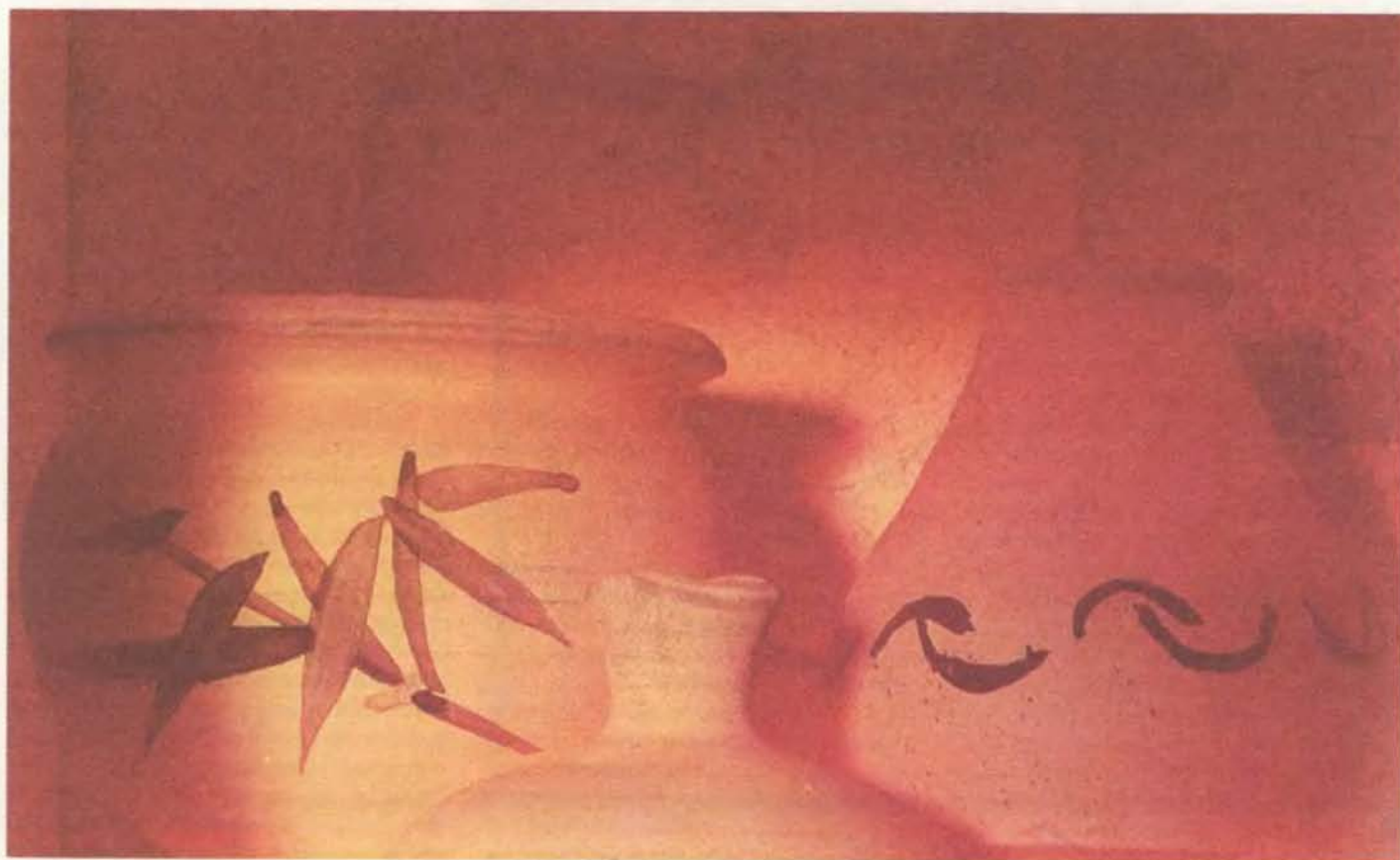
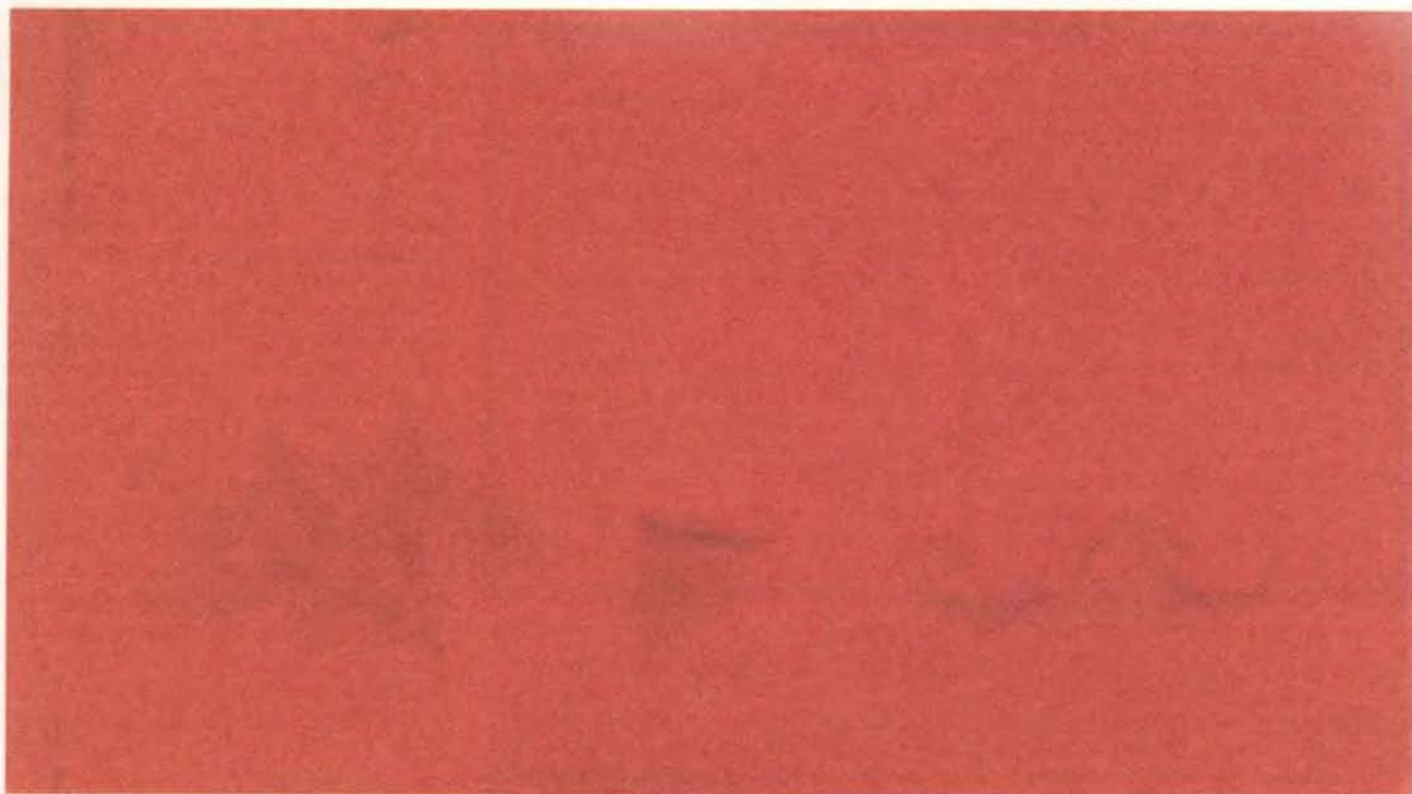
СО ВРЕМЕН Максвелла были придуманы многие разновидности его демона. Один из простейших демонов создает разность давлений (а не температур), позволяя всем молекулам независимо от того, быстрые они или медленные, проходить из отсека В в соседний отсек А, но не пуская

их из отсека А в отсек В. При этом постепенно большинство молекул должно собраться в отсеке А, между тем как в отсеке В будет частичный вакуум. Этот демон более приемлем, чем первый демон Максвелла, поскольку не обязан видеть и думать. Далеко не очевидно, почему такой демон — клапан с одним направлением пропускания молекул — не может быть реализован в виде простого неживого устройства, например в виде крошечной дверцы на пружине.

Подобно первому демону, придуманному самим Максвеллом, «демон давления» мог бы открыть неиссякаемый источник энергии для самых разных механизмов. Например, отбойные молотки, применяемые при ремонте дороги, работают, как правило, на сжатом воздухе, который подается от компрессора, работающего в свою очередь на бензине. Клапан с одним направлением пропускания мог бы с успехом заменить компрессор, собирая без всяких, так сказать, усилий окружающий воздух в резервуар высокого давления.

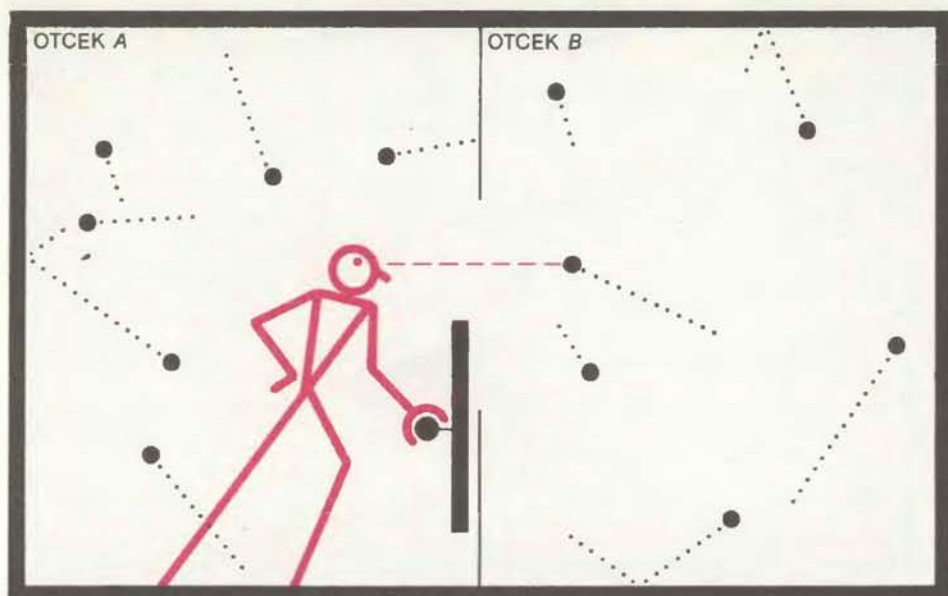
Кто-нибудь может решить, что такое устройство нарушает закон сохранения энергии (первое начало термодинамики), но это не так. Энергия, затрачиваемая на разрушение асфальта, берется в этом случае из теплоты воздуха, собранного с помощью клапана с одним направлением пропускания: проходя через механизмы, воздух охлаждается. В первом начале нет ничего, что бы запрещало существование двигателя, использующего для работы одну лишь теплоту окружающей среды и даже теплоту, выделяемую при трении в этом двигателе или содержащуюся в выхлопе. Существование таких двигателей несовместимо именно со вторым началом.

Чтобы проследить более внима-



ОДНОРОДНОЕ СВЕЧЕНИЕ в раскаленной печи (*вверху*) иллюстрирует одно из следствий второго начала термодинамики: невозможно различить предметы в сосуде с однородной температурой, не прибегая к помощи внешнего источника света, более горячего, чем температура сосуда. В сосуде с однородной температурой предметы светятся так, что поверхность каждого из них испускает свет одной и той же интенсивности и цвета (даже если отражающая способность и цвета этих предметов различны). Причина состоит в том, что если бы какой-нибудь предмет казался более темным, это значило бы, что он поглощает больше

энергии, чем его окружение. В результате он должен был бы нагреваться, а соседние с ним предметы охлаждаться. В соответствии со вторым началом термодинамики, однако, объекты, имеющие первоначально одинаковую температуру, не могут самопроизвольно нагреться или охладиться так, чтобы их температуры стали разными. (Некоторый контраст на этой фотографии объясняется тем, что температура в печи не вполне однородна.) При облучении светом от внешнего источника предметы становятся видны из-за различия их отражательных способностей (*внизу*).



ДЕМОН МАКСВЕЛЛА, описанный в 1871 г. Джеймсом Кларком Максвеллом, как будто бы способен нарушить второе начало термодинамики. Демон управляет заслонкой, закрывающей отверстие в перегородке между отсеками, где находится газ при одинаковых температурах и давлениях. Демон следит за молекулами, подлетающими к отверстию. Он открывает и закрывает заслонку так, что быстро движущиеся молекулы могут проходить из отсека А в отсек В, но не в обратную сторону. Медленно движущиеся молекулы, напротив, он пропускает только из В в А. По мере того как демон трудится, отсек В нагревается, а отсек А охлаждается. Согласно второму началу термодинамики, для создания разницы температур между двумя объектами необходимо совершить некоторую работу; в данном случае это требование нарушается, поскольку работу на перемещение заслонки можно сделать сколь угодно малой.

Только за работой демона, нужно разобратся в некоторых тонкостях рассматриваемого явления. Первоначально формулировка второго фундаментального принципа термодинамики была такова, что она накладывала определенные ограничения на возможность превращения теплоты в работу, но в наше время его рассматривают главным образом как принцип увеличения беспорядка во Вселенной. В соответствии с этим принципом или вторым началом энтропия (мера беспорядка) Вселенной как целого не может убывать. Это означает, что возможные процессы только двух видов: такие, при которых энтропия Вселенной возрастает, и такие, при которых она остается неизменной. Первые называют необратимыми процессами, поскольку «запустить» их в обратном направлении означало бы нарушить второе начало термодинамики. Вторые называются обратимыми процессами. Совершая работу над некоторой системой, можно уменьшить ее энтропию, но при этом энтропия другой системы (которая по отношению к первой является внешней) увеличится на такую же или большую величину.

Примером классического необратимого процесса, который к тому же помогает разобратся несколько более

детально в понятии энтропии, служит свободное расширение газа. Предположим, что один отсек камеры, наполненный газом, отделен перегородкой от другого отсека с вакуумом. Если проделать в перегородке маленькое отверстие, газ начнет перетекать через него в первоначально пустой отсек (т. е. свободно расширяться). Это будет происходить до тех пор, пока в обоих отсеках количество газа не станет одинаковым.

Причина, по которой молекулы стремятся заполнить оба отсека, скорее математическая, чем физическая, если только о таком различии в интерпретации вообще можно говорить. Число молекул по ту и другую сторону перегородки имеет тенденцию сделаться одинаковым не потому, что молекулы отталкиваются друг от друга и стремятся разлететься как можно дальше, а потому, что вследствие многих столкновений со стенками камеры и друг с другом они более равномерно распределяются в доступном для них пространстве, пока примерно половина из них не окажется по одну сторону перегородки, а другая половина — по другую сторону.

Поскольку разбегание молекул имеет вероятностный характер и не связано со взаимным отталкиванием, существует и некоторая вероятность

того, что все молекулы вновь соберутся в том отсеке, из которого они вылетели. При наличии n молекул вероятность того, что все они вернуться в первый отсек, равна вероятности того, что при бросании монеты n раз во всех случаях выпадет, скажем, «орел», а эта вероятность равна $1/2^n$. Поэтому при любом достаточно большом числе молекул (в 1 г водорода, например, содержится приблизительно 3×10^{24} молекул) свободное расширение газа по существу является необратимым процессом, т. е. таким, спонтанное обратное направление которого хотя и возможно, но настолько маловероятно, что можно с уверенностью говорить о его ненаблюдаемости.

НЕУПОРЯДОЧЕННОЕ состояние — такое, например, как равномерное распределение газа между двумя отсеками, — имеет большую вероятность встретиться в природе, чем упорядоченное состояние — такое, например, как нахождение всех молекул в одной половине камеры. Иными словами, существует гораздо больше вариантов распределения молекул в пространстве, когда они занимают оба отсека. Точно так же при 100 бросаниях монеты гораздо больше вероятность того, что 50 раз выпадет «орел» и 50 раз «решка», чем 100 раз «орел» и ни одного раза «решка». Утверждая, что энтропия Вселенной возрастает, второе начало термодинамики лишь отмечает, что с течением времени Вселенная стремится перейти в более и более вероятное состояние.

Можно ли такое утверждение выразить в количественном виде? Другими словами, можно ли сказать, насколько возросла неупорядоченность газа после того, как он, расширившись, занял оба отсека? Рассмотрим одну молекулу газа. Если у нее есть возможность странствовать по обоим отсекам, то она может занимать и вдвое больше положений по сравнению со случаем, когда ее движение ограничено одним отсеком. Если в камере, состоящей из двух отсеков, находятся две молекулы, то каждая из них может занимать в два раза больше положений, чем если бы она находилась в одном отсеке, поэтому система в целом имеет в 2×2 , т. е. в 4 раза больше возможных состояний. В случае трех молекул система имеет в $2 \times 2 \times 2$, или в 8 раз больше возможных состояний.

Вообще говоря, если газ содержит n молекул, то заполнить два отсека он может в 2^n раз большим числом способов, чем один отсек. Говорят, что газ, занимающий два отсека, имеет в

2^n раз больше «возможных состояний», чем газ, ограниченный одним отсеком. Точно так же число возможных состояний большинства систем растет экспоненциально с ростом числа молекул.

В соответствии с вышесказанным энтропия системы определяется как логарифм числа возможных состояний. В рассмотренном нами случае с газом в камере из двух отсеков увеличение в 2^n раз числа возможных состояний соответствует возрастанию энтропии на n бит. (Основание логарифма, используемого для количественного выражения энтропии, а значит, и единица измерения энтропии могут быть выбраны произвольно; принято использовать логарифм по основанию 2, а в качестве единицы — бит.) Логарифмическая шкала дает то преимущество, что энтропия определенного количества вещества, так же как энергия этого вещества или его масса, оказывается примерно пропорциональной числу молекул в этом количестве вещества. Здесь можно провести аналогию с памятью компьютера: при прочих равных условиях размер, вес и стоимость памяти емкостью n бит примерно пропорциональны n , хотя число различных состояний памяти равно 2^n .

В РАНИХ интерпретациях второго начала термодинамики не упоминались такие понятия, как случайность или беспорядок; вместо этого использовались понятия теплоты, работы и температуры. Как связать такое описание с тем количественным подходом к определению энтропии, о котором только что шла речь?

Молекулы любого вещества всегда находятся в движении. Скорость и направление отдельно взятой молекулы являются случайными величинами, но средняя скорость молекул в образце пропорциональна корню квадратному из температуры образца (отсчитываемой от абсолютного нуля). Когда температура (а значит, и средняя скорость молекул) возрастает, значения скоростей отдельных молекул имеют больший разброс на оси скоростей по сравнению со случаем, когда температура мала.

Если средняя скорость молекул велика, каждая молекула имеет больше возможностей в смысле «выбора» скорости, подобно тому как молекула имеет больше возможностей занять различные положения в двух отсеках камеры, чем в одном отсеке этой же камеры. Таким образом, при высокой температуре имеется больше возможных состояний, чем при низкой температуре. Движение молекул при высокой температуре менее упорядоченно,

поскольку труднее предсказать, какую скорость будет иметь отдельная молекула.

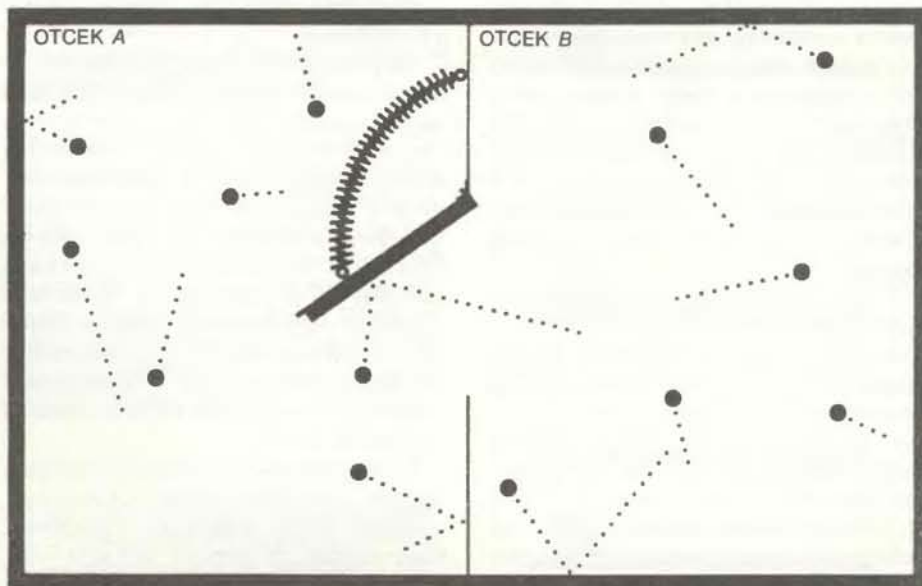
При подсчете энтропии системы необходимо учитывать неупорядоченность и движения молекул и их положений. Энтропия газа может возрастать как с увеличением занимаемого им объема, так и с повышением его температуры, поскольку в обоих случаях движение молекул становится менее упорядоченным.

Таким образом, вместе с притоком теплоты увеличивается и энтропия. Если быть точным, теплота привносит количество энтропии, пропорциональное ей самой и обратно пропорциональное температуре системы. Отсюда следует, что в процессе теплообмена между горячим и холодным телами энтропия холодного тела возрастает быстрее, чем уменьшается энтропия горячего тела (количество теплоты, отдаваемое горячим телом, равно количеству теплоты, поглощенному холодным, однако, вычисляя энтропию, необходимо в случае горячего тела делить эту величину на большую температуру, чем в случае холодного тела). Следовательно, при теплообмене между горячим и холодным телами энтропия Вселенной возрастает.

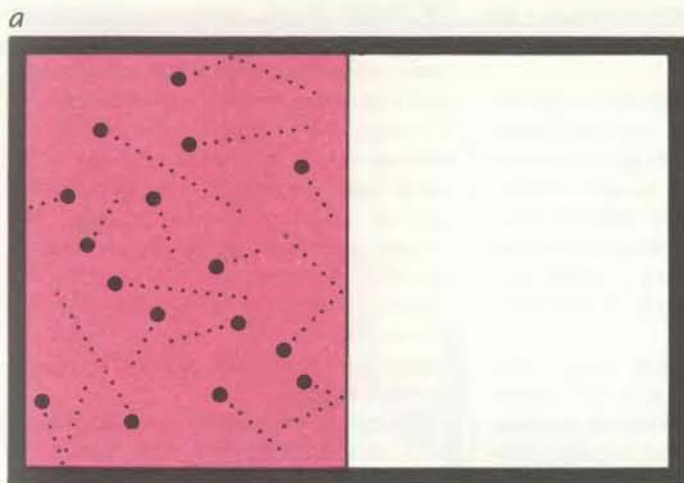
ТАКОЕ более точное определение энтропии позволяет лучше понять, почему демон Максвелла нарушает второе начало термодинамики. Сортируя молекулы, демон поддерживает поток тепла из отсека А в отсек В даже тогда, когда В оказывается теплее, чем А. Демон понижает энтропию отсека А на большую величину, чем повышает энтропию отсека В. Значит, в целом демон понижает энтропию Вселенной, т. е. совершает невозможную с точки зрения термодинамики вещь.

Представляя своего демона, Максвелл дал ясно понять, что сам он не сомневается в справедливости второго начала термодинамики. Максвелл высказал предположение, что неспособность человека нарушить второе начало (так, как это делает демон) объясняется просто тем, что человек не в состоянии видеть отдельные молекулы и управлять ими. Однако изгнать демона с помощью такого заклинания все же не удастся, поскольку остается открытым вопрос: а может ли существо, способное видеть молекулы и управлять ими (если бы оно нашлось где-нибудь во Вселенной), нарушить второе начало термодинамики?

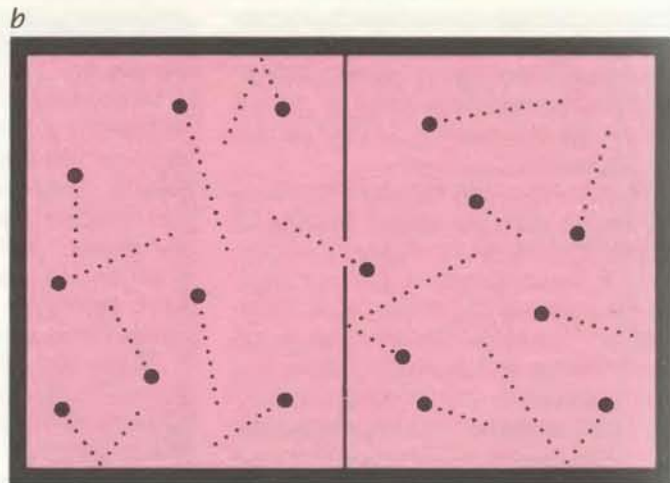
Одна из возможностей понять при-



ДВЕРЦА, изображенная на этом рисунке, является разновидностью демона Максвелла и предназначена для создания разницы давлений, а не температур. Под действием пружины она закрывает отверстие между отсеками А и В, первоначально наполненными газом с одинаковой температурой и давлением. Дверь распахивается только в одном направлении, пропуская молекулы из отсека В в отсек А, но не наоборот. Можно думать, что в конце концов в отсеке А молекул скопится больше, чем в отсеке В, и в них установится разность давлений. Но этого не происходит. Дверца, нагретая в результате бомбардировки молекулами, начинает болтаться на шарнирах, открываясь и закрываясь случайным образом. В открытом состоянии она не может служить клапаном, пропускающим молекулы только в одном направлении; если же она закрывается, то может вытолкнуть молекулу из А в В. Этот последний процесс идет с такой же скоростью, что и обратный — прохождение молекулы из отсека В в отсек А.



СВОБОДНОЕ РАСШИРЕНИЕ газа — это термодинамически необратимый процесс, т. е. такой, при котором энтропия (или беспорядок) Вселенной возрастает. Вначале газ находится в одном отсеке двухсекционной камеры (а). Перего-



родку между отсеками протыкают, и молекулы через отверстие просачиваются из одной части камеры в другую, пока в обеих не окажется примерно равное число молекул (б).

чины, по которым демон Максвелла не будет работать, — это проанализировать и отвергнуть различные простые неодушевленные механизмы, которые могли бы играть роль демона. Это может быть, например, упомянутая нами дверца с пружиной, которая служит клапаном, пропускающим молекулы только в одном направлении.

Пусть эта дверца открывается справа налево. Чтобы выполнять функции демона, дверца должна открываться всякий раз, когда в нее ударяется молекула, находящаяся в правом отсеке. В то же время, если молекула ударяется в дверь слева, та захлопывается и не пропускает ее. Постепенно все молекулы окажутся в левом отсеке. Это будет означать, что демон сжал газ (и уменьшил его энтропию), не совершив никакой работы над ним.

Почему описанное устройство не будет работать? Прежде всего пружина, под действием которой дверца захлопывается, должна быть довольно слабой. Работа по сжатию пружины при открывании дверцы должна быть сравнима со средней кинетической энергией молекул газа. В 1912 г. М. Смолуховский показал, что под действием многократных ударов молекул дверца в конце концов начнет болтаться случайным образом, приобретая соответствующую кинетическую (т. е. тепловую) энергию. Энергия случайного движения дверцы будет примерно равна энергии ударяющихся в нее молекул, поэтому дверца будет вращаться на петлях, то ударяясь о косяк, то открываясь и преодолевая сопротивление пружины.

Когда дверца открыта, она, разумеется, не может служить клапаном, поскольку молекулы в этом случае могут свободно пролетать в обоих на-

правлениях. Остается надеяться, что дверца будет действовать как несовершенный демон, задерживающий в левом отсеке хотя бы часть молекул, но на самом деле она не способна даже на это. Свойство дверцы действовать подобно клапану, открываясь и пропуская молекулу, подлетающую справа, полностью сводится на нет противоположной тенденцией: захлопываться в тот момент, когда перед ней оказывается молекула, и выталкивать эту молекулу из левого отсека в правый (в этом деле дверце помогает пружина).

Два процесса — проскакивание молекулы мимо дверцы справа налево и выталкивание дверцей молекулы из левого отсека в правый — являются взаимно обратными в чисто механическом смысле: если заснять на пленку первый процесс и пустить пленку в обратном направлении, то получим картину второго процесса. Если температура окружающей среды и давление поддерживаются постоянными, то оба процесса идут с одинаковой скоростью и выполнять роль демона дверца не может.

Если давление по разные стороны дверцы различно, такое устройство, конечно, будет работать. Подобные конструкции большого размера монтируются вместе с вентиляторами и устанавливаются в общественных местах, например в ресторанах; они позволяют выгонять спертый воздух из помещения и в то же время не пропускают сразу большое количество холодного воздуха с улицы. Микроскопические устройства такого типа действовали бы сходным образом: они пропускали бы молекулы при наличии избыточного давления с одной стороны дверцы и отсекали поток в случае, если давление больше с другой стороны. Такие устройства не нару-

шали бы второе начало термодинамики, поскольку приводили бы лишь к выравниванию давлений, но не создавали областей повышенного давления.

ЕСЛИ ПРОСТЕЙШИЙ механический демон не в силах выполнять свои обязанности, то, быть может, на это способен его более умный собрат? После того как Максвелл описал своего демона, многие исследователи пришли к мнению, что ключевым свойством демона, от которого зависит его способность надлежащим образом функционировать, является разум. В частности, Смолуховский писал в 1914 г.: «Насколько нам известно сегодня, не существует постоянно действующего автоматического механизма вечного движения, действующего вопреки флуктуациям на молекулярном уровне, однако такое устройство возможно, смогло бы работать должным образом, если бы им управляло разумное существо».

Физик Л. Сцилард попытался проделать количественный анализ этой проблемы, результаты которого он изложил в 1929 г. в статье, озаглавленной «О возможности уменьшения энтропии термодинамической системы благодаря вмешательству разумного существа». Хотя название статьи как будто бы предполагает возможность нарушения второго начала термодинамики разумным демоном, в самой статье это предположение отвергается и делается вывод, что никакое существо, разумное или неразумное, не в состоянии этого сделать. Сцилард считал, что наблюдение, или измерение, которое должен предпринять демон (скажем, для того, чтобы увидеть, с какой стороны подлетает молекула), не может обойтись без совершения некоторой рабо-

ты и что эта работа вызывает такое возрастание энтропии, которое достаточно для «спасения» второго начала термодинамики.

Сцилард рассмотрел демона, который в некоторых отношениях отличается от максвелловского; он получил наименование двигателя Сциларда. Устройство, описываемое в этой статье, несколько отличается от оригинального двигателя Сциларда. Основным компонентом двигателя является цилиндр, в котором находится одна-единственная молекула, совершающая хаотическое тепловое движение. С обеих сторон цилиндр закрыт поршнями; кроме того, в цилиндр можно вводить тонкую перегородку, которая отделяет молекулу от одной или другой части цилиндра (см. рисунок справа). Двигатель также снабжен устройством, позволяющим определить, в какой половине цилиндра находится молекула, и памятью, в которой хранится эта информация.

Цикл работы двигателя состоит из шести шагов. На первом шаге в цилиндр вставляется перегородка и молекула оказывается «запертой» в одной из половин цилиндра. Сцилард полагал, что работа, идущая на установку перегородки, может быть пренебрежимо малой.

На следующем шаге измерительное устройство определяет, в какой половине цилиндра находится молекула. Память может иметь три состояния: «пустое» состояние означает, что измерение сделано не было, состояние Л отвечает тому, что молекула была обнаружена в левой половине цилиндра, а состояние П — что она оказалась в правой половине. После выполнения измерения память переходит из «пустого» состояния в состояние Л или П.

На третьем шаге, который может быть назван тактом сжатия, действие определяется информацией, получен-

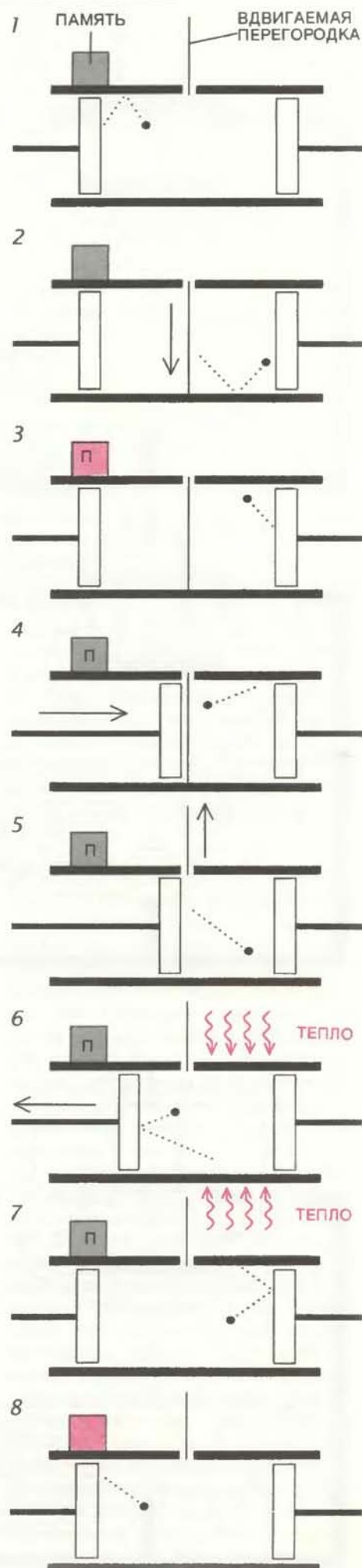
ной на предыдущем шаге. Поршень, располагающийся с той стороны цилиндра, где молекулы нет, вдвигается внутрь, пока не встретится с перегородкой. В отличие от сжатия в двигателе внутреннего сгорания работа в данном случае не совершается, поскольку поршень «сжимает» пустое пространство (молекула, находящаяся по другую сторону перегородки, не может оказать сопротивление перемещению поршня).

Наконец, на четвертом шаге перегородка убирается и молекула получает возможность сталкиваться с вдвинутым в цилиндр поршнем. В результате поршень испытывает некоторое давление со стороны молекулы.

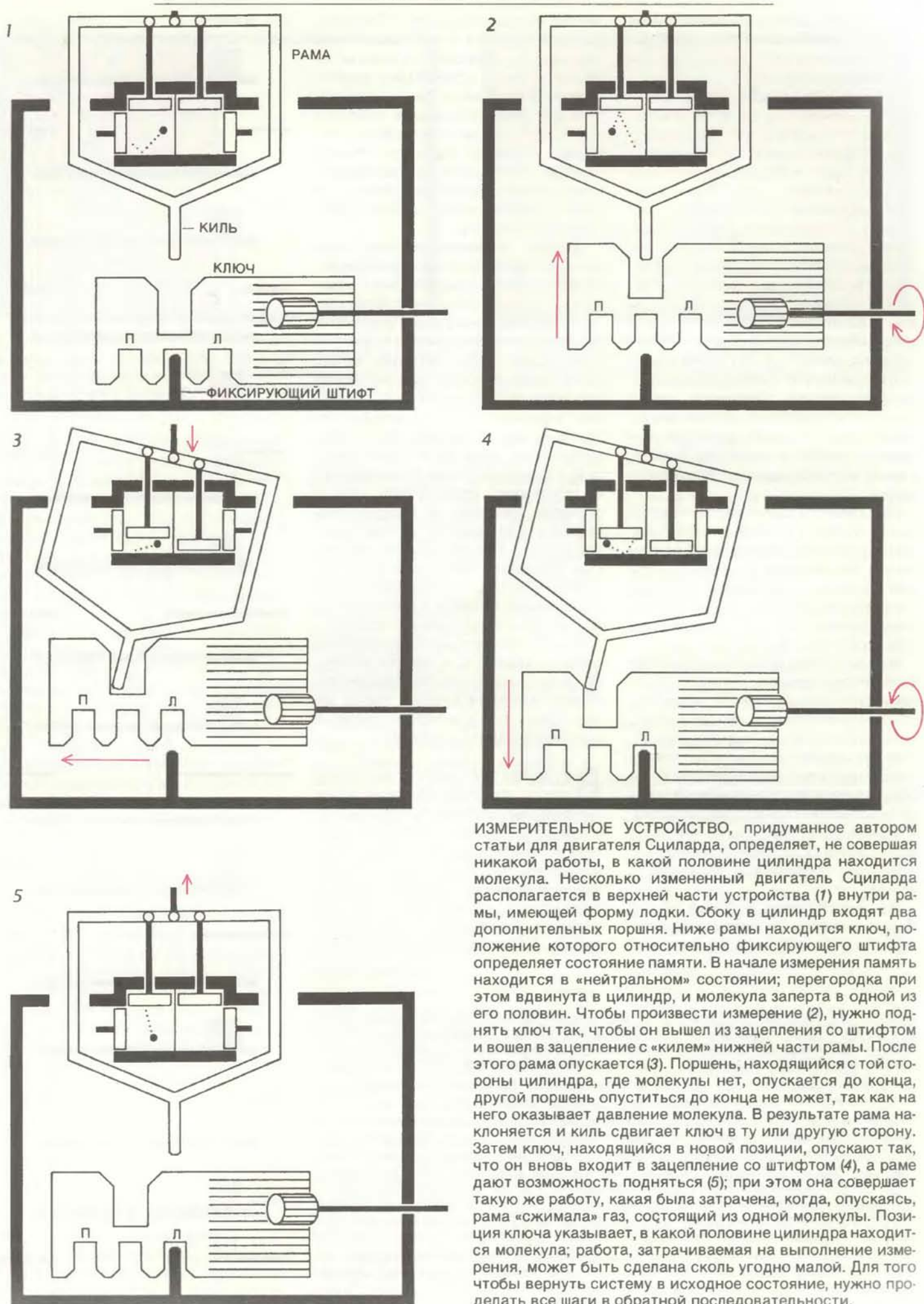
На пятом шаге, который может быть назван рабочим тактом, давление, оказываемое молекулой, заставляет поршень двигаться назад, т. е. молекула совершает над ним некоторую работу. Энергия, которую молекула передает поршню, возвращается в результате теплообмена между стенками цилиндра и окружающей средой, так что молекула продолжает двигаться с той же средней скоростью. Следовательно, суть рабочего такта состоит в изъятии теплоты из окружающей среды и в превращении ее в механическую энергию поршня.

На шестом шаге вся информация в памяти стирается, и память переходит в «пустое» состояние. Теперь двигатель находится точно в таком же состоянии, что и в начале цикла, и цикл может быть повторен.

В РЕЗУЛЬТАТЕ выполнения шести шагов как будто бы происходит превращение теплоты, отобранной из окружающей среды, в работу, и при этом газ и двигатель возвращаются к исходному состоянию. Если никакие другие изменения во время цикла не происходили, следует признать, что энтропия Вселенной в целом уменьшилась. В принципе цикл может быть



ДВИГАТЕЛЬ СЦИЛАРДА, схематично изображенный на основе описания, которое в 1929 г. дал Л. Сцилард. Это устройство на первый взгляд нарушает второе начало термодинамики, забирая теплоту окружающей среды и превращая ее в работу. Двигатель (1) состоит из цилиндра, закрытого с обеих сторон поршнями, вдвигающейся внутрь цилиндра перегородки, датчика содержимого цилиндра и памяти, в которую записывается информация с этого датчика. В цилиндре находится одна молекула. В начале цикла (2) перегородка опускается и молекула оказывается запертой в одной половине цилиндра. Измерительное устройство (датчик) определяет, в какой половине находится молекула (3), и записывает эту информацию в память. Поршень, находящийся по другую сторону перегородки, вдвигается внутрь, пока не коснется перегородки (4). При вдвигании поршня никакая работа не совершается, поскольку он «сжимает» пустое пространство. После этого перегородка убирается (5), и молекула начинает ударяться о поршень, толкая его назад (6). («Газ», состоящий из одной молекулы, «расширяется» за счет выдвигания поршня.) Энергия, теряемая молекулой, которая совершает работу по выдвиганию поршня, возмещается из тепла окружающей среды. Когда поршень возвращается в первоначальное положение (7), информация из памяти стирается (8), и цикл начинается снова.



ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, придуманное автором статьи для двигателя Сциларда, определяет, не совершая никакой работы, в какой половине цилиндра находится молекула. Несколько измененный двигатель Сциларда располагается в верхней части устройства (1) внутри рамы, имеющей форму лодки. Сбоку в цилиндр входят два дополнительных поршня. Ниже рамы находится ключ, положение которого относительно фиксирующего штифта определяет состояние памяти. В начале измерения память находится в «нейтральном» состоянии; перегородка при этом вдвинута в цилиндр, и молекула заперта в одной из его половин. Чтобы произвести измерение (2), нужно поднять ключ так, чтобы он вышел из зацепления со штифтом и вошел в зацепление с «килем» нижней части рамы. После этого рама опускается (3). Поршень, находящийся с той стороны цилиндра, где молекулы нет, опускается до конца, другой поршень опуститься до конца не может, так как на него оказывает давление молекула. В результате рама наклоняется и киль сдвигает ключ в ту или другую сторону. Затем ключ, находящийся в новой позиции, опускают так, что он вновь входит в зацепление со штифтом (4), а раме дают возможность подняться (5); при этом она совершает такую же работу, какая была затрачена, когда, опускаясь, рама «сжимала» газ, состоящий из одной молекулы. Позиция ключа указывает, в какой половине цилиндра находится молекула; работа, затрачиваемая на выполнение измерения, может быть сделана сколь угодно малой. Для того чтобы вернуть систему в исходное состояние, нужно проделать все шаги в обратной последовательности.

повторен столько раз, сколько нужно для того, чтобы привести к ощутимым нарушениям второго начала термодинамики.

В поисках выхода из этого противоречия Сцилард предложил постулат, согласно которому процесс измерения (определения положения молекулы) приводит к возрастанию энтропии, достаточному для того, чтобы компенсировать уменьшение энтропии, происходящее во время рабочего такта. Сцилард не дал ясного ответа на вопрос, какова природа увеличения энтропии и в каком, так сказать, месте оно происходит, но на протяжении длительного времени после того, как он опубликовал свою работу, ряд физиков, в особенности Л. Бриллюэн (автор вышедшей в 1956 г. и получившей широкую известность книги «Наука и теория информации») и Д. Габор (известный как один из создателей голографии), искали способ более точно определить постулированную Сцилардом необратимость измерения. В частности, они пытались оценить затраты энергии и энтропии, идущие на наблюдение молекулы с помощью облучения ее внешним источником.

Бриллюэн и Габор опирались на теорию, которая была развита намного позже Максвелла, а именно на квантовую теорию излучения. В соответствии с классической волновой теорией света (в которую сам Максвелл внес фундаментальный вклад) энергия светового луча может быть сделана сколь угодно малой. Квантовая же теория утверждает, что свет состоит из волновых пакетов, называемых фотонами. Энергия фотона зависит от его частоты (или длины волны), которая, в частности, определяет цвет излучения; зарегистрировать менее чем один фотон невозможно. Как указывал Бриллюэн, для того чтобы молекулу можно было увидеть, она должна отразить по крайней мере один фотон из падающего на нее пучка света. Энергия фотона диссипирует в теплоту, а это приводит к увеличению энтропии по меньшей мере на такую же величину, на которую энтропия убывает в двигателе Сциларда благодаря получению информации о положении молекулы.

ПОЧЕМУ бы в таком случае не использовать пучок фотонов очень малых энергий? Этот путь невозможен в силу другого, более хитрого следствия квантовой теории. В соответствии с квантовой теорией излучения любой сосуд, стенки и содержимое которого поддерживаются при постоянной температуре, оказывается заполненным фотонным «газом» —

тепловым излучением. Длина волны, соответствующая этим фотонам, определяется температурой сосуда. Именно такой фотонный газ и обуславливает красное или оранжевое свечение в раскаленной печи. (При комнатной температуре большинство фотонов соответствует инфракрасной области спектра и поэтому невидимы.)

На первый взгляд, фотонный газ кажется удобным источником света, с помощью которого демон имеет возможность наблюдать молекулы (прибегать в этом случае к внешнему источнику света не требуется, а значит энтропия не изменяется). Однако одно из удивительных следствий второго начала термодинамики (выведенное в 1859 г. Густавом Робертом Кирхгофом) утверждает, что в сосуде, где температура однородна, нельзя ничего разглядеть при освещении, создаваемом свечением самого сосуда. Если, например, вы заглянете в печь, где обжигают горшки, то увидите равномерное оранжевое свечение, почти лишенное контрастов, хотя горшки могут иметь совершенно иные цвет, отражательную способность и текстуру поверхности.

Вам кажется, что предметы в горячей печи имеют одинаковые цвет и яркость, хотя на самом деле это не так, и в этом нетрудно убедиться, если осветить их снаружи ярким светом. Причина, по которой предметы исчезают из поля зрения в однородно нагретой печи, должна, стало быть, заключаться в том, что темные (т. е. слабоотражающие) предметы светятся пропорционально более ярко, чем светлые (сильноотражающие) предметы, так что суммарная интенсивность света, исходящего от предмета (отраженного и излучаемого), одинакова для всех предметов.

Чтобы понять, почему происходит такое странное выравнивание интенсивностей, предположим, что в действительности этого не происходит, и подумаем о том, какое значение это могло бы иметь для второго начала термодинамики. Допустим, два предмета, ваза и горшок, поставлены в горячую печь рядом и имеют одинаковую с печью температуру. Если бы интенсивность света, идущего от вазы к горшку, была больше, чем интенсивность света, идущего от горшка к вазе, то от вазы к горшку перетекала бы некоторая энергия. Горшок при этом становился бы теплее, а ваза холоднее.

Таким образом, не совершая работы, можно было бы одинаково нагреть предметы сделать нагретыми в разной степени (как если бы тут поработал демон Максвелла), и второе начало термодинамики оказалось бы

нарушенным. Таким образом, если считать второе начало справедливым, следует признать, что предметы, находящиеся в сосуде с однородной температурой, не могут излучать с разной интенсивностью.

Для того чтобы разглядеть предметы в печи, их нужно осветить светом от внешнего источника, например лампы накаливания, у которой температура нити выше, чем температура печи. В повседневной жизни такие источники (Солнце, например) и позволяют видеть объекты, находящиеся в «сосудах» с однородной (комнатной) температурой.

Бриллюэн, Габор и другие, имея представление о фотонном газе, показали, что демон Максвелла не может наблюдать молекулы, которые он должен сортировать, не пользуясь источником света. Поэтому они сделали вывод, что демон не может нарушить второе начало термодинамики. При каждом наблюдении демон должен затратить по крайней мере один фотон, причем энергия этого фотона должна быть больше, чем некоторая минимальная величина, определяемая температурой того газа, где находится демон. Приведенные аргументы, хотя они и не являются абсолютно строгими, казалось, укрепляют вывод Сциларда о том, что получение информации влечет за собой производство некоторого количества энтропии.

СЛЕДУЮЩИМ важным шагом на пути к изгнанию демона оказался один побочный результат, полученный в ходе исследования термодинамики обработки данных. Эта работа выполнялась Р. Ландауэром из фирмы IBM. Некоторые операции обработки данных, такие как переписывание данных с одного устройства на другое, аналогичны измерениям, поскольку при этом одно устройство получает информацию о состоянии другого устройства. Поэтому в 50-х годах широко распространилось мнение, что операции обработки данных являются по своей сути необратимыми (в термодинамическом смысле слова), как необратимы в целом, согласно рассуждениям Сциларда, и измерения. Считалось, что при любой такой операции необходимо создать или забрать теплоту в количестве одного бита в расчете на каждый бит обрабатываемой информации. (Эта величина крайне мала, она составляет примерно одну миллиардную часть теплоты, выделяемой современными электронными цепями компьютера.)

Около 1960 г. Ландауэр исследовал эту проблему более детально. Он обнаружил, что некоторые операции об-

работки данных действительно имеют определенную «стоимость» в смысле термодинамики, но другие, включая и перезапись данных с одного устройства на другое (при некоторых условиях), свободны от каких-либо фундаментальных термодинамических ограничений (см. статью: Шарль Г. Бенне, Рольф Ландауэр. Физические пределы вычислений, «В мире науки», 1985, № 9).

Доказательство Ландауэра началось с того, что различные логические состояния компьютера должны представляться различными физическими состояниями аппаратуры. К примеру, всякое возможное состояние памяти компьютера должно представляться своим физическим состоянием (т. е. набором токов, напряжений, полей и т. д.).

Предположим, что регистр памяти на n бит очищен. Иными словами, значение каждого элемента принято равным нулю, независимо от его предыдущего значения. До операции регистр в целом мог находиться в одном из 2^n состояний. После выполнения операции регистр может находиться лишь в одном состоянии. Операция, таким образом, «сжимает» множество логических состояний до одного аналогично тому, как поршень сжимает газ.

Из этой предпосылки Ландауэра следует, что, желая «сжать» логические состояния компьютера, необходимо также «сжать» его физические состояния, а значит понизить энтропию его физических цепей. В соответствии со вторым началом термодинамики, такое уменьшение энтропии электронных цепей не может происходить без повышения энтропии окружающей среды, в которой находится компьютер. Следовательно, нельзя очистить регистр памяти, не произведя некоторого количества теплоты и не внося некоторую добавку к энтропии окружающей среды. Очищение памяти есть термодинамически необратимая операция.

Ландауэр нашел несколько других термодинамически необратимых операций. У всех у них есть одна общая черта: они уничтожают информацию о прошлом состоянии компьютера. Говоря словами Ландауэра, такие операции «логически необратимы».

Связь этих идей с проблемой измерения, исследованная в работе Ландауэра и в обратимых моделях вычислений, разработанных в 70-е годы Э. Фредкином из Массачусетского технологического института, автором данной статьи, и другими, окончательно прояснилась в 1982 г., когда я выдвинул предположение, что эти идеи дают возможность правильно

решить проблему демона Максвелла. Рассмотрим цикл двигателя Сциларда. Последний шаг, на котором память устройства возвращается к «пустому» состоянию, является логически необратимым, поскольку «сжимает» два состояния памяти устройства («Молекула слева» и «Молекула справа») в одно («Положение молекулы пока не определено»). Таким образом, двигатель не может перейти в состояние с очищенной памятью, не добавив по крайней мере один бит энтропии к окружающей среде. При этом вся работа, совершенная во время рабочего такта, переходит обратно в теплоту.

Что можно сказать о шаге измерения? Приходится ли и за него расплачиваться в термодинамическом смысле? Здесь двигатель должен внести добавку в энтропию Вселенной дважды: один раз при измерении положения молекулы, второй — при очищении памяти после рабочего такта. На самом деле за измерение платить не обязательно. Существуют способы определения положения молекулы, не связанные с облучением ее светом. Для доказательства этого утверждения я придумал измерительное устройство, которое определяет положение молекулы и записывает эту информацию, не производя никаких термодинамически необратимых операций.

ИТАК, ПРИЧИНА, по которой демон не может нарушить второе начало термодинамики, найдена: для того чтобы определить положение молекулы, он должен вначале забыть о результате предыдущего измерения. Забыть эти результаты, т. е. уничтожить информацию, значит расплатиться в термодинамическом смысле.

Разумеется, если демон обладает очень большой памятью, он может просто запоминать результаты всех измерений. В этом случае логически необратимые шаги совершаться не будут, и при каждом цикле двигатель будет превращать теплоту (в количестве 1 бит) в работу. Проблема в том, однако, что такая последовательность шагов не является истинным циклом: всякий раз в память устройства (первоначально пустое) записывается очередной случайный бит. С точки зрения термодинамики это означает, что двигатель увеличивает энтропию своей памяти, чтобы уменьшить энтропию окружающей среды.

Может показаться, что приписав увеличение энтропии шагу очищения памяти, а не операции измерения, мы просто произвели некоторые бухгалтерские перерасчеты: ведь полный

цикл двигателя Сциларда должен включать оба шага. Однако мы избежим серьезной путаницы, если проведем четкое различие между получением новой информации и уничтожением старой. Понимал это Сцилард или нет, сказать трудно. В своей статье он ссылаясь как на необратимый процесс в основном на операцию измерения, но в одном месте делает расчет изменения энтропии за цикл и находит (не давая, впрочем, никаких объяснений), что увеличение энтропии происходит при очищении памяти.

Если бы в дальнейшем исследователи обратили внимание на этот аспект рассуждений Сциларда, они могли бы раньше прийти к тем выводам относительно демона Максвелла, к которым теперь пришли мы. То, что этого не произошло, можно считать парадоксом в истории физики, поскольку развитие одной области (квантовой теории излучения) задержало развитие другой области (термодинамики). Существует один принцип квантовой механики, который подкрепляет идею о необходимости термодинамической платы за получение новой информации. Это принцип неопределенности, утверждающий, что некоторые серии измерений можно выполнить лишь с определенной точностью. Хотя принцип неопределенности звучит похоже на гипотезу Сциларда о том, что измерения являются необратимыми в смысле расплаты за них энтропией, в действительности он по своей сути отличается от этой гипотезы. Последняя касается лишь термодинамической платы за измерение, тогда как принцип неопределенности говорит о том, возможно ли измерение вообще вне зависимости от того, как за это приходится платить.

Другой источник путаницы лежит в том, что мы не думаем об информации, как о помехе. Мы платим за то, чтобы нам приносили газеты, но не за то, чтобы у нас забирали их обратно. Интуитивно кажется, что сделанная демоном запись о предыдущих операциях имеет некоторую ценность (или в худшем случае, бесполезна). Однако, с точки зрения демона, «вчерашняя газета» (результаты предыдущих измерений) занимает полезное место, и стоимость очистки этого места сводит на нет те выгоды, которые демон получил, «прочитав свежую газету». Не исключено, что все возрастающее загрязнение окружающей среды и информационный взрыв, происходящий с внедрением в нашу жизнь компьютеров, и способствовали пониманию того, что информация может иметь отрицательную стоимость. До недавнего времени эта идея вряд ли показала бы кому-нибудь очевидной.

Наука и общество

Полюса Плутона

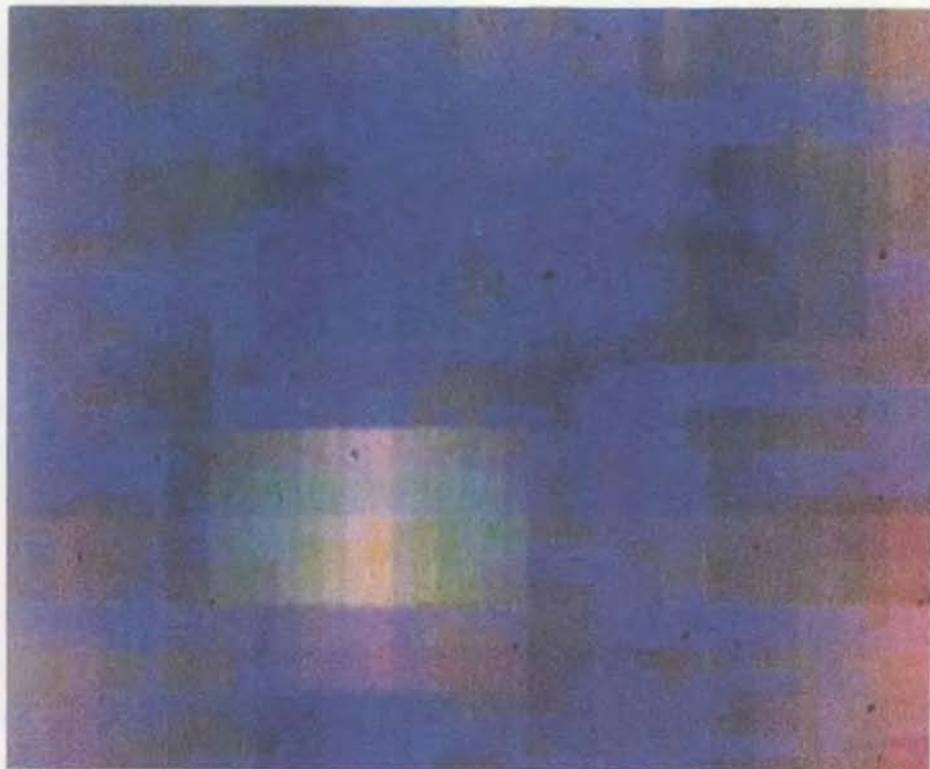
ЗА ПОСЛЕДНИЕ 10 лет покров таинственности, окутывавший Плутон — самую малую и обычно наиболее удаленную планету Солнечной системы, в значительной степени удалось приподнять. В 1976 г. ученые установили, что часть его поверхности покрыта метановым льдом; в 1978 г. был открыт спутник Плутона Харон, а в 1980 г. исследователи обнаружили у планеты атмосферу из газообразного метана. В последние годы плоскость, в которой лежат орбиты вращения планеты и ее спутника относительно общего центра масс, совпала с плоскостью орбиты Земли, поэтому они часто заслоняли друг друга. Путем измерения флуктуаций яркости во время затмений удалось определить диаметры Плутона и Харона — соответственно 2290 и 1284 км. Оценки плотности позволяют предположить, что оба небесных тела состоят в основном из твердых пород, смешанных с водяным льдом.

Недавно М. Сайкс, Р. Катри и Л. Лебофски из Аризонского университета и Р. Бинзел из Института планетных наук получили новые более подробные данные о Плуtone: им удалось уточнить, насколько плотно метановый лед и газообразный метан покрывают планету. Свои открытия, о которых ученые сообщают в статье

в журнале "Science", они сделали, изучая инфракрасные изображения, полученные более четырех лет назад со спутника IRAS (Международный инфракрасный спутник). Сайкс обнаружил эти снимки в огромном архиве проекта IRAS в Лаборатории реактивного движения в Пасадене (шт. Калифорния).

На этих изображениях планета и ее спутник не видны как отдельные объекты; на них зарегистрировано их суммарное инфракрасное излучение. Поскольку из других наблюдений было известно, что Харон слишком мал, чтобы у него могла сохраниться атмосфера, и на его поверхности нет метанового льда, исследователи могли оценить его вклад в инфракрасное излучение и затем вычесть его, чтобы выделить инфракрасное излучение самого Плутона.

Проведенные по их модели расчеты показали, что метановый лед не может покрывать всю поверхность планеты, так как в этом случае она была бы слишком холодной и ее инфракрасное излучение было бы значительно слабее, чем зарегистрированное на изображениях со спутника. Если уменьшить количество льда, можно получить модель планеты, удовлетворяющую как данным наблюдений о наличии метанового льда, так и данным со спутника IRAS. Согласно новой модели, льдом пок-



ИНФРАКРАСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ Плутона и его спутника Харона выделяется на «холодном» фоне космоса. Изображение получено в 1983 г. со спутника IRAS.

Издательство
МИР
предлагает:

К. Хеллан

ВВЕДЕНИЕ В МЕХАНИКУ РАЗРУШЕНИЯ

Перевод с английского
Монография норвежского ученого, в которой изложены основные положения, методы и критерии линейной и нелинейной механики разрушения с уклоном в область практического применения. Книгу отличает сочетание простоты и доступности изложения с достаточной строгостью. Приведено большое количество задач с подробным решением.

1988, 22 л. Цена 3 р. 70 к.

рыты приполярные области планеты до 45° широты; экваториальная область свободна от льда.

Основываясь на уточненной модели, исследователи пришли к выводу о том, что Плутон имеет атмосферу из газообразного метана, сублимировавшегося из льда, плотность которой примерно в 1000 раз меньше плотности земной атмосферы на уровне моря. Указанная ими плотность ниже, чем считалось до сих пор. «Речь идет об очень небольшом количестве газа», — отмечает Сайкс. По оценкам его группы, средняя температура изменяется от 59 К (-214 °С) на экваторе до 54 К на полюсах.

Сайкс обращает внимание на то, что гипотеза о ледяных шапках уже высказывалась в прошлом при попытках объяснить «потускнение» Плутона на протяжении последних десятилетий. Согласно этой гипотезе, в недавнем прошлом планета была ярче из-за того, что она была повернута к Земли одним из полюсов, покрытых льдом с высокой отражающей способностью; в последние годы Плутон повернулся к нам своей более темной экваториальной областью. Однако, по мнению Сайкса, эту гипотезу необходимо уточнить, учитывая тот факт, что ось Плутона наклонена относительно плоскости его орбиты. Вследствие этого на протяжении цикла обращения планеты вокруг Солнца, продолжительность которого составляет 248 земных лет, размеры ледяных шапок могут меняться.

Раннее земледелие в Северо-Западной Европе

Восемь тысячелетий назад земледелие распространилось из Восточной Европы на север и запад континента. Результаты недавних исследований, основанных на картографировании поселков каменного века, показывают, как осуществлялся этот процесс

ДЖОН М. ХАУЭЛЛ

КАК ЗЕМЛЕДЕЛИЕ пришло в Северо-Западную Европу? В общих чертах ответ на этот вопрос известен уже давно: вскоре после 6000 г. до н. э.* создатели культуры линейно-ленточной керамики начали свое движение из Восточной Европы на север и запад, неся с собой образ жизни, основанный на земледелии. В последние несколько лет, однако, картина этого «нашествия» дополнена существенными деталями. Еще в 1970-х годах считалось, что распространение культуры линейно-ленточной керамики имело равномерный характер, и заселение отличалось линейностью: отдельные группы селились вдоль крупных рек, образуя длинные вереницы поселков. Сейчас стало известно, что картина заселения не была ни равномерной, ни линейной. Напротив, поселения этой культуры были сгруппированы в «ячейки расселения» — скопления близкорасположенных селений, которые образовывали главные единицы расселения. Некоторые из ячеек расселения продолжали существовать почти вплоть до нашей эры.

Одним из основных способов, с помощью которых были внесены указанные поправки, являются карты распределения поселков. Первоначально такие карты предназначались в основном лишь для фиксации местоположения древних поселков, однако впоследствии они стали играть гораздо большую роль. С помощью карт распределения поселков удалось не только идентифицировать ячейки расселения, но и проследить резкие изме-

нения в течение неолита (периода, с которым связывают возникновение земледелия). В раннем неолите (эпохи культуры линейно-ленточной керамики) поселки чаще всего располагались в поймах рек. Впоследствии они переместились на окраины соседних плато, а затем — и в глубь них. Такое перемещение сопровождалось значительными техническими и социальными изменениями, на которые исследователи обратили внимание благодаря когда-то мало примечательным картам распределения поселков.

Культура линейно-ленточной керамики получила свое название по характерным для нее керамическим сосудам, украшенным прочерченным и штампованным орнаментом. Несмотря на существование региональных разновидностей таких сосудов, для поселков культуры линейно-ленточной керамики весьма характерна высокая степень культурного единства, которое проявляется как в артефактах, так и в самих поселках. Система расселения была связана с хуторами, иногда окруженными частоколом. Каждый хутор состоял из нескольких длинных домов столбовой конструкции размерами приблизительно 5 × 30 м. Многие из этих домов были разделены на три помещения: одно из них, вероятно, было жилым, а два других предназначались для хранения зерна и содержания скота. На существование ранних форм социальной дифференциации указывает тот факт, что в некоторых поселках был один дом, который отличался от других домов большей длиной, хотя и был построен в том же стиле.

ОДНОТИПНОСТЬ поселков культуры линейно-ленточной керамики является одним из свидетельств того, что земледелие было принесено

в Европу переселенцами, а не путем передачи опыта. Однородная материальная культура, свойственная поселкам, включала в себя разнообразные незамысловатые изделия из кремня, небольшие топоры и простые захоронения. Могильники были редкостью; обычно захоронения устраивали в ка-



ПОЗДНЕНЕОЛИТИЧЕСКАЯ ГРОБНИЦА вблизи Сомура в долине реки Луары (Франция) была коллективным захоронением, содержащим останки 200 или более людей. Гробница от-

* В статье приводятся калиброванные радиоуглеродные даты, которые значительно древнее традиционных радиуглеродных дат, применяемых большинством советских археологов. — *Прим. ред.*

навах, расположенных сбоку от домов и образовавшихся при добыче глины, которая использовалась для сооружения стен домов. Остатки животных и растений указывают на земледельческий образ жизни людей; основными одомашненными животными были овцы и крупный рогатый скот. В тех районах, где хорошо сохранились органические остатки, часто обнаруживают перемешанные остатки зерновых, овощей и бобовых растений (таких, как чечевица).

Начиная примерно с 5500 г. до н. э. группы культуры линейно-ленточной керамики начали продвигаться на север и на запад из района их происхождения — Карпатских гор — и к 4500 г. до н. э. достигли Парижского бассейна. На основе первоначальных исследований было сделано предположение, что поселки располагались в долине Дуная линейно. Этим поселкам было дано название дунайской культуры. Первые земледельцы предпочитали селиться на легких лёссовых почвах. В ранних моделях земледельческого развития предполагалось, что поселенцы занимались подсечно-огневым земледелием, при котором поля использовались в течение одного

сезона или до тех пор, пока они не теряли плодородия или не зарастали сорняками.

Как показали исследования, многое в этой картине было неверным, и в начале 1970-х годов ее стали совершенствовать. Этим занялся прежде всего Я. Крук из Института наук в Кракове, который исследовал характер раннеолитического расселения близ Кракова. Модель Крука, основанная на использовании экономической, социологической и экологической информации совместно с картами распределения поселков, послужила краеугольным камнем для последующих интерпретаций. Значительная часть интерпретаций (включая мою собственную) основана на результатах работ, проведенных исследователями из Оксфордского университета, и характеризуется применением географического подхода к исследованию малоизученных районов Европы. Интересующим меня районом была Франция, в частности бассейны трех крупных рек: Сены, Уазы и Марны.

В исследованиях принимали участие не только ученые из Оксфордского университета. На самом деле основная концепция ячейки расселения

была сформулирована немецкими исследователями, в том числе Бернхардом Зильманном, в то время работавшим во Франкфуртском музее. Одна из причин, по которой эта идея появилась именно в ФРГ, заключалась в том, что поселки вблизи Рейна сосредоточены в долине таким образом, что могли навести на мысль скорее о ячейке, или единице расселения, чем о линейной картине их распределения. Вслед за Зильманном археологи признали существование подобных ячеек в районе Лимбурга (вдоль реки Маас и ее притоков) в Нидерландах и на плато Альденховен вблизи Кёльна.

НА ТЕРРИТОРИИ между Лимбургом и Луарой, где я проводил исследования, картина не столь ясна. В этом районе в поймах рек лёссовые почвы, на которых предпочитали селиться земледельцы культуры линейно-ленточной керамики, встречаются не часто. Сами долины ограничены крутыми склонами высотой до 30 м. Эти долины слишком узкие, чтобы там могли разместиться крупные группы селений, поэтому и ячейки расселения в них не столь очевидны. Тем не менее они там существуют. На



носит к типу, известному как «крытая галерея». Высота боковых стен примерно 1,5 м. Первоначально камни, вероятно, находились под земляной насыпью. Исследование, проведенное автором статьи, показывает, что в некоторых районах Франции коллективные захоронения позднего не-

олита служили географическим центром по отношению к широко разбросанным семейным домам. Этот вывод является одним из достижений в изучении неолитических памятников. Фотография сделана Яном Киннесом из Британского музея.

основе проведенного мною тщательного анализа результатов раскопок, полевых исследований, музейных коллекций и аэрофотоснимков были обнаружены районы относительно плотного заселения, составлявшие контраст с теми районами, где поселки отсутствовали. Небольшие ячейки расселения могут занимать только один-два участка узкой речной долины, однако они аналогичны более заметным ячейкам, обнаруженным в ФРГ и Нидерландах.

Независимо от того, образуют по-

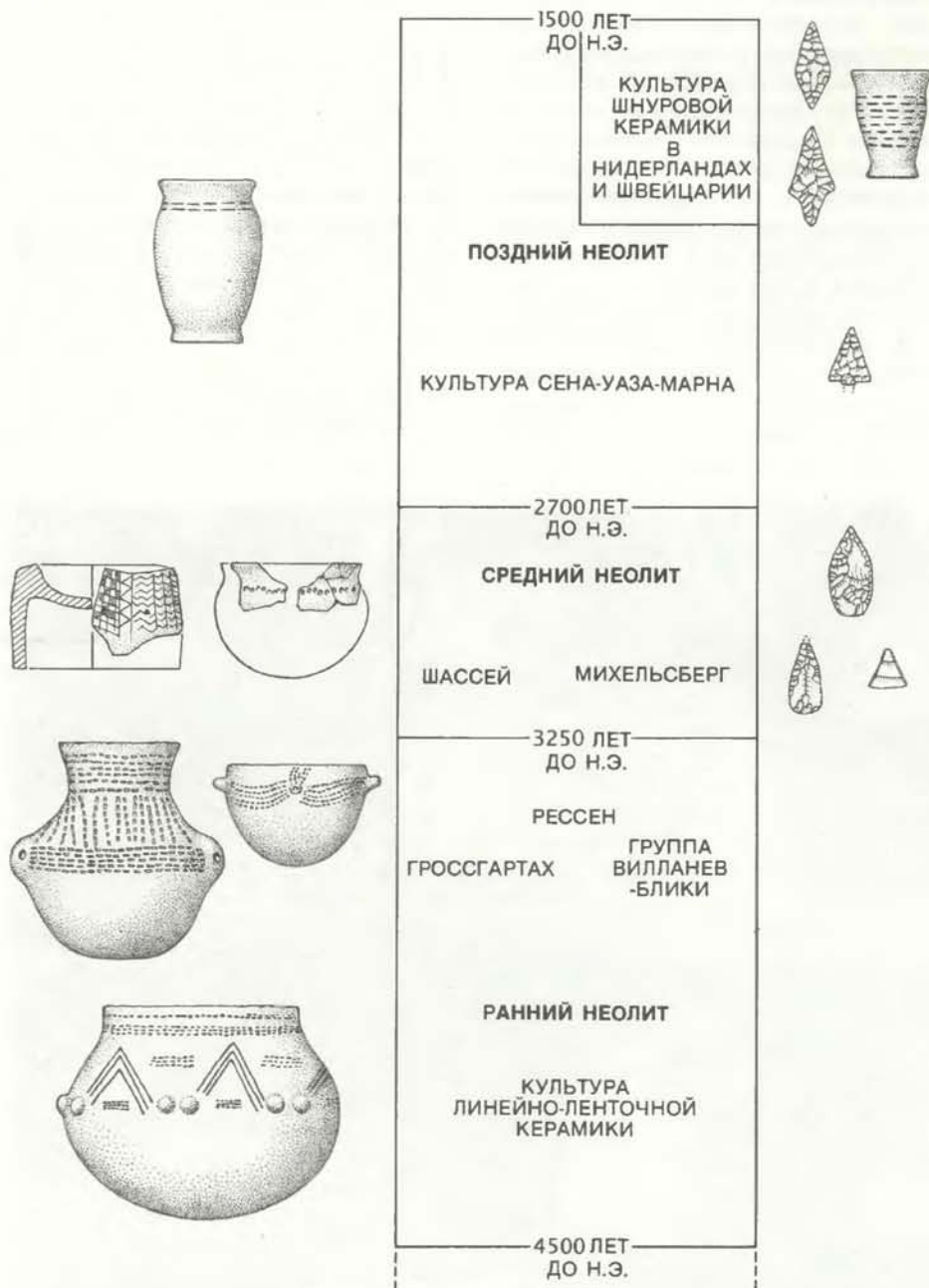
селки плотные группы или имеют более линейную картину расположения (обычную для Франции), их всегда находят в поймах рек. В меандрах рек образуются «острова» с богатыми аллювиальными почвами; именно на таких островах земледельцы и основывали свои селения. Эти «острова» обычно не затопляются при паводках, но иногда вода их все же заливают. Обычно площадь «островов», богатых аллювием, составляет от 125 до 500 га и более. Исходя из этих размеров, можно судить о том,

сколько людей могло жить на «островах». По оценкам исследователей, площадь земельного участка, необходимого для того, чтобы прокормить одного человека при доисторическом уровне производства пшеницы, составляет 0,5—1 га. Отсюда следует, что на самых больших «островах» могли жить 500 и даже более человек.

Экология аллювиальных «островов» была реконструирована на основе анализа образцов почвы из хозяйственных ям и столбовых ямок в поселках культуры линейно-ленточной керамики. Результаты показывают, что дно долины было покрыто плодородной темной почвой, подобной чернозему Восточной Европы. В период, когда поселения были обитаемы, на этой почве находились обильные луга. Вопреки ранним предположениям на этих лугах земледельцы культуры линейно-ленточной керамики не занимались подсечно-огневым земледелием. Наоборот, как показали результаты исследования, проведенного в середине 70-х годов, они обрабатывали участки земли непрерывно в течение многих лет. Система с постоянными земельными участками привела к значительной стабильности: некоторые селения оставались обитаемыми на протяжении 500 и более лет.

Общеввропейская культура, основанная на этой простой земледельческой системе, продолжала существовать примерно до 4000 г. до н. э. Вскоре после этого экологические и социальные факторы начали вносить существенные изменения в культурный ландшафт. Часть этих изменений была связана с тем, что в пределах обитания групп культуры линейно-ленточной керамики стали появляться подобласти, отличавшиеся особым культурным стилем. Например, в районе от Лимбурга (Нидерланды) до Пикардии (Франция) в низменностях, лежащих западнее Рейна, найдены образцы керамики, известные как Лимбургская керамика. В целом эти низменности следует, вероятно, рассматривать как единую область расселения, которая просуществовала достаточно долго, чтобы в ней мог развиться своеобразный культурный стиль. То же самое, несомненно, происходило и в других районах; со временем культурное единство раннего неолита сменилось культурным разнообразием.

Примерно к 3500 г. до н. э. (т. е. к началу среднего неолита) стали происходить еще более существенные сдвиги, о чем свидетельствуют изменения типа поселков, их местоположения и характера распределения. В отличие от поселков культуры линей-



НЕОЛИТИЧЕСКИЙ ПЕРИОД В ЕВРОПЕ продолжался более 3000 лет. Неолит — это период, связанный с возникновением земледелия. Ранние земледельцы Северо-Западной Европы принадлежали к культуре линейно-ленточной керамики. В раннем неолите эта культура распространилась в Европу. В среднем неолите культурная однородность уступила место региональным стилям, таким, как Гроссгартах, Шассей и Михельсберг. Появление большого числа кремневых наконечников стрел частично объясняется ростом воинственности местных обществ.

но-ленточной керамики поселки среднего неолита можно обнаружить и за пределами центральных частей долин. Наряду с изменением в местоположении произошло резкое увеличение числа поселков, окруженных рвами и массивными частоколами из бревен. Очевидно, что общество вступило в фазу войн. Все большую роль обретает разведение крупного рогатого скота, останки которого составляют в среднем неолите более 50% фаунистических остатков, т. е. намного больше, чем в предыдущий период.

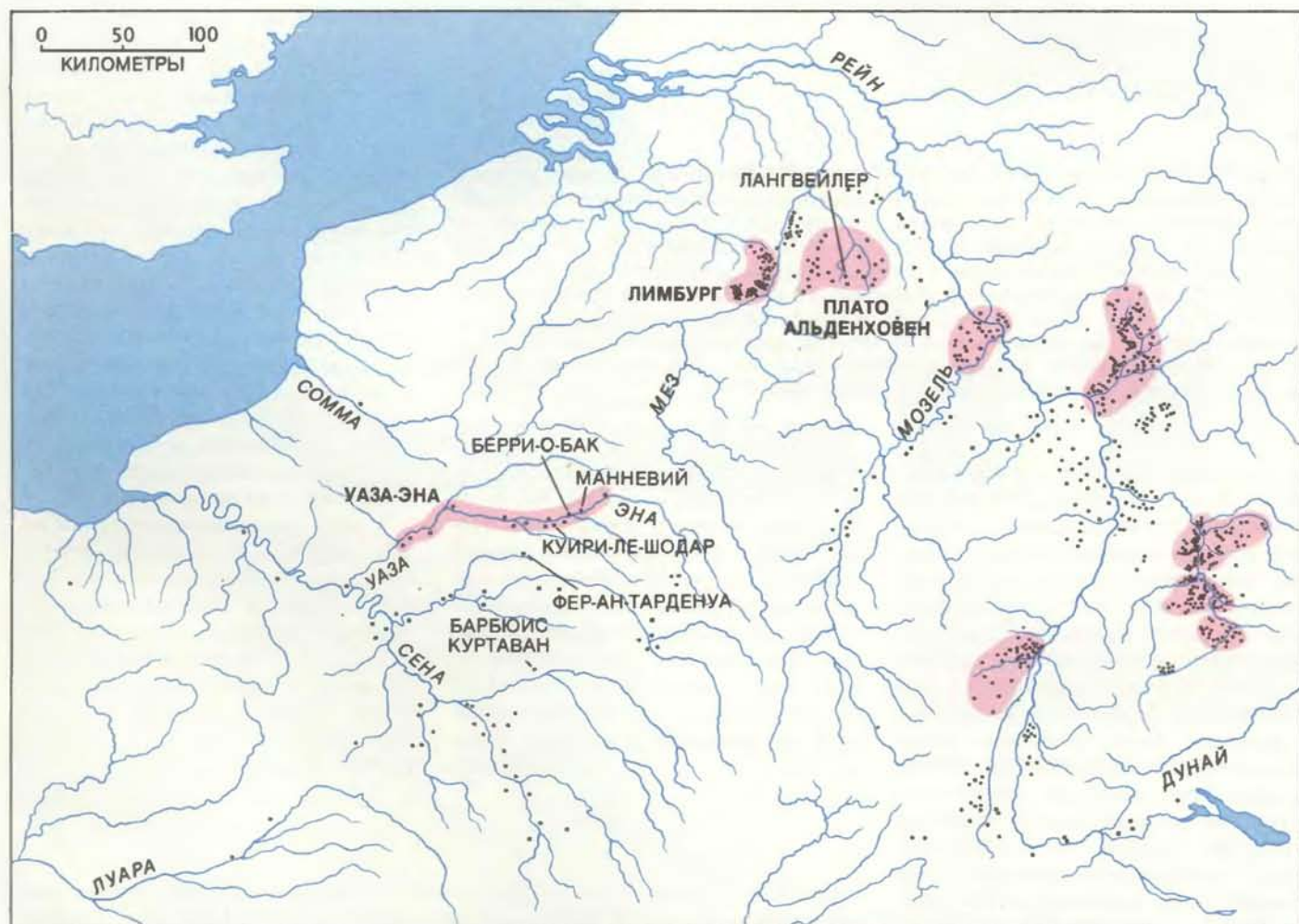
ЧЕМ БЫЛИ обусловлены эти изменения? Во-первых, следует отметить, что частично их корни прослеживаются в культуре линейно-ленточной керамики в ее поздний период. При раскопках поселков Лангвейлер 3 на плато Альденховен и Манневий в долине реки Эны были обнаружены остатки массивных укрепленных конструкций, окруженных рвами. Сход-

ство этих конструкций свидетельствует о том, что они были сооружены в одно и то же время, а керамические сосуды, найденные в них, относятся к позднему стилю линейно-ленточной керамики, известному как Гроссгартах. Подобные сооружения были найдены в долине Сены в Барбюис-Куртаване и в долине Эны в Берри-о-Бак. Большинство таких сооружений, однако, датируется периодом 3500—2700 гг. до н. э. и относится к среднему неолиту. Представляется, что факторы, начавшие действовать в конце раннего неолита, послужили катализатором и в конечном итоге привели к появлению общин, весьма отличавшихся от более ранних.

Стараясь понять эти факторы, исследователи Северо-Западной Европы первоначально обратились к концепции культурных влияний. Керамика, связанная с укрепленными неолитическими поселками во Франции и ФРГ, обычно представлена двумя типами, известными как Шассей и Ми-

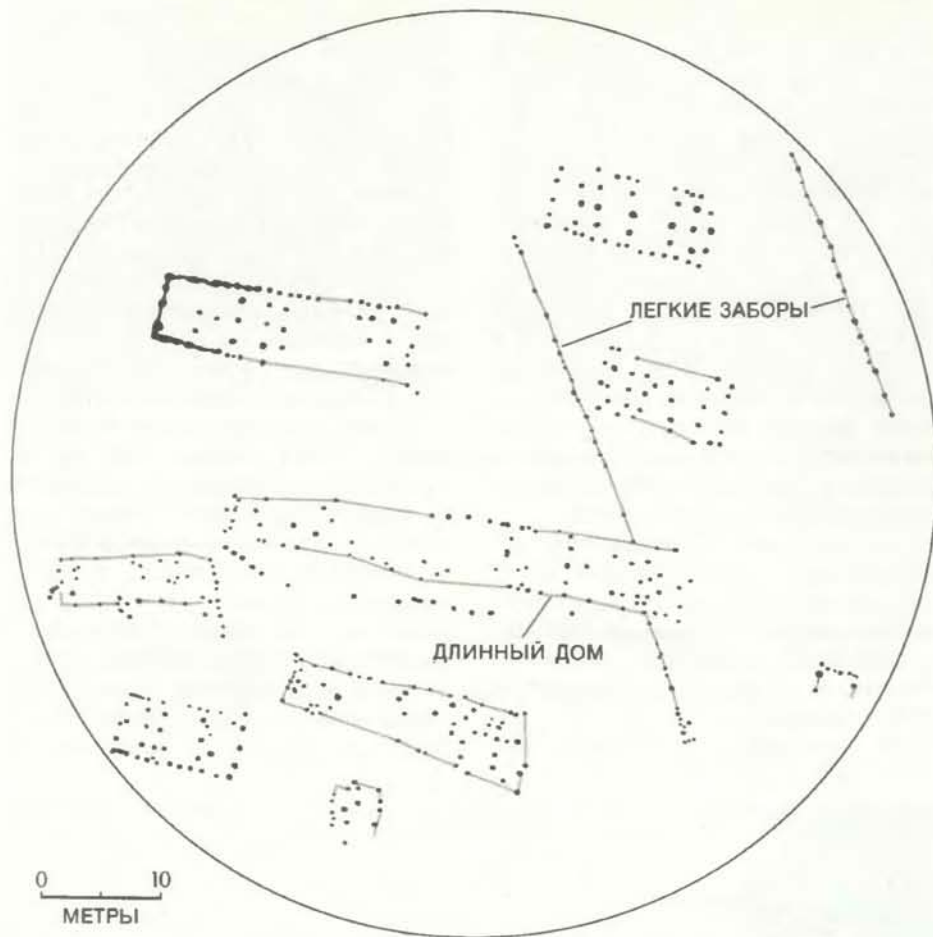
хельсберг. Поселки культуры Шассей находились в Центральной и Южной Франции, а михельсбергской культуры — в центральной части ФРГ. Много усилий было затрачено на изучение связей между ними, исходя из предположения, что культура Шассей имела много общего с культурами Средиземноморья, а михельсбергская культура — с культурами Центральной Европы. Считалось, что изучение влияния одной культуры на другую поможет выяснить, как происходили социальные изменения в среднем неолите.

Однако такие аргументы необоснованны, отчасти потому, что не учитывают географические особенности. В горной Швейцарии группы, аналогичные «центрально-европейским» и «средиземноморским», жили в различных долинах. На ровной же, открытой местности Парижского бассейна культурные границы не были столь отчетливыми. Между группами, несколько различающимися по культуре, несомненно, существовало



ПОСЕЛКИ КУЛЬТУРЫ ЛИНЕЙНО-ЛЕНТОЧНОЙ КЕРАМИКИ сгруппированы в ячейки расселения, наличие которых было впервые обнаружено в 1970-х годах. Создатели культуры линейно-ленточной керамики двигались на север и запад из Восточной Европы вдоль крупных рек. Ранее считалось, что отдельные поселки располагались в долинах рек беспорядочно. Эту картину пришлось пересмотреть после

появления концепции ячейки расселения. Ячейки (красный) обозначают группы поселков, существовавших примерно в одно и то же время. На плато Альденховен близ Кёльна и Лимбурга (Нидерланды) ячейки образованы компактными скоплениями поселков. Вдоль рек Уазы и Эны во Франции долины ограничены более крутыми склонами и ячейки расположены линейно.



ПОСЕЛОК КУЛЬТУРЫ ЛИНЕЙНО-ЛЕНТОЧНОЙ КЕРАМИКИ вблизи деревни Куири-ле-Шодар в долине реки Эны был раскопан исследователями из Парижского университета. Раскопки начали проводиться в 70-х годах. Главными сооружениями поселка были длинные дома, имевшие бревенчатый каркас, на котором держались стены из глины. Крыши возводились из тростника, травы или камыша. Существование одного более длинного дома (в центре), возможно, свидетельствует о том, что в поселке имелся вождь. Между домами были обнаружены легкие заборы, сооруженные из побегов, вероятно, для содержания животных. Круглый раскоп, видимо, включает менее одной четверти всей площади поселка культуры линейно-ленточной керамики.

много контактов. Эти контакты были столь интенсивными, что привели к смешению стилей: в районах севернее Луары основное различие в стилях состояло в том, что керамика Шассей имела орнамент, тогда как михельсбергская керамика его не имела. Иными словами, в этих районах традиция была центрально-европейской, но испытывала влияние со стороны.

Недавно были проведены более плодотворные исследования, посвященные тем аспектам социального развития, которые были присущи как традиции Шассей, так и Мехельсберг. Значительное внимание было уделено исследованию систем расселения, в частности переселению обитателей низин в другие места. В долине реки Соммы артефакты поздней культуры линейно-ленточной керамики (например, каменные топоры) находят за пределами аллювиальных «островов». Более детальные исследования долин Эны и Уазы пока-

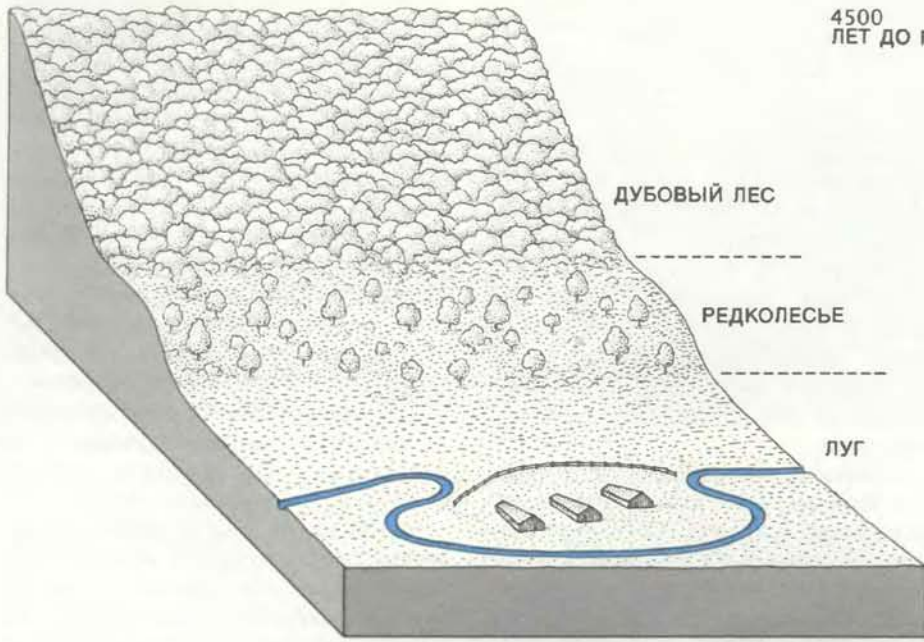
зывают, что такие «острова» вовсе не были заброшены — на них были обнаружены остатки ограждений. Однако теперь новая группа ограждений появилась на ранее не заселенной территории на окраине плато, в частности на мысах, хорошо приспособленных для обороны. Большинство из этих новых поселков располагалось на возвышенностях, господствовавших над низинами, в которых были найдены раннеолитические поселки.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСЕЛЕНИЙ резко менялось в течение каменного века. В раннем неолите (*вверху*) поселки культуры линейно-ленточной керамики находились на аллювиальных «островах», образованных речными меандрами. К середине неолита (*в центре*) некоторые поселки переместились на окраины плато. Многие поселки имели массивные укрепления. В позднем неолите (*внизу*) расселение стало более рассеянным и поселки располагались на плато между руслами рек. Различные зоны ландшафта использовались для разных специализированных видов деятельности, что выявляется путем картографирования артефактов, таких, как топоры (для расчистки песов) и наконечники стрел (для охоты).

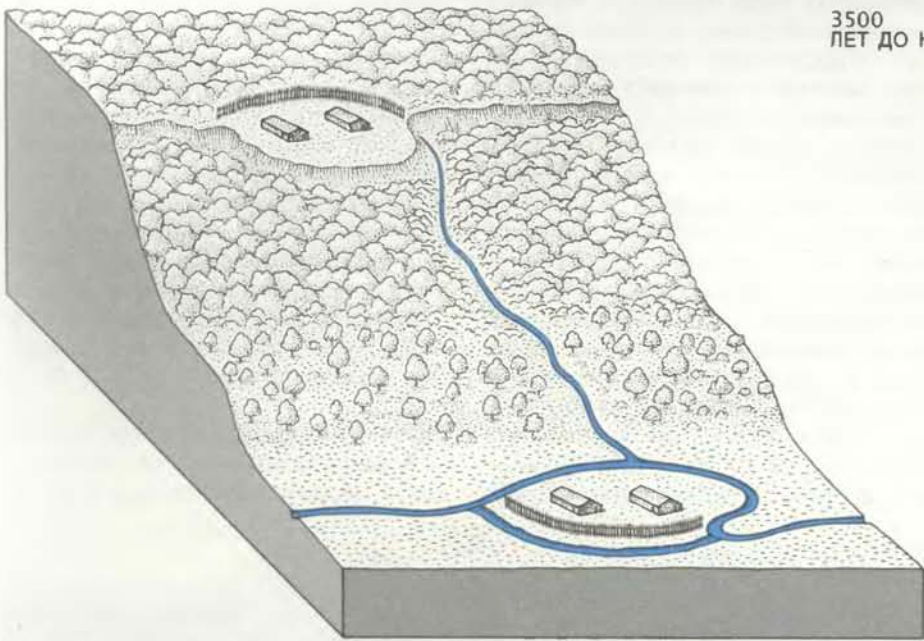
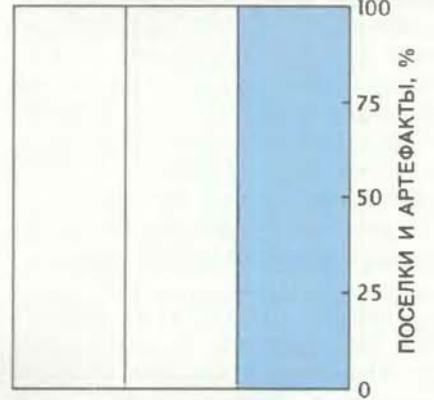
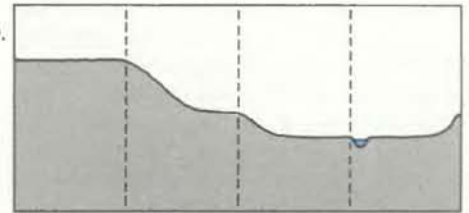
НАРЯДУ с изменением местоположения поселков произошли и другие изменения в системе расселения. Поселки раннего неолита обычно беспорядочно разбросаны по территории аллювиальных «островов». Поселки среднего неолита, напротив, часто образуют крупные скопления. Характер этих группировок в разных районах различен. В долине Сены, например, огороженные поселки, расположенные на противоположных утесах, часто обращены друг к другу. Враждовали ли они или были союзниками? (Возможно и то, что они существовали в разное время.) В долине Эны поселки культуры линейно-ленточной керамики располагались произвольно на первой надпойменной террасе вблизи реки. Однако поселки среднего неолита образуют упорядоченные группировки, в пределах которых поселки обычно удалены друг от друга примерно на 2 км.

Несмотря на то что изменения в системе расселения сопровождались некоторыми хозяйственными изменениями, общая хозяйственная база осталась прежней. Новые поселки на краю плато над рекой располагались так, чтобы иметь доступ к руслам небольших ручьев, наполнявшихся весной. Это свидетельствует о том, что общины среднего неолита по-прежнему не имели тяжелых пахотных орудий (хотя легкие орудия у них могли быть) и ирригаций. Поэтому они занимались земледелием лишь на участках с высоким уровнем стояния грунтовых вод. Новым, по-видимому, было то, что возросло значение крупного рогатого скота, для которого требовались крупные пастбища. Поиск пастбищ, возможно, и был одним из факторов, вызвавших перемену мест поселений — из долин на плато.

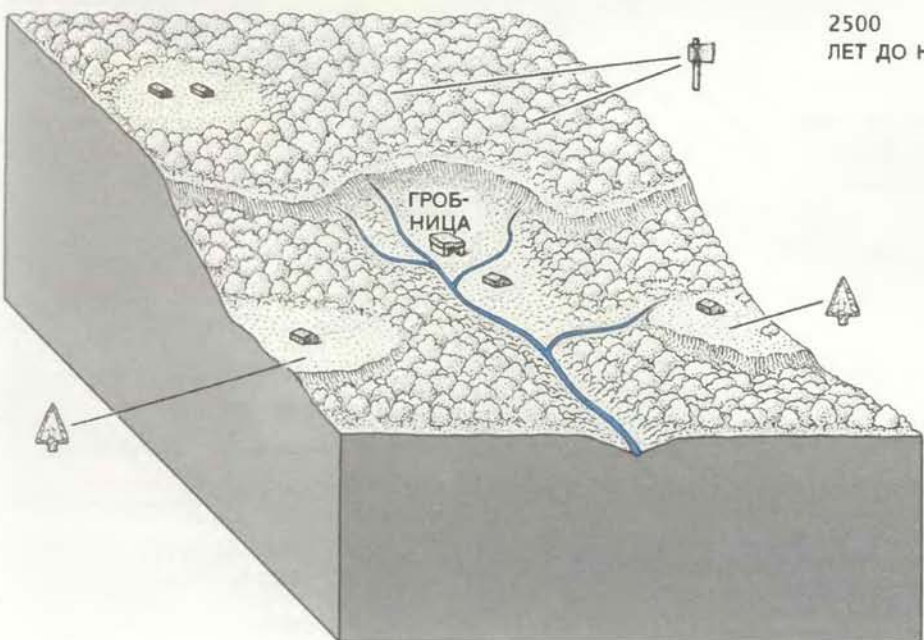
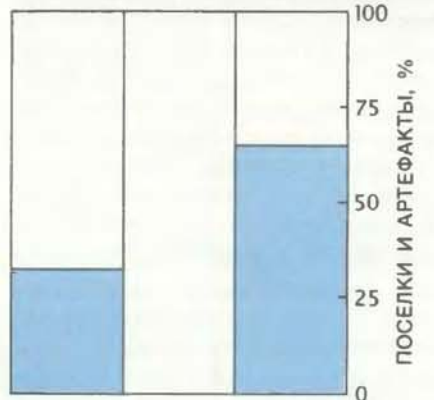
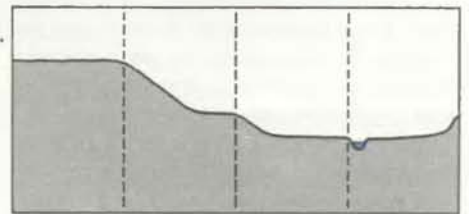
В свою очередь поиски пастбищ могли породить потребность к путешествиям, приведшую к установлению контактов между весьма отдаленными группами. Ясно, что средний неолит был периодом возрастания роли дальнего обмена. Помимо поиска пастбищ, другим мотивом дальних путешествий могла быть потребность в сырье, например, в высо-



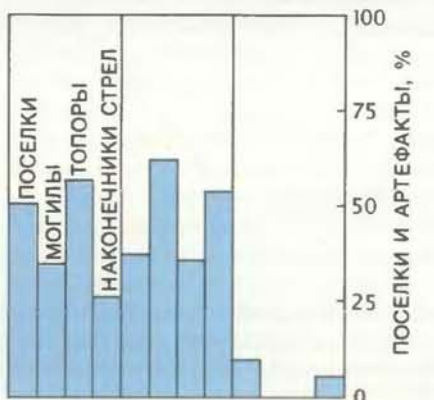
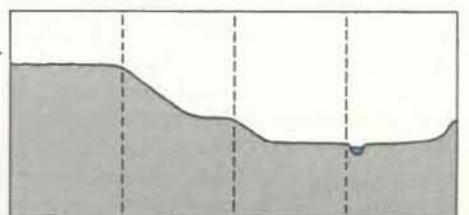
4500
ЛЕТ ДО Н.Э.



3500
ЛЕТ ДО Н.Э.



2500
ЛЕТ ДО Н.Э.



кокачественном кремне или особых вулканических породах для изготовления топоров. В среднем неолите в Великобритании обмен таким сырьем осуществлялся на расстояниях 600 и более километров. Подобный обмен во Франции еще не изучен в той же степени. Известно, однако, что в бассейне Уазы велась интенсивная добыча кремня, что могло послужить основой для дальнего обмена. В этом районе было сосредоточено множество укрепленных поселков среднего неолита, которые, возможно, играли ключевую роль в перераспределении сырья и престижных предметов (таких, как богато орнаментированная керамика) посредством обмена.

МОЖНО ЛИ построить модель, учитывающую наиболее важные изменения в среднем неолите? Несомненно. Факторами, вызвавшими изменения, могли быть ухудшение климата и уменьшение природных ресурсов. К концу раннего неолита земледельцы культуры линейно-ленточной керамики уже освоили значительную часть лучших аллювиальных почв. По существу, граница распространения культуры замкнулась, и расселение перестало быть простейшим средством решения демографических проблем. В то же время отсутствовала техника (такая, как тяжелые пахотные орудия), необходимая для обработки новых земель на плато. В такой ситуации ухудшение климата, возможно, способствовало возникновению враждебности, а это в свою очередь привело к скоплению поселков в

естественно укрепленных местах и к появлению фортификации.

Есть основания считать, что эта модель по крайней мере частично отражает реальную ситуацию. Свидетельствами возникновения враждебности являются не только массивные укрепления, но также и разнообразие типов наконечников стрел, распространенных в среднем неолите. В некоторых поселениях, таких как Крикли-Хилл (Англия), наконечники стрел, обнаруженные при раскопках сожженного частокола, несомненно, являются доказательством военных действий.

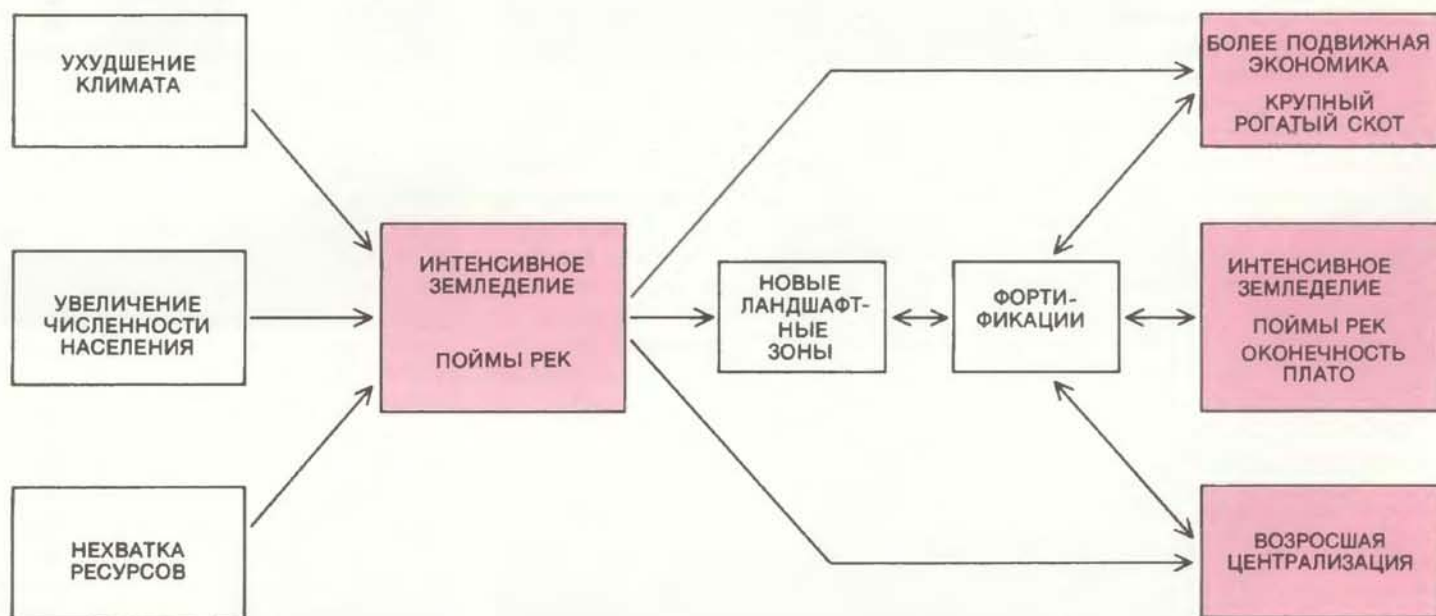
Наиболее важным для такой модели, конечно, является свидетельство ухудшения климата. Согласно некоторым данным, в среднем неолите климат стал холоднее и более влажным, что, вероятно, привело к снижению урожая. Пыльцевые диаграммы (подсчеты зерен пыльцы в образцах современной почвы, которые отражают относительное соотношение видов растений в природе) для района Эны свидетельствуют о том, что начиная с времен поздней культуры линейно-ленточной керамики доля влаголюбивых растений возросла. К позднему неолиту большая часть аллювиальной зоны в бассейне Эны, по видимому, превратилась в болота. Исследования содержания (зависящего от температуры) изотопов кислорода в морских ископаемых на юге Франции подтверждают, что примерно в 3500 г. до н. э. началось наступление холодного периода. Примерно в то же время в горных районах Евро-

пы линия деревьев понизилась, что также свидетельствует о похолодании.

Социальные факторы, обусловленные нехваткой пахотных земель, более сложно проследить, чем изменения климата, поскольку они оставляют мало физических следов. Тем не менее вполне возможно, что в результате ухудшения климата общины среднего неолита испытывали нехватку земельных участков. Кроме того, к началу среднего неолита многие аллювиальные «острова» осваивались уже в течение 500—1000 лет. Непрерывное тысячелетнее возделывание земли, видимо, привело к ее истощению, что породило острую борьбу за плодородные участки.

Естественно, для проверки достоверности предложенной выше модели понадобятся дополнительные материалы. Каков бы ни был результат, несомненно одно — к концу среднего неолита, примерно в 2700 г. до н. э., начались дальнейшие изменения. Во Франции начало позднего неолита связано с появлением нового культурного единства, известного как культура Сены-Уазы-Марны. Типичные поселки этой культуры сильно отличаются от поселков среднего неолита. Остатки крупных сооружений с массивными укреплениями уже не встречаются при раскопках; вместо них находят остатки жилищ, предназначенных, возможно, только для отдельных семейных групп.

ХОТЯ постройки позднего неолита располагались не так скученно, как в среднем неолите, они в то же



МОДЕЛЬ СОЦИАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ (построена автором) в среднем неолите, учитывающая ухудшение климата. Более влажный и более холодный климат наряду с увеличением численности населения привели к уменьшению таких

ресурсов, как плодородные земли. Нехватка ресурсов в свою очередь могла привести к войнам и появлению укрепленных компактных поселков.

время не были изолированы друг от друга. Исследования в верховьях реки Урк близ города Фер-ан-Тарденуа показывают, что жилища группировались в так называемые рассеянные поселки, т. е. отдельные дома были широко разбросаны по местности, а в центре расселения находился могильник. Иногда место захоронения отмечено мегалитической постройкой, но чаще всего — это яма с коллективным погребением, содержащим остатки 200 и более человек.

Существенной особенностью поздне-неолитической системы расселения

было то, что поселки располагались не только на краю, но и в глубине плато. Мною была разработана простая топология поселков позднего неолита в Северной Франции, увязанная с экологическими зонами. Были картографированы четыре типа находок: дома, захоронения, топоры и наконечники стрел. Дома и топоры чаще всего находят на плато между реками, места захоронений — на склонах холмов, покрытых тонким слоем меловых отложений, называемых рендзиной; наконечники стрел обычно находят на склонах холмов, покрытых

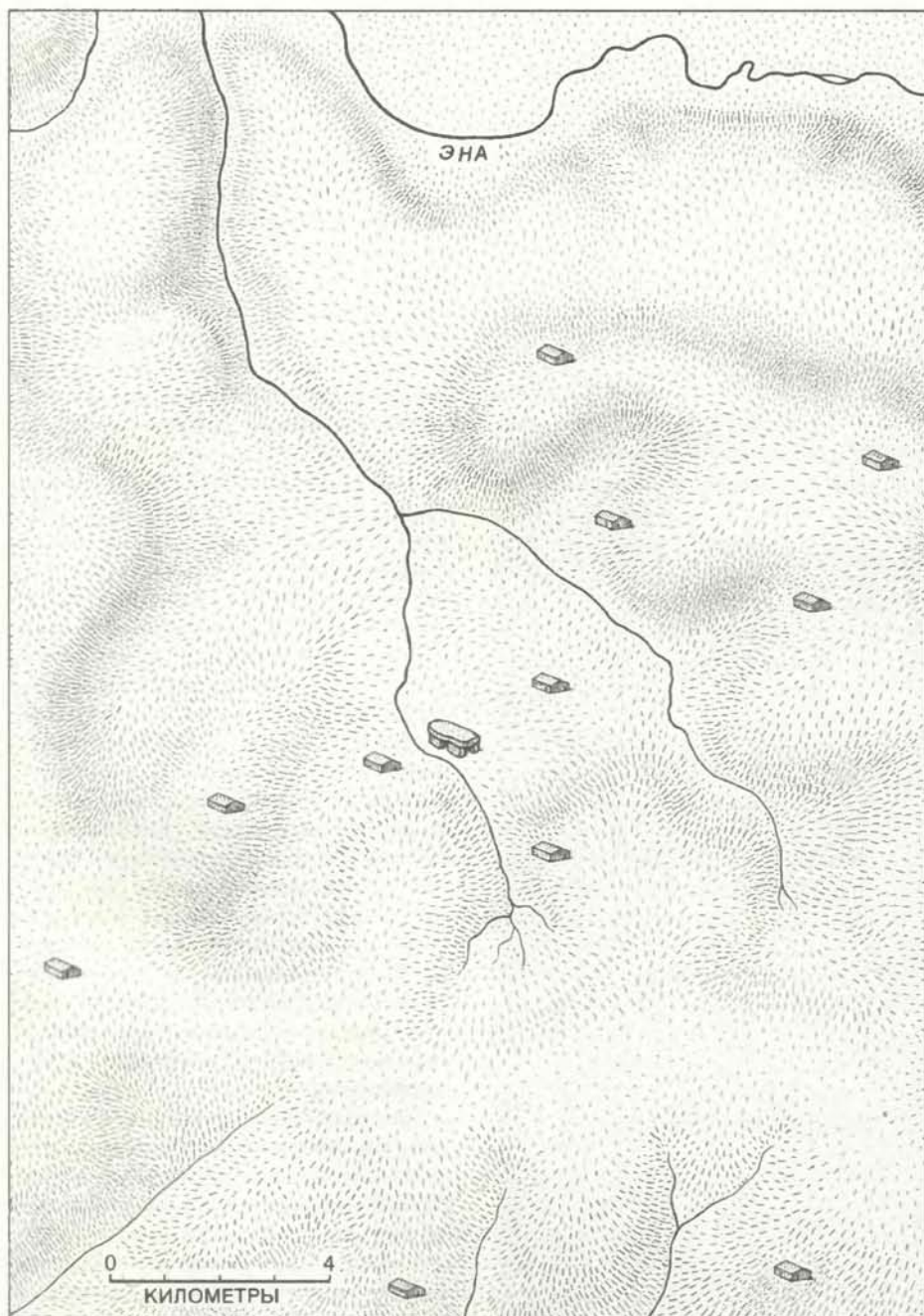
песчаными отложениями, где, вероятно, располагались богатые охотничьи угодья.

Понятно, что в позднем неолите разные виды культурной деятельности осуществлялись в соответствующих ландшафтных зонах. И что особенно важно, земледелием теперь стали заниматься и на плато, что указывает на экономические сдвиги. Как уже отмечалось выше, почва около русел, наполнявшихся весной, которая служила основой земледелия в среднем неолите, была достаточно влажной и плодородной, чтобы ее можно было обрабатывать без тяжелых пахотных орудий. Но для обработки почвы на плато, орошаемом в основном дождями, пахотные орудия были необходимы. Не удивительно, что культура Сены-Уазы-Марны возникла примерно в то же время, когда появились тяжелое рало и тягловые средства. Оснащенные этими орудиями, отдельные семьи смогли обрабатывать девственные земли на плато и достичь небывалой ранее экономической независимости.

Появление рала, по-видимому, было только одним из аспектов общей экономической трансформации, произошедшей во время позднего неолита. Слои угля на участках, расчищенных из-под леса в позднем неолите, свидетельствуют о том, что на смену обработке постоянных участков земли теперь пришли методы подсечно-огневого земледелия. Это подтверждается тем фактом, что большинство жилищ культуры Сены-Уазы-Марны имели небольшие размеры и использовались недолго по сравнению с длительностью существования соответствующих могильников. Существуют также свидетельства, что в этот период резко возросла роль свиноводства (свиньи хорошо приспособлены к обитанию на участках, расчищенных из-под леса).

В настоящее время археологи склонны называть появление рала, тягловых средств и новых одомашненных животных «революцией на основе вторичных продуктов», в результате которой в некоторых частях Европы земледельцы, кроме прочего, стали получать новую продукцию — молоко и шерсть. Действительно, в некоторых местах появление шерсти как товарной продукции, наряду с появлением металлургии, ознаменовало конец позднего неолита и начало бронзового века. Именно такой «переход» (начиная примерно с середины третьего тысячелетия до н. э.) совершила одна ветвь культуры Сены-Уазы-Марны — группа Хорген в Швейцарии.

В центральных районах культуры Сены-Уазы-Марны заселение плато,



ЖИЛИЩА ПОЗДНЕГО НЕОЛИТА вблизи деревни Во (южнее долины реки Эны) расположены вокруг погребального сооружения. По своей конструкции захоронение похоже на то, которое изображено на страницах 62 и 63. Вероятно, оно было коллективным захоронением; прямые доказательства этого отсутствуют, поскольку его содержимое было разграблено в XIX в. Неолитические жилища вокруг захоронения предназначались для отдельных семей.

по-видимому, напротив, препятствовало дальнейшим социальным изменениям. В Парижском бассейне количество пахотной земли, было довольно большим по отношению к численности населения. В отличие от некоторых других районов, в том числе Швейцарии, где нехватка земли создавала демографические сложности, в большинстве районов Франции широкое расселение позволило сохранить прежние социальные и экономические структуры, которые в других местах прекратили свое существование в связи с нововведениями бронзового века.

ТАКИМ образом, нехватка ресурсов — в особенности нехватка земли в условиях роста народонаселения — была одной из движущих сил социальных и культурных изменений в Северо-Западной Европе в течение значительной части неолита. Рост численности населения, вероятно, был одним из ключевых факторов, вызвавших появление компактных поселков и фортификации в среднем неолите. Кроме того, нехватка ресурсов сыграла определенную роль в том, что в таких районах, как Швейцария и Великобритания, где плодородных земель было мало, каменный век завершился быстрее, чем в районе Сены-Уазы-Марны, где плато давали возможность для широкого расселения.

Первостепенное значение земельных участков для социальной структуры ранних земледельцев вряд ли должно вызывать удивление. Однако для периода неолита такое значение нельзя понять, не принимая во внимание пространственного расположения поселков как в масштабах всей Европы, так и в отдельных ее районах. Действительно, карта распределения поселков является одним из тех инструментов, которые сохранились в условиях современных изменений в археологических исследованиях и получают все большее применение в археологии.

Сейчас часто можно услышать термин «новая археология», под которым подразумеваются новые методы в археологии, разработанные в 60-х годах. В отличие от «старой археологии», которая была в значительной степени эмпирической и уклонялась от обобщающих теорий, новая археология в основном полагается на теории, разработанные в антропологии, лингвистике и географии.

Использование карт распределения поселков отражает эти фундаментальные изменения в археологии. Теперь такие карты не просто фиксируют местоположение поселков, но и являются основой для создания тео-

рий, объясняющих события прошлого. Это относится прежде всего к неолитическому периоду в Северо-Западной Европе. Учитывая такие пространственные концепции, как ячейки расселения, централизация,

рассредоточение и экологические зоны, стало возможным объяснить некоторые из факторов, определявших формы раннего земледелия на равнинах Северной Европы.

Наука и общество

Лица, кушетки, кошки...

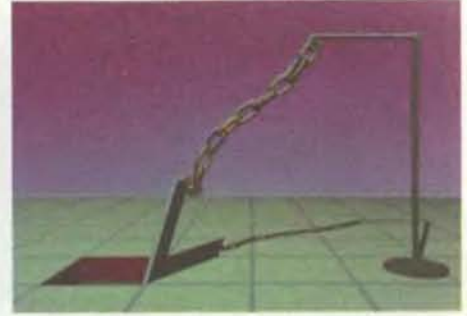
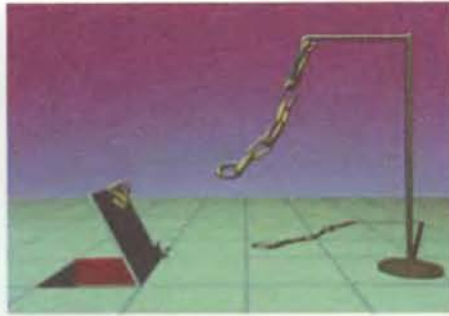
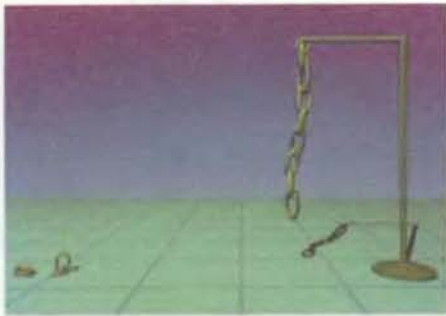
СПЕЦИАЛИСТОВ в области машинной графики уже не удовлетворяют изображения ярко раскрашенных, с резко выделенными тенями сфер и кубов, вращающихся в пространстве сюрреалистических евклидовых пейзажей. Теперь они пытаются передать на экране мягкие оттенки и легкие движения, свойственные реальному миру. С переменным успехом они моделируют такие «земные» и в то же время сложные явления, как складки материи, сворачивание цепи, свечение электролампочки и улыбку на человеческом лице.

Достижение этих целей означает изменение способа, с помощью которого машина строит изображение. Если несколько лет назад специалисты для того, чтобы сформировать на экране изображение того или иного явления, прибегали к наиболее эффективному способу из всех возможных, пренебрегая аналогиями из реального мира, то теперь они разрабатывают новые программы, которые строят изображение на основе учета физических законов, подобных тем, что действуют в реальных условиях. Такие программы требуют огромного машинного времени, и все же они не способны с достаточной точностью выразить многие основные явления. Однако по мере того, как сами компьютеры становятся все более быстродействующими, а средства программирования более совершенными, универсальность «основанных на реальности» программ, как говорит А. Барр из Калифорнийского технологического института (КТИ), по-видимому, «положит конец эмпирическому подходу к решению задач машинной графики».

Исследования по имитации реальностей ведутся в трех часто взаимопересекающихся направлениях: моделирование, т.е. описание трехмерных объектов и пространства их обитания; анимация («оживление»), т.е. перемещение этих объектов в пространстве; и наконец, визуализация, с помощью которой фиксируется «вид» объектов и их окружения на двумерном экране.

Искусство визуализации получило ускоренное развитие в начале 80-х годов, когда был разработан метод, известный теперь под названием «трассирование лучей». Этот метод позволяет передать эффект, который создают отдельные лучи света, отраженные гладкими поверхностями и попадающими в глаз наблюдателя. Метод, однако, имеет существенный недостаток: он придает объектам неестественный «пластмассовый» блеск. Недавно сотрудники Корнеллского университета после глубокого изучения оптики создали алгоритмы, в которых при трассировании лучей учитывается еще один фактор, а именно излучательность. Алгоритмы позволяют точно передать рассеяние света как на матовых, так и на полупрозрачных объектах (замерзшее стекло, туман, дым, огонь).

Дж. Кажийя, сотрудник КТИ, вывел «уравнение визуализации», которое позволяет достичь того же эффекта, как вместе взятые трассирование лучей и излучаемость. Оно также показывает, как свет преломляется одной прозрачной средой и попадает на другую поверхность. Примерами этого последнего эффекта могут служить мерцающие узоры, которые создает солнечный свет, на дне плавательного бассейна, а также хрустальный отблеск на гранях благородного стекла. В компьютере передать этот эффект



ЦЕПЬ И ЛЮК — это иллюстрация нового метода анимации, разработанного в Калифорнийском технологическом институте. Объекты, когда им задана цель, автоматически

стремятся к ней, подчиняясь законам физики. В данном случае последнее звено цепи набрасывается на крюк двери люка.

чрезвычайно трудно.

По сравнению с визуализацией уровень машинной анимации остается пока что довольно примитивным: большинство программ по-прежнему перемещают объект, ведя его шаг за шагом по заранее заданному пути. Барр же и его коллеги в КТИ разработали метод, который предоставляет объекту некую автономию. Создав объект, например цепь, исследователь, основываясь на законах Ньютона, определяет набор правил, которые управляют объектом. Затем он задает цель, например отклонение в некоторую точку, и цепь «откликается» автоматически. «Я заранее не знаю, каким путем объект достигнет цели», — говорит Барр.

Исследователи могут визуализировать и анимировать только то, что уже реалистично моделируется. Но, как отметил Кажийя, возможности моделирования ограничены. Последний крупный прорыв в моделировании был сделан тогда, когда ученые обнаружили, что фракталы позволяют имитировать такие естественные явления, как горы и волны. Однако существует немало самых заурядных явлений, которые невозможно имитировать с помощью алгоритмов, основанных на фракталах. «Вам не удастся найти машинных изображений старой продавленной кушетки, кошки или человека, — говорит Кажийя. — Это вещи, которые имеют фактуру». Главные усилия исследователей в настоящее время направлены на моделирование мимики человеческого лица. «Но эти модели пока что очень грубы», — добавляет Кажийя. Объекты, визуализацией и анимацией которых занимается большинство ученых, — это жесткие «геометрические примитивы», сконструированные из многоугольников.

Однако сотрудник фирмы AT&T Bell Laboratories Дж. Вейл пытается моделировать почти бесконечно мягкий объект — ткань. Как и Барр, Вейл создал программы, в основе ко-

торых, как он говорит, лежат «простые физические законы Ньютона». Вычисляя силы, действующие на отдельные нити в материале, программа передает деформацию в ткани, висящей в воздухе или обернутой вокруг манекена. Вейл пытается, кроме того, моделировать завитые или расчесанные волосы.

Кому нужен такого рода реализм? А если конкретнее, кто будет его оплачивать? Возможно, военные, которым нужна реальная обстановка в тренажерах для летчиков, или Голливуд, где всегда ищут бьющие в глаза необычные эффекты. Д. Гринберг из

Корнеллского университета считает, что благодаря повышению скорости действия машин и снижению их стоимости новые программы в конце концов станут доступными дизайнерам, «занимающимся эстетическими оценками, скажем, автомобилей или зданий». Вейл высказывает иную точку зрения. Он надеется, что умение имитировать реальность, когда оно достигнет высокого уровня, в конечном счете «вернет нас к сюрреализму и фантазии», т.е. к условиям, в которых привычные для нас объекты будут вести себя как пришельцы из других миров.



СЦЕНА С ТУАЛЕТНЫМ СТОЛИКОМ, полученная в Корнеллском университете, демонстрирует взаимодействие зеркального отражения от зеркала и диффузного отражения от матовых поверхностей.

Моделирование приливов в интересах энергетики

Расчеты на компьютерах показывают, что плотина приливной электростанции в заливе Фанди вызвала бы значительные изменения приливного режима.

Численное моделирование позволяет оценить не только экономический эффект использования энергии приливов, но и связанные с этим последствия для окружающей среды

ДЕЙВИД А. ГРИНБЕРГ

САМЫЕ ЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ приливы в мире зарегистрированы в верхней части залива Фанди между канадскими провинциями Нью-Брансуик и Новая Шотландия. Разность уровней в полную и малую воду, называемая величиной прилива, составляет здесь обычно 12 м, а в отдельных случаях может достигать 17 м. Во время прилива уровень воды повышается более чем на 30 см каждые 10 мин, и в некоторых местах беспечные прохожие должны поспешать к берегу, чтобы не быть застигнутыми поднимающейся водой. В реке Сент-Джон вода начинает двигаться вверх по течению через водопады Реверсинг-Фоллз (буквально, водопады с переменным направлением течения. — *Ред.*), а в реках, впадающих в вершину залива, можно наблюдать приливные боры — высокие одиночные волны, быстро распространяющиеся вверх по течению.

В течение многих столетий приливы оказывали большое влияние на жизнь людей, селившихся на побережье залива Фанди. В то же время всегда находились люди, размышлявшие об использовании энергии приливов в практических целях. Еще в 1609 г. были построены мельницы, которые приводились в движение за счет энергии прилива. В наше время специалисты думают о том, как заставить приливы вырабатывать электричество. Наиболее эффективный способ извлечь энергию из приливов — это построить поперек залива плотину. В полную воду резервуар позади плотины будет заполняться; во время отлива, когда уровень достаточно понизится, вода будет течь из резервуара через плотину и вращать

турбины, как это происходит на гидроэлектростанциях. Во время каждого приливного цикла должно вырабатываться, как показывают теоретические оценки, 400 млн. кВт·ч электроэнергии — столько же, сколько дают 250 больших атомных электростанций. Если суметь использовать даже небольшую часть этой в принципе доступной энергии, можно внести значительный вклад в обеспечение энергией восточной части Северной Америки.

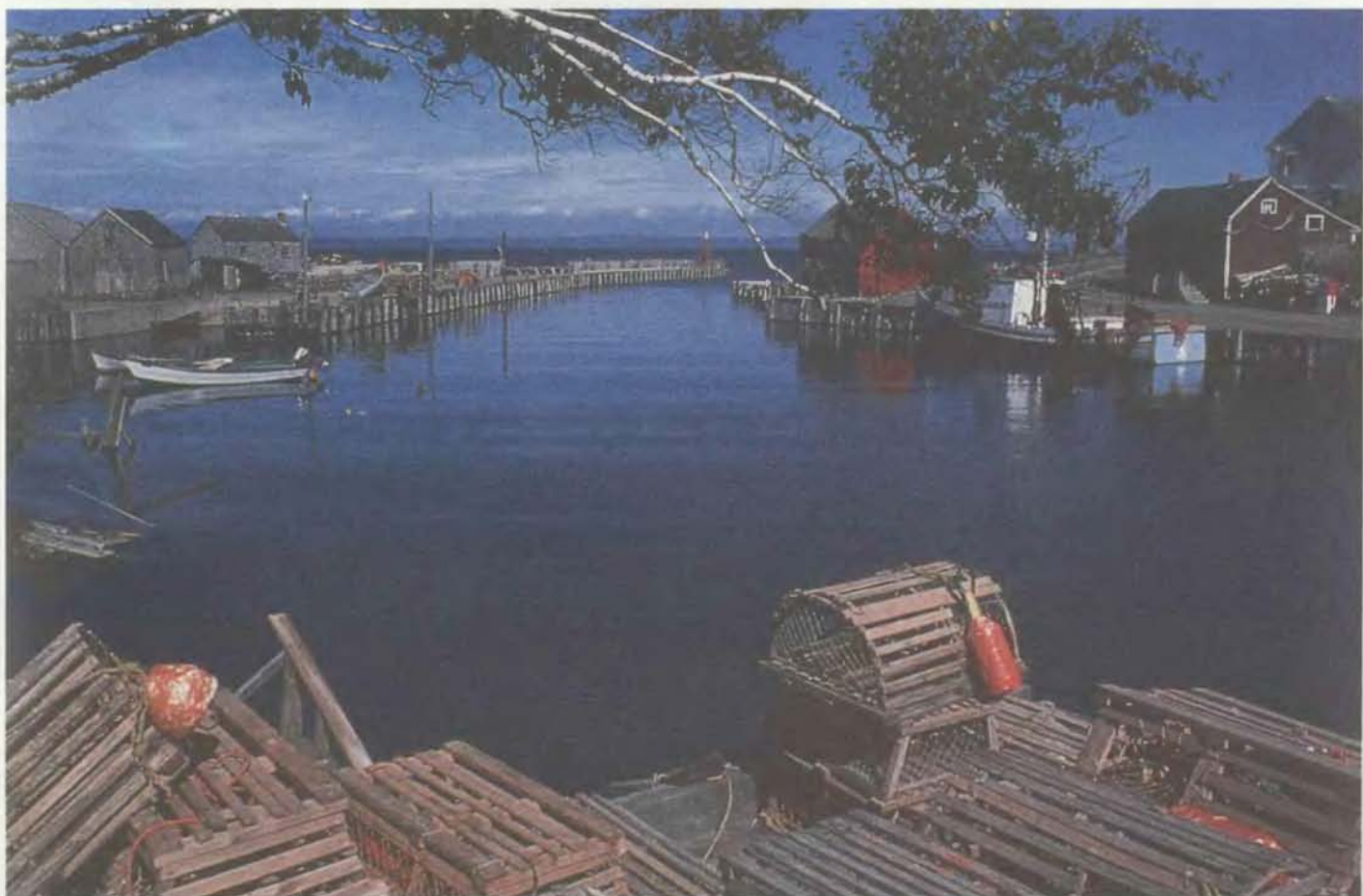
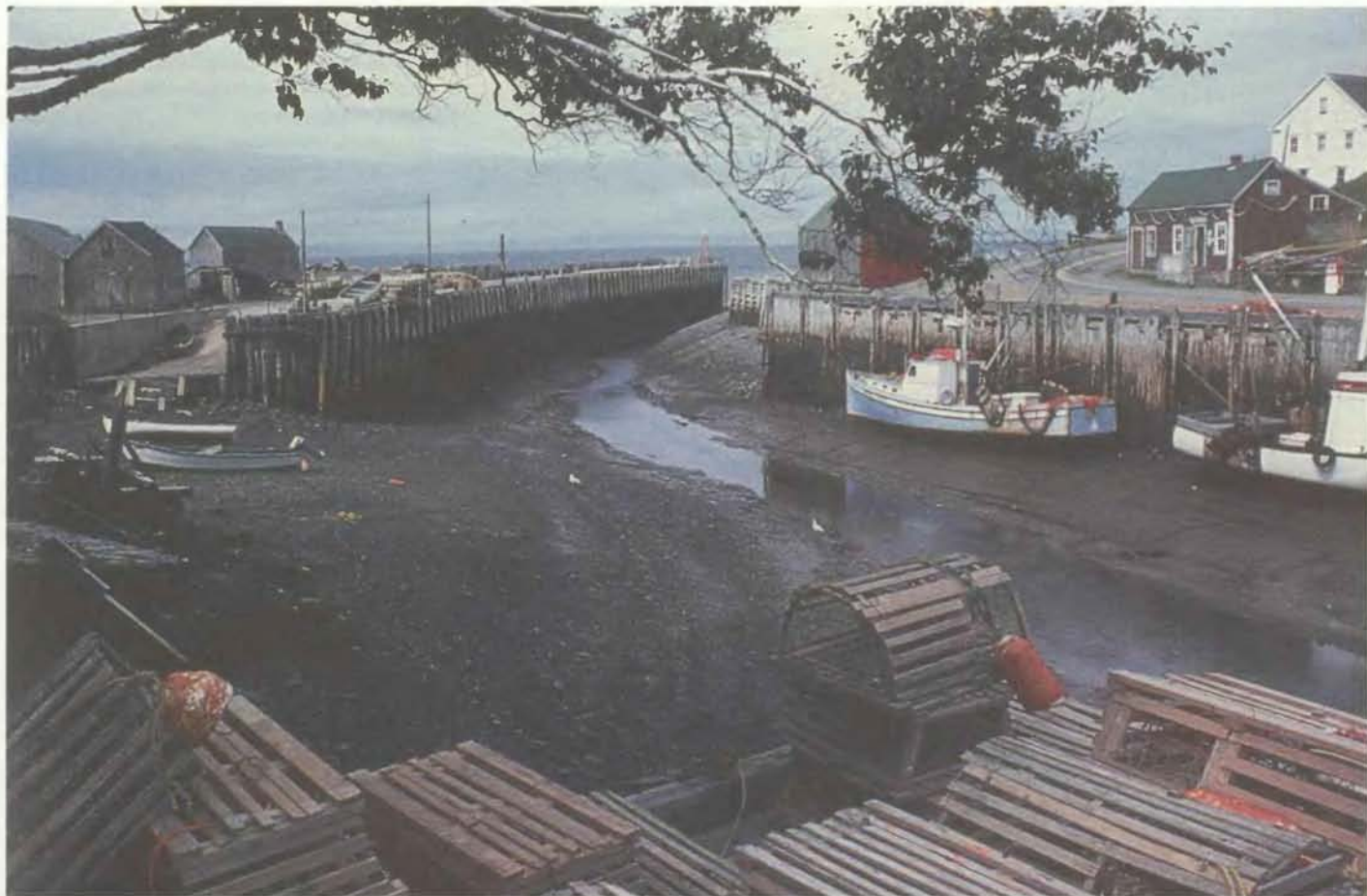
Администрация провинции Новая Шотландия и правительство Канады уже построили опытную электростанцию мощностью 20 тыс. кВт на входе в залив Фанди около города Аннаполис-Ройал и серьезно изучают три проекта коммерческой приливной электростанции в заливе. Крупнейший из рассматриваемых проектов предусматривает постройку плотины в заливе Майнас-Бейсин. Через турбины этой плотины должно протекать 55 тыс. м³ воды в секунду, (в 7 раз больше, чем расход воды в реке Св. Лаврентия у Монреаля), а ее мощность составит 5000 МВт. Эти проекты были экономически выгодными несколько лет назад, когда цены на нефть достигли наивысшего уровня. Они остаются привлекательными и в расчете на будущее, поскольку приливные электростанции в отличие от атомных и тепловых безопасны, не загрязняют атмосферу и открывают доступ к практически неиссякаемому источнику энергии.

Однако любые работы таких масштабов неизменно влекут за собой определенные последствия для окружающей среды. Для того чтобы установить, каких последствий можно

было бы ждать в случае постройки приливной электростанции, мы с коллегами создали численную модель приливов. Из нее следует, что постройка плотины приведет к возрастанию величины прилива на большом участке побережья залива Мэн вплоть до Бостона и полуострова Кейп-Код и что это изменение в свою очередь окажет заметное влияние на окружающую среду. Пока мы не можем предсказать, каким конкретно будет это влияние, но мы считаем, что наша модель является достаточно точной, чтобы с ее помощью можно было оценить не только «экономическую», но и «экологическую» стоимость приливной энергии.

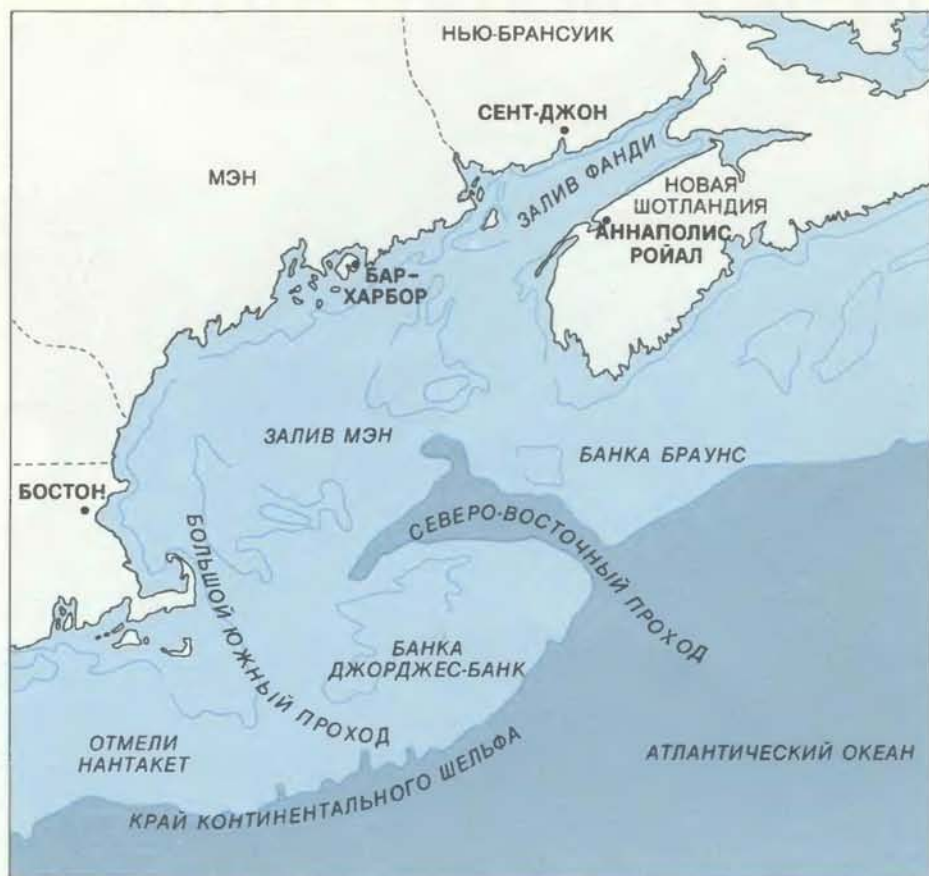
НАУЧНОЕ объяснение мощных приливных колебаний уровня в заливе Фанди на протяжении десятилетий оставалось предметом споров. Притяжение Солнца, Луны и Земли объясняет приливы в океане, на глубокой воде, которые в свою очередь выступают как движущие силы по отношению к приливам в мелководных районах континентального шельфа. Но в шельфовой зоне существеннейшими оказываются такие локальные факторы, как форма береговой линии, глубина воды и ширина шельфа. Исключительные приливы в заливе Фанди объясняются по общему мнению размерами залива, которые служат причиной явления, называемого резонансом.

Резонанс может возникать в любой колебательной системе, имеющей собственный период колебаний. Когда на систему воздействует периодическая внешняя сила с частотой, равной собственной частоте системы,



ТАКИЕ РАЗИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ — обычное явление для небольшого рыбного порта Халлс-Харбор в Новой Шотландии. По меркам залива Фанди приливные колебания

здесь средние по величине, однако они целиком определяют распорядок жизни рыбаков, поскольку лодки могут выходить в море и возвращаться только во время прилива.



ЗАЛИВ МЭН И ЗАЛИВ ФАНДИ должны рассматриваться как одна система при анализе приливов в заливе Фанди и эффектов, которые может создать плотина приливной электростанции. Наиболее значительный прилив наблюдается в заливе Майнас-Бейсин, а наиболее сильные течения — у мыса Кейп-Сплит. В качестве возможных мест для постройки плотины рассматриваются заливы Шеподи, Камберленд-Бейсин и Майнас-Бейсин. Вблизи города Аннаполис-Ройал уже действует опытная приливная электростанция.

амплитуда вынужденных колебаний системы резко возрастает. Например, хрустальный бокал, если по нему несильно ударить, издает звук определенной высоты, которая зависит от характеристик хрусталя и от формы бокала. Если певец берет ту же ноту, на которой звенит бокал, звуковые волны усиливают естественные колебания бокала; в результате тот начинает сильно вибрировать и даже может лопнуть.

Тому, что происходит в заливе Фанди, ближе другая аналогия — колебание воды в ванне. Если наполнить обычную ванну сантиметров на двадцать и раскачать воду, то вода будет двигаться взад и вперед с периодом около 2 с. Если теперь продолжать подталкивать воду синхронно с ее колебаниями, то колебания будут усиливаться и вода начнет выплескиваться за края. Неискушенный человек может подумать, что, толкая воду чаще, удастся получить больший эффект, но это не так: колебания в этом случае были бы слабее, поскольку внешние толчки мешали бы естественному движению воды. Период волны (время, которое занимает одно

колебание) определяется глубиной ванны и длиной ванны.

В течение полувека считалось, что глубина и длина залива Фанди таковы, что приливная волна, идущая из открытого океана, проходит через залив и отражается назад за время, очень близкое к периоду лунного полусуточного прилива — 12,4 ч. Считалось, что первая резонансная мода для залива Фанди должна иметь период от 10,5 до 12 ч. Однако в 1968 г. Д. Рао, работавший в ту пору в отделе морских наук министерства энергетики, горнодобывающей промышленности и природных ресурсов, рассчитал на основе одной из существовавших приливных моделей, что резонансный период для залива гораздо меньше — около 9 ч. Это достаточно близко к периоду лунного прилива, чтобы вызвать некоторое увеличение амплитуды колебаний, но для настоящего резонанса нужно более близкое совпадение. Тем не менее гипотезу резонанса удобно использовать при анализе, если рассматривать не один залив Фанди, но и примыкающий к нему залив Мэн. Два залива образуют вместе одну колебательную систему,

резонансный период которой равен 13,3 час.

После постройки плотины приливной электростанции в вершине залива Фанди изменилась бы длина колебательной системы, а значит и ее резонансный период. В то же время, поскольку колебания в системе близки к резонансным, даже небольшие изменения длины залива могли бы привести к существенным изменениям амплитуды приливных колебаний. Для того чтобы выполнить расчеты по моделям приливов и дать прогноз изменений, которые вызовет плотина, мы должны учесть помимо длины бассейна еще несколько важных факторов. В верхней части залива, например, обнажение дна во время отлива и их затопление во время прилива может приводить к смещениям уреза (линии пересечения поверхности воды с сушей) на несколько километров. У мыса Кейп-Сплит, между проливом Майнас-Чаннел и заливом Майнас-Бейсин (там, где величина прилива максимальна) имеются узкости, которые существенно ограничивают поток воды во время прилива и отлива. Здесь отмечены течения со скоростями более 4 м/с, что указывает на важную роль диссипативных механизмов и требует их включения в расчеты.

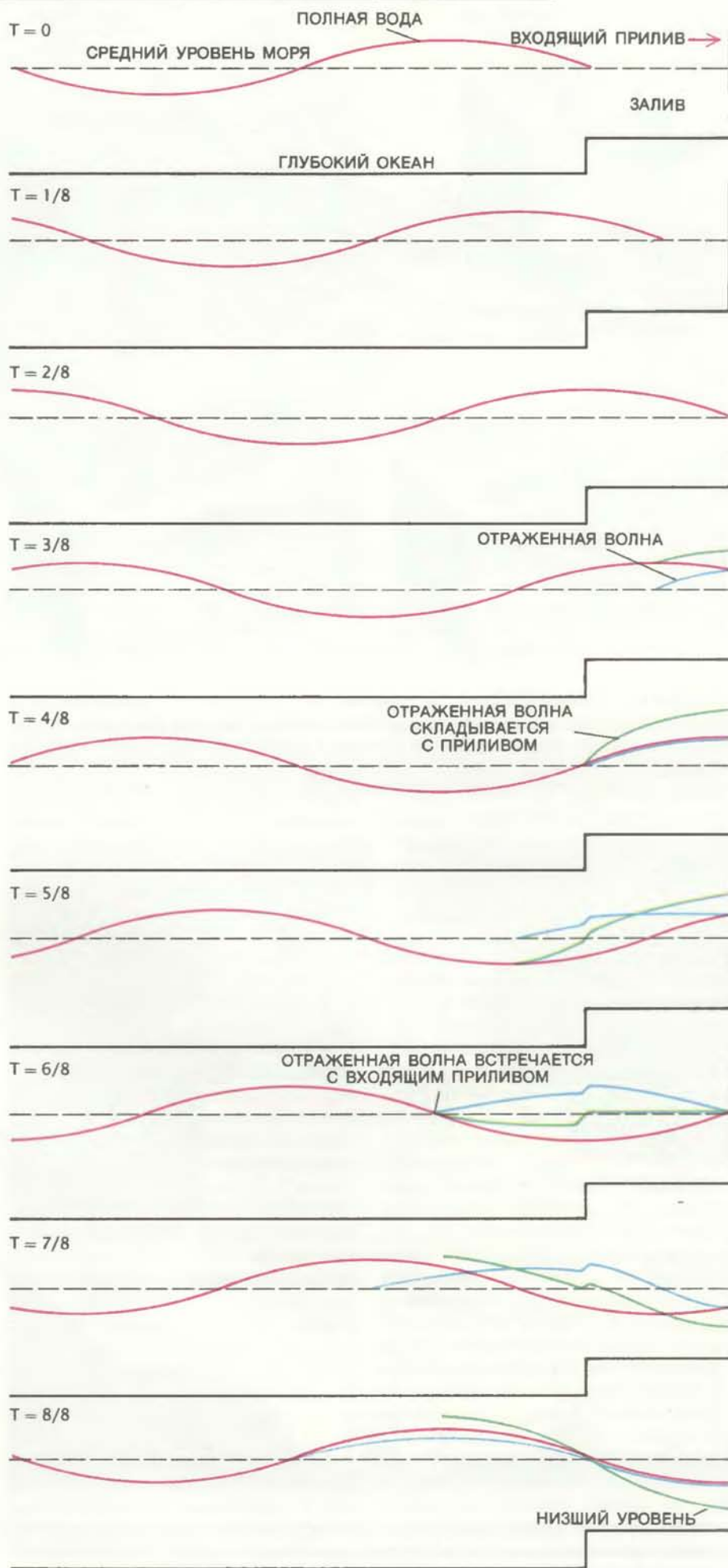
НАША МОДЕЛЬ, как и всякая другая математическая модель, служит инструментом прогнозирования. Детерминистский взгляд на природные явления означает, что если знать все физические законы и состояния всей вселенной в данный момент времени, то можно предсказать ее состояние в будущем. К сожалению, все относящиеся к такой задаче уравнения невозможно решить даже для маленькой системы. С появлением компьютеров ученые нашли способ упростить ситуацию путем создания численных моделей, которые описывают окружающий нас мир приближенно. Сами модели часто чрезвычайно сложны и состоят из многих отдельных частей, каждая из которых требует выполнения массы вычислений. Тем не менее такие модели способны давать важные результаты для достаточно больших отрезков времени. Одной из трудностей при создании модели является необходимость свести проблему к надлежащему масштабу и выбрать наиболее важные для этой задачи физические законы. При этом вы всегда стоите перед дилеммой: повысить точность, взяв более сложную модель, или снизить вычислительные затраты, обратившись к более простой модели.

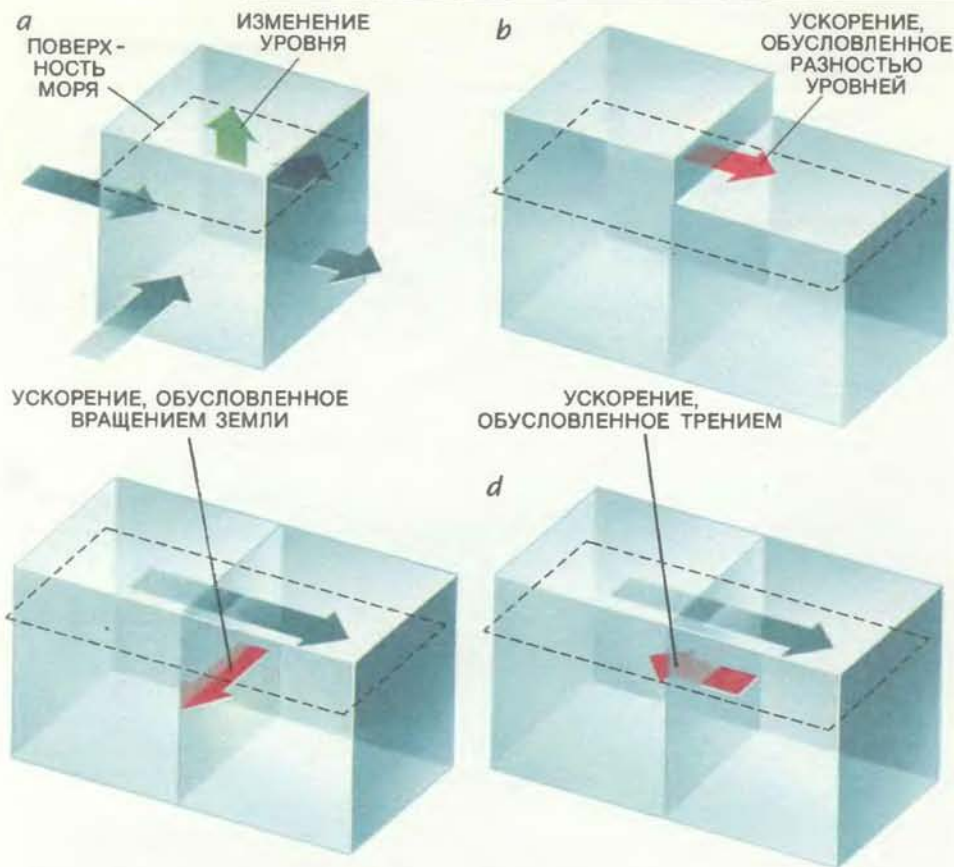
Моделируя приливные колебания в заливах Фанди и Мэн, приходится

иметь дело не с движением отдельных молекул, а с перемещениями больших объемов воды, вызванными воздействием приливов открытого океана. По этой причине мы разбили исследуемую область на ячейки, каждая из которых представляет прямоугольный в сечении столб воды, простирающийся от дна до поверхности. В каждой ячейке действуют те физические законы, которые управляют движением воды в море. Тогда, если нам известна картина приливных течений и распределение уровня воды в определенное время, мы можем, используя модель, рассчитать поле течений и уровень в последующие моменты времени. Кроме того, мы можем предсказать, как изменится ситуация в случае изменения физических условий, например в результате постройки плотины.

Закон сохранения массы требует, чтобы уровень воды в ячейке повышался, если в ячейку с боков втекает больше воды, чем вытекает. Если в какой-то ячейке уровень окажется выше, чем в соседней, то вода начнет двигаться в ячейку с более низким уровнем. Вследствие вращения Земли всякое движение воды от ячейки к ячейке приведет к возникновению ускорения в перпендикулярном направлении (в Северном полушарии — вправо от направления движения). Одновременно движению воды будет противодействовать сила трения, пропорциональная квадрату скорости течения. В некоторых местах, например в узких проливах, где течение быстрое, или у резких изломов береговой линии, следует также учитывать ускорение воды, связанное со значительными изменениями скоро-

ОКЕАНСКИЙ ПРИЛИВ может усиливаться вследствие резонанса в заливе подходящей формы. Приливная волна (красная линия) входит в залив в момент времени $T = 0$. При $T = 2/8$ она достигает вершины залива и отражается назад (синяя линия). Входящая и отраженная волны накладываются друг на друга, что создает наблюдаемый уровень воды (зеленая линия). При $T = 4/8$ волны складываются, давая пик в приливных колебаниях. В конце цикла взаимное наложение ложбин приводит к значительному понижению уровня в малую воду. На рисунке масштаб искажен; в действительности глубина океана в 10 раз больше глубины шельфовой зоны. Когда отраженная волна покидает залив, ее амплитуда уменьшается обратно пропорционально изменению глубины воды. (Когда приливная волна входит в залив, ее амплитуда не возрастает, поскольку энергия частично отражается от края шельфа и возвращается в открытый океан.)





ПРИНЦИП СОХРАНЕНИЯ МАССЫ требует, чтобы уровень в ячейке вычислительной сетки повышался, если в нее втекает воды больше, чем вытекает (а). Разница в уровнях между ячейками вызывает течение воды в сторону понижения уровня (b). Вследствие вращения Земли эта вода отклоняется в перпендикулярном направлении (c). Придонное трение противодействует течению (d).



РАЗМЕРЫ ЯЧЕЙКИ вычислительной сетки определяют наименьшие размеры острова, залива, косы, участка открытой границы или подводной возвышенности, которые можно разрешить в данной приливной модели.

сти и направления течения на меньших расстояниях. В большинстве случаев при расчете приливов этот эффект можно считать пренебрежимо малым и не учитывать, но для залива Фанди такое упрощение не годится.

Размер ячейки вычислительной сетки — это тот параметр, от которого зависит разрешение модели и объем вычислений. Минимальный размер острова, залива или подводной возвышенности, которые еще можно учесть в модели, примерно равен размеру ячейки. Самая короткая коса, которую еще можно «углядеть» в модели, имеют длину, равную боковой стороне ячейки. Максимальный временной шаг, который можно брать в вычислениях, равен времени, необходимому для того, чтобы мелководная волна прошла через одну ячейку. Поскольку компьютер производит вычисления на каждом временном шаге и в каждой ячейке, более высокое разрешение (большее число ячеек) требует большего объема вычислений. Чтобы повысить разрешение в два раза, число ячеек следует взять вчетверо большим. В то же время временной шаг придется вдвое уменьшить (а общее число шагов вдвое увеличить), поскольку волна будет проходить через новую ячейку в два раза быстрее. В итоге объем вычислений возрастет в восемь раз. (Другими словами, объем вычислений обратно пропорционален кубу длины боковой стороны ячейки.)

ЧТОБЫ уменьшить объем вычислений, необходимых для расчетов приливных колебаний в заливах Фанди и Мэн, мы взяли сетку с шагом (или стороной ячейки) переменной длины; эта сетка дает очень высокое разрешение (1,7 км) в верхней части залива Фанди, имеет в средней части более грубые ячейки (2,3 и 7 км) и обладает низким разрешением (21 км) в заливе Мэн. Многократные проверки показали, что точность расчетов по нашей модели практически не зависит от разрешения, принятого для залива Мэн, но весьма чувствительна к точности вычислений в вершине залива Фанди. Наивысшее разрешение требуется для залива Майнас-Бейсин, окрестности мыса Кейп-Сплит и тех областей, где очень большая разница между положением уреза в малую и полную воду приводит к значительным изменениям береговой линии и течений. Не имея высокого разрешения для указанных районов, вряд ли возможно воспроизвести существующий приливной режим с достаточной точностью; в этом случае наши прогнозы оказались бы построенными на песке.

Для полного описания модели мы



МОДЕЛЬ ПРИЛИВОВ хорошо воспроизводит наблюдаемые высоту лунного полусуточного прилива и распространение приливной волны. Синие линии показывают предсказываемое повышение уровня (м) в полную воду относительно среднего уровня. Красные линии отмечают продвижение прилива, начиная с момента подхода приливной

волны к краю шельфа. Система залив Фанди — залив Мэн резонирует, если ее длина равна четверти длины приливной волны. Приливной волне требуется от 3,3 до 4 ч, чтобы добежать от края шельфа до залива Майнас-Бейсин. Это близко к четверти периода колебаний в системе заливов (13,3 ч), что объясняет большую амплитуду прилива.

должны иметь информацию о том, что происходит на границе исследуемой области. Берег представляет собой «твердую границу»: вода не может течь через ту сторону ячейки, которая совпадает с береговой линией. В вершине залива Фанди во время отлива обнажаются большие площади, так что по мере отступления воды (в модели) соответствующие ячейки исключаются из рассмотрения, а когда уровень вновь начинает повышаться, они одна за другой вводятся в расчеты; таким образом можно учесть смещение береговой линии.

В тех ячейках вычислительной сетки, которые находятся у открытых границ области, например у края континентального шельфа, мы должны каким-то образом задать движение воды внутрь области и из нее. Океанский прилив «толкает» воду через континентальный шельф в залив Мэн; это условие и создает движение в модели. Оно может быть представлено либо как изменение уровня, обусловленное океанским приливом, либо как направленное в залив или из него приливное течение (следует сказать, что уровень измерять легче, чем течение).

Если мы хотим использовать результаты расчетов по нашей модели для выяснения вопроса о том, какое влияние будет иметь плотина приливной электростанции, мы должны расположить открытую границу области достаточно далеко, чтобы приливные колебания вблизи нее не изменялись

существенно при включении плотины в модель. Одной из естественных границ может служить край континентального шельфа, поскольку мелководная шельфовая область слабо влияет на приливы открытого океана. В остальной части области мы провели границу на расстоянии одной ширины шельфа от залива Мэн — достаточно далеко для того, чтобы влияние процессов, происходящих в верхней части залива Фанди, можно было считать незначительным. (На части границы, соответствующей береговой линии, ставилось условие непротекания.)

Выбор открытой границы вносит наибольшую неопределенность, поскольку на самом деле ни один район океана не удален от района исследования настолько, чтобы совсем не испытывать влияния плотины. К. Гарретт с коллегами из Университета Далхаузи и я использовали модель Северной Атлантики, с тем чтобы оценить реакцию областей, удаленных от залива Мэн. Опираясь на полученные данные, мы установили границы неопределенности, свойственные нашей модели, и пришли к выводу, что даваемый ею прогноз изменений уровня должен оправдываться с точностью до 25%.

Прежде чем использовать нашу модель в целях прогноза, мы должны были провести ее калибровку и убедиться, что она достаточно хорошо воспроизводит существующий приливной режим. Для открытой грани-

цы области были использованы данные с измерителей приливов. Рассчитанные значения уровня и характеристики течений мы сравнили с данными измерений в более чем 70 точках. Это позволило уточнить модель и в своей окончательной форме она хорошо описывает наблюдаемые приливы.

Главной целью калибровки было выбрать подходящие коэффициенты трения. Эти коэффициенты параметризуют шероховатость дна и характер течений неприливного характера, обуславливающих трение, которое уменьшает высоту приливной волны и приводит к ее запаздыванию. Характеристики трения проверялись путем сравнения с длиннопериодными вариациями приливов. Полусуточный лунный прилив на глубокой воде испытывает вариации в пределах $\pm 3,7\%$ с периодом 18,6 лет; эти вариации обусловлены изменениями наклона лунной орбиты. Наблюдения показывают, что в заливах Фанди и Мэн трение уменьшает величину модуляции колебаний до 2,4%. Задав в модели увеличенную на 3,7% величину прилива на открытой границе на входе в систему, мы получили измененные величины прилива в заливе, близкое к наблюдаемым 2,4%. Итак, имея модель, достаточно аккуратно учитывающую влияние трения, мы могли перейти к тому, чтобы рассчитать возможные изменения приливного режима.



ПЛОТИНА В ЗАЛИВЕ ШЕПОДИ может стать причиной того, что в вершине залива Фанди амплитуда прилива уменьшится, а в заливе Мэн возрастет. (Карта показывает изменения амплитуды в сантиметрах.) В результате постройки плотины уменьшились бы периоды колебаний как в заливе Фанди (9 ч), так и в системе залив Фанди — залив Мэн (13,3 ч).

Собственный период колебаний в заливе отделился бы от лунного полусуточного периода, равного 12,4 ч, поэтому прилив здесь должен был бы ослабнуть. И наоборот, собственный период колебаний системы залив Фанди — залив Мэн стал бы ближе к периоду полусуточной составляющей, что привело бы к возрастанию амплитуды прилива.

ПРЕЖДЕ ЧЕМ изложить наши выводы, следует дать читателям представления о приливных электростанциях, влияние которых мы собирались оценить. Самый крупный проект предусматривает постройку в вершине залива Фанди электростанции с максимальной мощностью 5000 МВт и средним выходом 1500 МВт — намного большим того, что могут потребовать энергетические системы атлантического побережья Канады. Эта энергия может подаваться в крупную электрическую сеть северо-востока США, что позволит сэкономить 23 млн. баррелей нефти в год.

В существующих и проектируемых электростанциях в Канаде, Франции, Южной Корее и СССР предусмотрено использование плотин, которые задерживают воду во время прилива, а затем позволяют ей протекать через турбины. Для этих целей нужны особые турбины, поскольку напор (разница в уровнях воды по разные стороны плотины) на приливных электростанциях низок по сравнению с крупными гидроэлектростанциями. Турбины должны иметь в диаметре не менее 7 м и вращаться относительно медленно (со скоростью около 60 об/мин).

Проект электростанции в верхней части залива Фанди предусматривает установку 100 или более таких турбин на плотине длиной 8 км. Во время прилива резервуар позади плотины

будет наполняться водой через водоводы. Затем должно пройти некоторое время, чтобы уровень воды перед плотинной упал, после чего турбины будут работать в течение 7 ч. Когда уровень в резервуаре понизится настолько, что напор окажется недостаточным для работы турбин, турбины будут отключены. Когда уровень воды перед плотинной превысит уровень в резервуаре, водоводы будут открыты и цикл начнется сначала. Этот вид генерации электроэнергии, применяемый на опытной станции в Аннаполис-Ройале, называется генерацией во время отлива. Можно сделать так, чтобы турбины работали при движении воды и из резервуара, и в резервуар; энергии при этом можно было бы получать больше, но вследствие большей сложности конструкции электростанции стоимость электроэнергии возросла бы.

Для оценки влияния плотины приливной электростанции нам надо было специальным образом задавать поток воды через ячейки вычислительной сетки, приходящиеся на плотину. Например, разница в уровнях воды перед плотинной и за ней определяет, будут ли открыты водоводы или включены турбины, и устанавливает направление потока воды. Во время вычислений скорости потока через плотину нельзя пользоваться законом сохранения количества движения, поскольку энергия забирается из воды.

Вместо этого применяется гидравлический принцип, согласно которому поток через плотину пропорционален корню квадратному из напора. Скорость, с которой вода втекает в данную ячейку и вытекает из нее, зависит также от того, сколько водоводов и турбин приходится на сторону данной ячейки.

ТЕПЕРЬ перейдем к результатам расчетов, выполненных для двух из проектируемых электростанций. Первая серия расчетов относится к небольшой плотине (мощностью 1600 МВт) в заливе Шеподи. На самой плотине, как предсказывает модель, амплитуда приливных колебаний уровня уменьшится на 24 см. (Амплитуда измеряется относительно среднего уровня и равна половине величины прилива; в данном случае это означает, что в полную воду уровень будет на 24 см ниже, а в малую — на 24 см выше.) Уменьшение амплитуды будет наблюдаться во всей верхней части залива Фанди; в направлении к выходу из залива этот эффект будет ослабевать и в центральной части залива вблизи Сент-Джона сменится на обратный. На побережье залива Мэн от Бар-Харбора до мыса Кейп-Код амплитуда прилива возрастет на 3—4 см.

Другая серия расчетов была выполнена для самого крупного из существующих проектов, предусматриваю-



ПЛОТИНА В ЗАЛИВЕ МАЙНАС-БЕЙСИН создала бы полностью противоположный эффект. Вблизи плотины амплитуда прилива уменьшилась бы, а в заливе Мэн возросла на 10—20 см. В отличие от ситуации в заливе Шеподи ослабление прилива в окрестности мыса Кейп-Сплит не произойдет, хотя здесь имело бы место такое же изменение па-

раметров резонанса. Вместо этого плотина вызвала бы замедление приливных течений, так что диссипация энергии в узкостях вблизи мыса Кейп-Сплит уменьшилась бы. В результате энергия воды была бы больше и уровень ее выше, что привело бы к компенсации эффектов, связанных с изменением характеристик резонанса.

шего постройку плотины длиной 8 км в заливе Майнас-Бейсин; эта электростанция должна давать 5000 МВт электроэнергии. Модель предсказывает, что на плотине амплитуда прилива уменьшится на 34 см; этот эффект будет быстро ослабевать в направлении из залива Майнас-Бейсин. На большей части залива Фанди и залива Мэн амплитуда возрастет: на 20 см в заливе Шигнекто и на 15 см в заливе Массачусетс. (В обеих сериях расчетов изменения амплитуды прилива уменьшаются в направлении к открытой границе области.)

Природа предсказываемых изменений может быть объяснена в рамках гипотезы резонанса, о которой я говорил выше. Плотина делает залив Фанди короче, так что собственный период колебаний, равный 9 ч, сдвигается дальше от периода в 12,4 ч лунной полусуточной составляющей и амплитуда прилива в заливе уменьшается. В отличие от этого уменьшение резонансного периода системы залив Фанди — залив Мэн (равного 13,3 ч) примерно на 10 мин делает его более близким к периоду внешнего прилива и амплитуда приливных колебаний в заливах возрастает.

В случае постройки плотины в заливе Шеподи эффект уменьшения амплитуды (для одного залива Фанди) будет доминировать в вершине залива Фанди, а эффект увеличения амплитуды (для системы залив Фанди — залив Мэн) будет доминировать в заливе Мэн. В центральной части залива

Фанди два эффекта взаимно уничтожают друг друга. Для случая плотины в заливе Майнас-Бейсин дело усложняется влиянием эффектов трения. Обычно значительная энергия диссипирует вследствие трения в узкостях у мыса Кейп-Сплит. В результате постройки плотины поток воды через пролив ослабнет, вода там будет течь медленнее и потери энергии на диссипацию будут меньше. Как следствие, за мысом вода будет обладать большей энергией и во время прилива будет подниматься выше. Сочетание двух эффектов — уменьшения диссипации энергии и изменения резонансного периода — приведет к увеличению амплитуды прилива всюду, кроме окрестности плотины.

ИЗМЕНЕНИЯ приливного режима, предсказываемые нашей моделью, имели бы место повсюду вдоль побережья заливов Фанди и Мэн. Но насколько они были бы значительными? По отношению к естественным локальным вариациям уровня моря эти изменения могут показаться второстепенными. У Бостона, например, повышение уровня в полную воду может варьировать от 1 до 2 м в течение года. Местные ветры могут создавать нагоны с высотой 1 м, а сильные шторма — до 2 м. Измерения движения литосферных плит указывают, что кора в районе Бостона погружается со скоростью от 15 до 30 см за 100 лет (относительно среднего уровня моря). Парниковый эф-

фект, по самым надежным оценкам, приведет к глобальному повышению уровня моря на 1 м за следующие 100 лет.

Можно подумать, что в сравнении с этими изменениями прогнозируемое увеличение амплитуды прилива на 15 см в заливе Массачусетс не будет заметно, однако для тех районов, которые уже являются чувствительными к вариациям уровня моря, такое повышение было бы на самом деле значительным. Обычно угроза затопления прибрежных районов возникает при сочетании прилива, сильного волнения и штормового нагона. Даже небольшое дополнительное повышение уровня в полную воду может привести к наводнению при таких условиях, которые в ином случае не считались бы опасными. Можно ожидать поэтому, что частота наводнений возрастет, а их разрушительное действие усилится и что для районов, которые прежде считались безопасными, придется пересмотреть критерии затопления. Многие портовые сооружения и береговые конструкции расположены вблизи уреза, соответствующего полной воде; некоторые из более старых сооружений уже испытывают дополнительные нагрузки из-за того, что уровень моря поднялся, и если высота прилива возрастет хотя бы незначительно, эти нагрузки усилятся.

Повышение уровня вызовет изменение и в картине приливных течений, которые играют важную роль в пере-

мешивании воды в заливах Фанди и Мэн. Летом поверхностная вода теплее и менее солона, а значит, и легче, чем придонная вода. Мощные приливные течения перемешивают воду, делая верхний слой более холодным, а нижний — более теплым. Изменение температуры поверхности воды могут почувствовать отдыхающие на пляжах; оно может даже привести к изменению локальных метеоусловий, которые проявляются, например, в образовании тумана. Более интенсивные приливные течения могут также усилить эрозию берега, которая уже стала проблемой в ряде мест на побережье заливов Фанди и Мэн. В дополнение к этому удлинению периодов сильных приливных течений ухудшилось бы навигацию во многих районах, где проводка судов и так усложнена.

Постройка плотины приливной электростанции вызвала бы и повсеместные экологические изменения. Приливным зонам (участкам побережья, которые периодически затопляются и обнажаются) отвечают определенные, довольно сложные экосистемы. Экосистема может адаптироваться или не адаптироваться к изменениям ширины приливной зоны в зависимости от того, затрагивают ли изменения уровня условия на дне. Если бы, например, область, затопляемая во время полной воды, распространилась за пределы песчаного дна, захватив более высокие скалистые участки берега, существующие марши (солонные болота) трансформировались бы в иные экосистемы. Если же местные жители будут вынуждены возводить насыпи, защищающие берег от более высокого прилива, марши исчезнут вообще.

Наиболее серьезным изменением подвергнется область позади плотин электростанции. Плотина будет препятствовать, например, миграциям некоторых видов рыб, причем не ясно, удастся ли направить рыбу в специальные проходы, чтобы она не попала в турбины. Приливные течения в заливе Фанди в верхней его части достаточно сильны для того, чтобы перемешивать воду от поверхности до дна. Поверхностная вода в результате остается холодной в течение всего лета. Замедление приливных течений у вершины залива может привести к тому, что вода стратифицируется, т. е. наверху будет располагаться более теплый слой, а внизу более холодный. Стратификация изменила бы динамику экосистемы, поскольку теплый верхний слой, как правило, несет в себе меньше питательных веществ и в нем живут иные организмы, нежели те, что присутствуют в более холодной воде с большей концентрацией взвеси.

В МИРЕ, где люди пытаются бороться с кислотными дождями, последствиями парникового эффекта, политической нестабильностью в странах, производящих нефть, и угрозой, которую таит в себе захоронение радиоактивных отходов, энергия приливов привлекает своей неистощимостью и экологической чистотой. Вся доступная для переработки энергия приливов может обеспечить лишь часть энергетических потребностей мирового сообщества, однако когда обычные источники энергии начнут истощаться или слишком сильно возрастет их стоимость и давление на окружающую среду, энергия приливов сможет сыграть важную роль. При использовании энергии приливов также возникают ограничения, свя-

занные с воздействием на окружающую среду. Однако эти эффекты могут оказаться слабее, чем в случае использования традиционных источников энергии.

Наши исследования показали, что имеющиеся в настоящее время модели приливов обладают приемлемой точностью для того, чтобы с их помощью можно было предсказать влияние плотины приливной электростанции на приливный режим. Специалисты по охране окружающей среды и политики могут с успехом использовать этот подход, если захотят оценить последствия строительства систем для преобразования энергии приливов, а также решить, приемлема ли цена, которую приходится за это платить.

Наука и общество

И раны не страшны

СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА еще не располагает никаким широко доступным средством, позволяющим активно способствовать заживанию ран. Врач может обеспечивать лишь стерильность и должную влажность раневой поверхности и тем самым облегчить, насколько возможно, течение естественного процесса заживания. Похоже, что эта ситуация в скором времени переменится.

В заживании ран центральную роль играют размножение и миграция клеток. В организме в норме образуются особые вещества, называемые факторами роста, которые стимулируют эти процессы; некоторые известны уже давно, но обнаруживаются новые и новые. Эти вещества представляют собой секретируемые определенными клетками полипептиды, способные связываться со специальными рецепторами на поверхности других (иногда тех же) клеток. Когда молекула фактора роста связывается с рецептором, внутрь клетки поступает биохимический сигнал (его механизм далеко не ясен), вследствие которого стимулируется либо подавляется деление или перемещение клетки. Сейчас в ряде компаний применяют технологию рекомбинатных ДНК, чтобы получать такие вещества в больших количествах.

В большинстве опубликованных работ о стимулировании регенерации тканей факторами роста обсуждаются эксперименты *in vitro* или опыты на структурах глаза. Что касается последнего, то здесь лечение факторами роста может быть особенно ценно,

так как роговица не снабжается кровью. Недавно группа исследователей из Медицинского центра Университета Вашингтона в Сент-Луисе сделала существенный шаг к важной новой ступени в решении проблемы заживания ран. В своей статье, появившейся на страницах журнала "Science", они характеризуют трансформирующий фактор роста β (TGF- β) как «мощный фармакологический агент» и приводят данные о том, что он ускоряет заживание ран. Стандартные разрезы кожи у крыс при обработке суспензией, из которой медленно высвобождался TGF- β , заживали скорее, чем контрольные ранки. Фактор роста ускорял приток новых клеток к месту повреждения, стимулировал деление клеток и отложение волоконного белка коллагена. Как сказал один из исследователей, Т. Масто, разумно предполагать, что подобный эффект TGF- β имеет и у человека.

Эта работа проведена в сотрудничестве с биотехнологической компанией Amgen, Inc., которая ведет исследования регенерации тканей под действием также других факторов роста в экспериментах на различных лабораторных животных. Сейчас Amgen мобилизовала около 40 млн. долл. на клинические испытания стимуляторов регенерации на основе факторов роста; по словам представителя компании, клинические испытания должны начаться в этом году. (Хотя аномальные регуляция и биохимические превращения факторов роста не могут приводить к злокачественной трансформации некоторых клеток, нет никаких данных, указывающих на трансформацию в результа-

те просто обработки клеток фактором роста.)

Если можно разработать эффективные препараты, содержащие факторы роста, — а работы здесь много — это было бы особенно ценным для лечения таких случаев, как сильные ожоги, повреждения роговицы, раны после взятия трансплантатов кожи. Представитель Amgen высказал надежду, что в будущем появятся пропитанные факторами роста материалы для хирургических швов.

Препарат на основе эпидермального фактора роста, производимый фирмой Chiron Corporation в Эмери-вилле (шт. Калифорния), уже проходит клинические испытания. Проверка ведется на повреждениях глаза. Как сообщил президент фирмы Э. Пенхоз, более чем у трети пациентов достигнуто полное заживление. Синтетические факторы роста должны помочь также в случае пролежней и диабетических язв, которые с трудом поддаются лечению.

В этой области ставки сейчас высоки: Пенхоз отмечает, что уже сейчас годовой объем продаж препаратов для лечения ран можно оценивать в миллиарды долларов.

И жизнь в заливах возродится

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ проблемы, зловещая тень которых нависает над эстуариями и заливами, расположенными на восточном побережье США, общеизвестны: резкое падение улова рыбы, вымирающие устричные отмели, грязная вода и буйное цветение водорослей. По-новому взглянуть на эти проблемы можно, опираясь на результаты наблюдений в Чесапикском заливе, крупнейшей системе среди заливов и эстуариев континентальной части США. Эти результаты позволяют предложить некоторые меры, которые могли бы оказать благоприятное воздействие на прибрежные воды, страдающие от недостатка кислорода вследствие чрезмерного роста планктона.

Источник бед понятен: рост населения в прибрежных районах и применение в больших количествах удобрений вызвали увеличение стока питательных веществ, в основном соединений азота и фосфора. Свой вклад вносят и заводы по переработке сточных вод. Поступление питательных веществ стимулирует рост фитопланктона, который и загрязняет воду. Остатки планктона служат пищей для бактерий, живущих в донных осадках. Бактерии потребляют кислород, недостаток которого приводит к вымиранию морских растений и рыбы. Этот

процесс усиливается из-за того, что придонный слой более соленой воды остается в значительной степени изолированным от богатых кислородом верхних слоев.

Пробелы в понимании взаимосвязи всех звеньев пищевой цепи тормозили попытки найти решение проблемы. До недавнего времени большинство работ по изучению влияния питательных веществ на рост планктона ограничивалось пресноводными системами. Был сделан вывод, что лимитирующим фактором является фосфор, иными словами, от него зависит рост планктона, и поэтому именно его сброс следует контролировать. Считалось, что остальные питательные вещества планктон получает в избытке, а стало быть, для уменьшения их количества потребовались бы более сложные и дорогостоящие методы. В соответствии с этим выводом в штатах Мэриленд и Виргиния приняли решение запретить использование фосфора в deterгентах, а на заводах по переработке сточных вод на реке Потомак были задействованы сложные технологии, призванные уменьшить концентрацию фосфора в выбросах.

Добавляя питательные вещества в пробы воды Чесапикского залива, К.Д. 'Елиа из Мэрилендского университета и другие установили, что в эстуариях и заливах фосфор не всегда является лимитирующим фактором. Циркуляция и химический обмен в эстуариях имеют сложный характер. В конце лета и осенью, когда поступление в залив азота, смываемого с полей, минимально, из донных осадков выделяется много фосфора, так что лимитирующим фактором на всей акватории залива в это время становится азот. Комитет научных и технических советников (КНТС), созданный в рамках программы по изучению Чесапикского залива, финансируемой на федеральном и местном уровнях, настоятельно рекомендовал в прошлом году, чтобы при переработке сточных вод в районе залива контролировалось содержание азота.

Результаты моделирования на компьютерах химического обмена и циркуляции в заливе подтверждают необходимость в таких мерах. Как показал обзор моделей, проведенный в августе КНТС, «нет никаких сомнений в том, что в одних районах залива лимитирующим фактором является азот, а в других — фосфор». Эти слова принадлежат председателю КНТС М. Линчу. В Управлении по охране окружающей среды (ЕПА), где важная роль азота всегда недооценивалась, теперь, кажется, нехотя, но начинают признавать его роль. Ч. Спунер из ЕПА отмечает, что специали-

сты из управления «признают преимуществами контроля за содержанием азота, по крайней мере в южной части залива». По словам Спунера, недавние расчеты показывают, что введение наряду с контролем за содержанием фосфора контроля за содержанием азота может привести к увеличению концентрации кислорода в некоторых частях залива на 50%.

На долю заводов по переработке сточных вод приходится примерно треть всего азота, попадающего в залив; уменьшение концентрации азота в выбросах этих заводов потребует внедрения очень дорогостоящих технологий. Тем не менее некоторые заводы, расположенные в водосборной площади залива, начинают внедрять такие технологии; суть их заключается в добавлении углерода (в форме метанола) в качестве пищи для бактерий, перерабатывающих содержимое сточных вод. Бактерии, размножаясь, превращают нитраты в газообразный азот, который выбрасывается в атмосферу.

Стоимость таких методов можно уменьшить. Новые методы обработки, испытываемые К. Рандоллом из Виргинского политехнического института и Университета шт. Виргиния, показали, что можно удалять одновременно в большом количестве фосфор и азот. Трехступенчатый «биологический» метод Рандолла основан на добавлении в сточные воды углерода, а не метанола, для того чтобы питать бактерии, перерабатывающие азот.

Независимые исследования показали, что применение метода Рандолла, который обеспечивает чрезвычайно быструю переработку, может привести к снижению стоимости процесса на 20%; в то же время, как утверждает Рандолл, завод, работающий по предлагаемой им технологии, будет стоить всего лишь на 3% больше, чем обычный завод. Различные общественные группы пытаются через суд заставить местные власти внедрить этот процесс на новых заводах по переработке сточных вод. По словам Спунера, ЕПА считает, что метод Рандолла безусловно хорош и что в скором времени в Виргинии вступит в строй большой завод, использующий эту технологию.

Можно считать, по-видимому, что важную роль азота признали и местные власти: вскоре должно быть подписано соглашение между губернаторами тех штатов, которые примыкают к заливу. Соглашение обязывает стороны к 2000 г. снизить выбросы азота и фосфора в залив на 40% — главным образом за счет заводов по переработке сточных вод.

Наука вокруг нас

Как движутся и расслаиваются границы раздела в жидкостях



ДЖИРЛ УОЛКЕР

СЛЕЖЕНИЕ за потоком жидкости в трех измерениях — задача непростая; движение жидкости может быть весьма сложным, а внутренние области зачастую малодоступны для наблюдения. На рубеже прошлого и нынешнего веков английский инженер Г. Геле-Шоу догадался «упростить» характер движения жидкости, заставив ее течь тонким слоем. Так называемая ячейка Геле-Шоу состоит из двух параллельных прозрачных пластин, отстоящих на небольшое расстояние друг от друга. Прокладки между пластинами ограничивают движение жидкости в ячейке. С помощью этого устройства можно наблюдать за поведением жидкости и фотографировать ее; жидкость может либо находиться в замкнутом объеме, либо протекать через ячейку.

На протяжении полувека это устройство было лишь удобным приспособлением для наблюдения потока жидкости. Лишь в середине 50-х годов Дж. Тэйлор, английский физик, известный своими исследованиями по динамике жидкостей, догадался, что описанная ячейка может использоваться для изучения одного вопроса, представляющего интерес для нефтедобывающей промышленности. Нефть часто бывает заключена в пористых породах и поэтому ее нельзя выкачать, как из озера. Один из способов извлечь нефть — это прокачивать через породу воду: вода вытесняет нефть и та собирается в полостях, откуда ее уже можно откачать. Тэйлор видел эту проблему более широко. Что происходит, когда жидкость с меньшей вязкостью (например, вода), внедряется в жидкость с большей вязкостью (например, нефть)? Анализируя задачу в такой постановке, Тэйлор обнаружил, что поверхность раздела между двумя жидкостями может становиться неустойчивой и тогда на ней возникают волнообразные возмущения.

Когда явление неустойчивости применительно к поверхности раздела было подтверждено, поведение жид-

кости в ячейке Геле-Шоу вновь привлекло к себе внимание. Беря различные жидкости, исследователи обнаружили, что неустойчивость приводит к появлению разнообразных форм поверхности раздела. Опыты, проведенные в последние два года, показали, что при определенных условиях форма поверхности раздела имеет почти фрактальный характер. Термин «фрактальный» относится к такому типу симметрии, когда структура, видимая при одном увеличении, присутствует и при больших увеличениях. Хотя структуры, наблюдаемые в ячейке Геле-Шоу, являются фрактальными лишь в ограниченном диапазоне увеличений, они вызывают большой интерес.

Я попытался воспроизвести некоторые из таких опытов в простой ячейке Геле-Шоу собственного изготовления. Чаще всего в ячейке используется листовое стекло, но для своей конструкции я выбрал акрил, поскольку в нем легче сверлить отверстия. В магазине я приобрел квадратные акриловые пластины со стороной около 35 см и толщиной около 2 см. Для опытов могут послужить и более тонкие (и более дешевые) пластины, однако при толщине меньше сантиметра они будут прогибаться.

В некоторых опытах я собирался впускать воду в центральную область ячейки. В верхней пластине я просверлил отверстие диаметром 3 мм под иглу шприца. Для облегчения впуска воды в ячейку я согнул кончик одной из игл, так чтобы она легко входила под верхнюю пластину. В своих опытах я испробовал несколько типов прокладок. Наиболее подходящими оказались узкие тонкие полоски губчатой резины, которые применяются для уплотнения оконных рам. Я выбрал полоски шириной около 6 мм и укрепил их на нижней пластине (липкой стороной вниз) так, чтобы полученная прокладка проходила по периметру пластины.

У одного конца ячейки я сделал в прокладке несколько узких разрезов;

через них можно было удалять жидкость из ячейки, если та была наполнена, а для дальнейших опытов требовалось ввести дополнительное количество жидкости. Пластины прижимались друг к другу благодаря шести небольшим С-образным зажимам. Перед опытом я снимал зажимы, убирал верхнюю пластину и наливал жидкость на нижнюю пластину. Если требовалось, чтобы во время опыта вся ячейка была заполнена, я вливал столько жидкости, чтобы она примерно наполовину покрывала нижнюю пластину. Когда я ставил на место верхнюю пластину и прижимал ее к нижней с помощью С-образных зажимов, жидкость целиком заполняла ячейку, а ее избыток выливался через прорезы в прокладке.

Для того чтобы избежать образования воздушных пузырьков, я, как правило, наливал жидкость на ту половину нижней пластины, которая была расположена ближе ко мне, а затем с этой же стороны начинал прижимать к ней верхнюю пластину. Тем не менее иногда после того, как пластины были стянуты зажимами, в жидкости были пузырьки. Для того чтобы избавиться от них, я затыкал центральное отверстие бумагой и ставил ячейку на попа. Пузырьки поднимались в верхнюю часть ячейки и частично выходили через прорезы в прокладке.

При плотно защелкнутых зажимах расстояние между пластинками составляло около миллиметра. Величина этого расстояния играет ключевую роль в некоторых опытах, поскольку от него зависит размер структур, образующихся на поверхности раздела жидкостей. Размеры некоторых структур зависят также от ширины ячейки: если ячейка слишком узкая, структуры не появляются. Для домашних опытов это серьезное препятствие: с одной стороны ячейка должна быть достаточно широкой, чтобы позволять образовываться структурам, с другой — при большой ширине пластины начинают прогибаться.

Желательно было иметь возможность фотографировать структуры, образующиеся при движении жидкости. Для этого я укрепил между столами одинаковой высоты осветительную лампу, а промежуток между столами перекрыл белой бумагой, предназначенной для рассеивания света и защиты лампы от капель воды, которые могли бы попасть на нее сверху. Наполненную ячейку я ставил поверх бумаги так, что своими зажимами она опиралась на столы.

Вначале я повторил опыты Дж. Тэйлора и Ф. Саффмана из Кембриджского университета, описанные в



Шоколадный сироп, протекающий через ячейку Геле-Шоу



Картинка, наблюдаемая в глицерине при одном открытом зажиме



Воздух, вдуваемый в темный кукурузный сироп



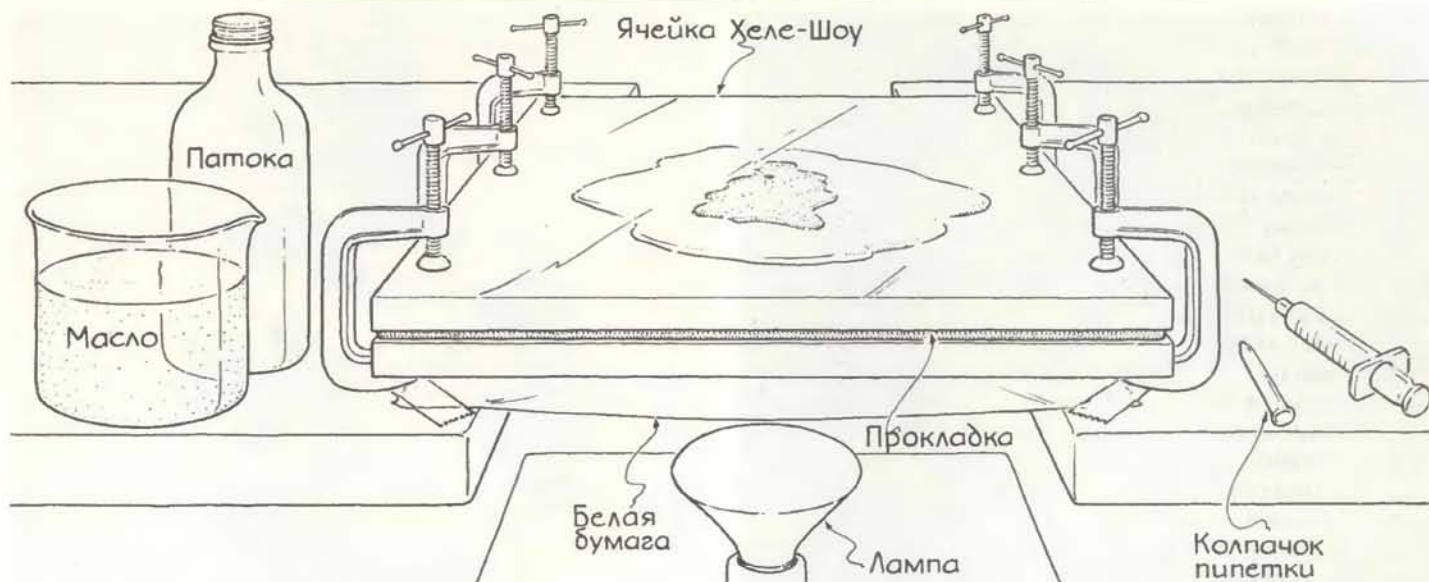
Окрашенная вода, впрыскиваемая в концентрированное молоко



Целлюлоза при высокой концентрации



Окрашенная вода, впрыснутая в желе



Установка для наблюдения за поведением жидкости в ячейке Геле-Шоу

1958 г. Представьте себе, что в одной половине ячейки находится жидкость с малой вязкостью, а в другой — жидкость с большой вязкостью. Граница раздела этих жидкостей представляет собой ровную поверхность. Если жидкость с малой вязкостью медленно надвигается на жидкость с большой вязкостью, то поверхность раздела остается ровной. Если же скорость перемещения превышает некоторую критическую величину, поверхность раздела становится неустойчивой и искривляется волнообразными возмущениями, которые растут со временем. Вскоре поверхность раздела становится похожей на перчатку: «пальцы» менее вязкой жидкости проникают в более вязкую жидкость. Неустойчивость поверхности раздела и рост пальцев объясняются разницей в вязкостях двух жидкостей. Молекулярные силы на границе раздела (или поверхностное натяжение, если одной средой является воздух) противодействуют неустойчивости, поскольку действуют в направлении уменьшения площади поверхности раздела. Однако, если эта поверхность перемещается достаточно быстро, на ней образуются растущие со временем пальцы.

Саффман продемонстрировал образование пальцев в вертикальной ячейке, где над глицерином располагался воздух. Воздух играл роль жидкости с малой вязкостью. При добавлении воздуха в верхнюю часть ячейки глицерин выталкивался вниз. Скорость перемещения поверхности раздела воздух—глицерин была достаточно велика для образования на ней волнообразных искривлений. Эти

волны росли и превращались в пальцы воздуха, которые проникали вниз в глицерин. К удивлению исследователя, вскоре доминирующим оставался один палец, в то время как остальные оказывались как бы замороженными и не увеличивались. Ширина доминирующего пальца в конце концов становилась равной ширине ячейки.

Я смог воспроизвести опыт Саффмана лишь в общих чертах. Для этого я частично наполнил изготовленную мною ячейку кукурузным маслом, а затем поставил ее на попа, чтобы масло собралось в нижней части. После этого я положил ячейку на стол и немного приоткрыл средний зажим на ближайшей ко мне стороне. В результате внезапного увеличения зазора между пластинами масло потекло ко мне, а поверхность раздела воздух—масло разбилась на ряд коротких пальцев. Похожие пальцы мне удалось получить и в другом опыте. Налив масло в ячейку так, чтобы оно окружало центральное отверстие, я вставил в отверстие резиновый колпачок от пипетки и быстро втянул в нее масло. Края масляной лужицы устремились к центральному отверстию и на них появились пальцы воздуха.

В этом году Т. Макеурти из Южно-Каролинского университета сообщил о результатах близкого по идее эксперимента. Он частично наполнял ячейку силиконовым маслом, поворачивая ячейку так, чтобы масло смочило всю внутреннюю область, и затем ставил ячейку на попу. Когда масло стекало в нижнюю часть ячейки и поверхность раздела воздух—масло выравнивалась, он переворачивал

ячейку вверх ногами, так что масло оказывалось над воздухом. В некоторых опытах Макеурти ставил ячейку строго вертикально, в других — под различными углами к горизонтали.

Если более вязкая жидкость вторгается в менее вязкую, то в соответствии с результатами аналитического исследования Тэйлора поверхность раздела становится неустойчивой только в том случае, когда ее скорость меньше определенной величины. При каждом угле наклона ячейки, которые устанавливал Макеурти, поверхность раздела двигалась достаточно быстро, чтобы оставаться устойчивой, однако всякий раз в опускающееся масло внедрялись пальцы воздуха. Очевидно, когда Макеурти начинал поворачивать ячейку, чтобы начать наблюдения, поверхность раздела двигалась с небольшой скоростью, что позволяло образовываться пальцам. После того как скорость достигала критической величины, стабилизация поверхности раздела способствовала росту одних пальцев, но задерживала рост других. В конце концов начинал доминировать один палец.

Когда ячейка стояла под углом всего несколько градусов к горизонтали, расстояние между пальцами было велико, а доминирующий палец образовывался медленно. Когда ячейка стояла вертикально, промежутки между пальцами были меньше, а доминирующий палец рос быстро. Кроме того, пальцы расщеплялись на меньшие пальцы (этот процесс называется бифуркацией). Расщепление обусловлено большой скоростью движущейся границы раздела в случае, когда ячей-

ка стоит вертикально, и узостью зазора между пластинами.

Этот опыт легко повторить в домашних условиях. Поставив ячейку на попа для того, чтобы масло собралось в нижней ее части (центральное отверстие при этом было заткнуто), я переворачивал ячейку. На поверхности раздела быстро образовывались волны, а затем и пальцы. Когда пальцы воздуха начинали расщепляться, я клал ячейку горизонтально и фотографировал их.

Этот опыт я повторил с другими жидкостями. В качестве одной из них я брал «Слайм» — гель, продающийся в магазинах игрушек. «Слайм» относится к числу необычных жидкостей, называемых неньютоновскими. Вязкость таких жидкостей изменяется, если к ним прикладываются напряжения. У «Слайма», например, вязкость возрастает. Я смешивал «Слайм» с равным количеством воды и частично заполнял смесью ячейку. Когда я переворачивал ячейку, на поверхности раздела быстро образовывались пальцы воздуха, которые пере-
межались пальцами смеси. На конце

каждого жидкого пальца имелось утолщение. Густая патока позволяет получить похожие жидкие пальцы, за исключением того, что утолщения оказываются крупнее и в конце концов отрываются от пальцев.

В другой серии опытов я вводил в различные жидкости, которыми заполнял ячейку, окрашенную воду. Из жидкостей я брал глицерин, кукурузное масло и патоку. Красителем служил метил-фиолет, который я смешивал с водой. Осторожно наполнив шприц окрашенной водой (так, чтобы в него не попал воздух), я впрыскивал окрашенную воду в центральное отверстие (через согнутую иглу) или через прорезь в прокладке (через прямую иглу).

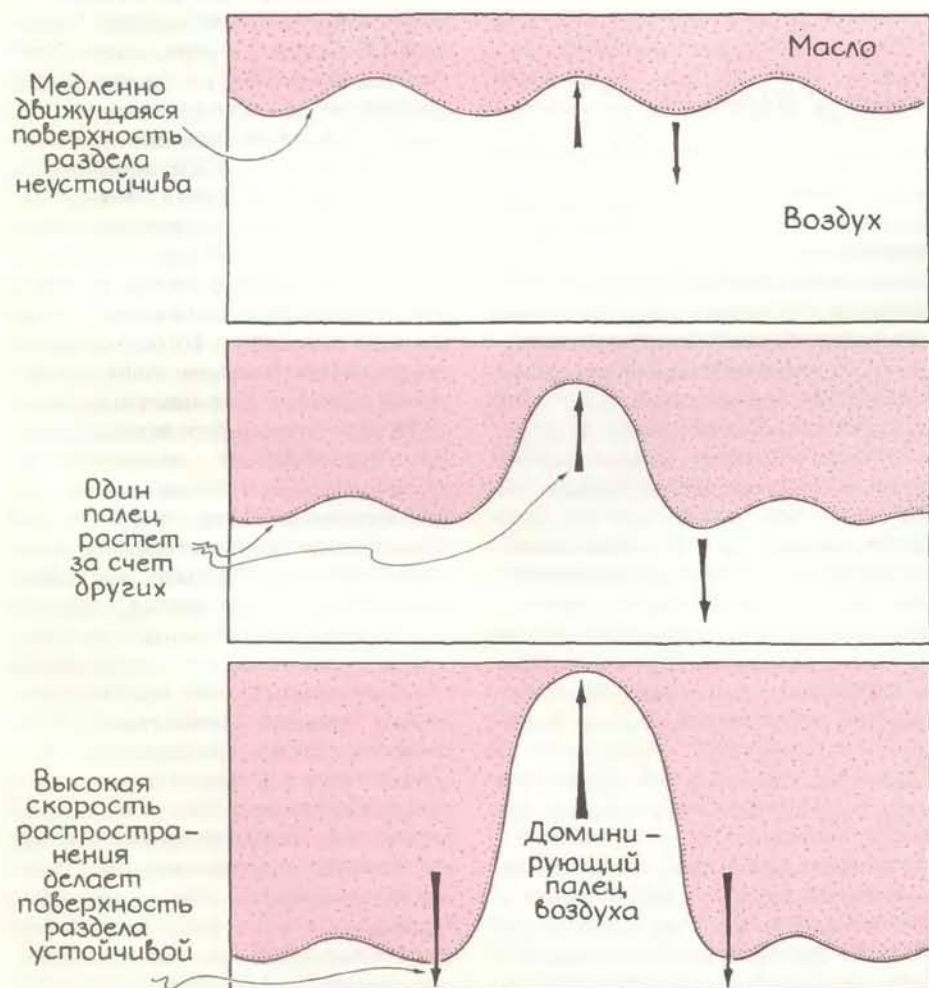
Будучи впрыснутой в ячейку через центральное отверстие, окрашенная жидкость быстро распространяется в ней: при этом образуется красивое пятно с выступами по краям, которые последовательно расщепляются. При впрыскивании воды через прорезь в прокладке возникает похожая картина, но область, занятая окрашенной водой, больше напоминает папорот-

ник. Л. Патерсон из фирмы Geomechanics в Виктории (Австралия) недавно исследовал структуры, которые получаются при впрыскивании воды в глицерин. Он обнаружил, что размеры наименьших структур на выступах примерно в четыре раза больше расстояния между пластинами в ячейке. Такая зависимость объясняется природой волн, образующихся на поверхности раздела между водой и глицерином. Наиболее неустойчивая волна, отвечающая за образование выступов, имеет длину, которая примерно в четыре раза превышает расстояние между пластинами ячейки. Вода и глицерин смешиваются, но их взаимное проникновение происходит так медленно, что структуры успевают образоваться и живут достаточно долго для того, чтобы их можно было успеть сфотографировать.

Самые интересные картинки получались у меня тогда, когда я ставил ячейку на одну сторону и впрыскивал воду через прорезь в прокладке на другой стороне. Вода двигалась вниз, местами «проваливаясь» в глицерин, а выступы испытывали многочисленные расщепления.

Патерсон исследовал и тот случай, когда в глицерин через центральное отверстие вводится воздух. В этом случае «жидкости» (воздух и глицерин) являются несмешивающимися. В соответствии с теорией, поверхность раздела между несмешивающимися жидкостями становится неустойчивой только тогда, когда длина волны, образующейся на поверхности раздела, превышает определенную критическую величину. Вначале воздушное «пятно» круглое, но слишком мало, для того чтобы могла существовать волна с длиной, большей нижнего предела. Лишь с увеличением размера пятна поверхность раздела становится неустойчивой. После этого на ней словно распускаются «цветы» и образуются расщепляющиеся выступы. Мне удалось получить такие же результаты. Для этого я вставил в центральное отверстие колпачок от пипетки и с помощью него ввел в ячейку воздух. В прозрачном глицерине фотографировать получающиеся структуры трудно. Они гораздо лучше заметны в окрашенных патоках или темных сиропах.

В 1985 г. Дж. Ниттманн и Дж. Даккор из фирмы Dowell Schlumberger во Франции и Ю. Стэнли из Бостонского университета сообщили о том, что им удалось получить пальцы с фрактальной структурой при впрыскивании воды в водный раствор одного полисахарида. Пальцы напоминали короткие тонкие ветви голого дерева. Поскольку авторы брали вод-



Растущие пальцы в опускающемся масле

ный раствор полисахарида, напряжения на границе раздела между раствором и впрыскиваемой водой не возникли. В отсутствие такого стабилизирующего фактора поверхность испытывала резкие изменения направления движения, так что возникала фрактальная структура.

К полисахаридам относятся, например, целлюлоза, гликоген, хитин и крахмал. В своих попытках воспроизвести такие же пальцы я использовал водный раствор кукурузного крахмала. Раствор является неньютоновской жидкостью: под действием приложенного напряжения его вязкость возрастает. В густой раствор впрыснуть окрашенную воду не удавалось. При умеренных концентрациях крахмала опыт проходил успешно: окрашенная вода образовывала папоротникообразные структуры с такими же толстыми ветвями и расщеплениями, что и в предыдущих опытах с изготовленной мною ячейкой. При еще большем разбавлении раствора картина упрощалась и в конце концов вырождалась в простой эллипс. Другие виды крахмала давали аналогичные результаты.

Лучше работало с раствором целлюлозы в воде. При умеренных концентрациях целлюлозы окрашенная вода образовывала пальцы с резкими изгибами — несколько похожие на те, что фотографировали Ниттманн, Даккор и Стэнли, но не такие тонкие.

Пошарив на кухне в поисках других подходящих для опытов материалов, я остановился на обычном фруктовом желе. Положив небольшое количество его в ячейку, я не торопясь один за другим защелкнул зажимы, чтобы желе расплющилось между пластинами. После этого я впрыснул окрашенную воду через прорезь в прокладке. После секундной задержки вода проходила сквозь желе и образовала элегантно фрактальную структуру.

Я лишь вкратце обрисовал те возможности, которые открывает исследование ячейка Геле-Шоу. Работая самостоятельно, вы сможете обнаружить и другие материалы из привычного обихода, которые позволяют получить фрактальные структуры. Эта область далеко не исследована, так что вам могут встретиться совершенно неожиданные картинки.

цинской школы Коннектикутского университета, впервые нарушение половой функции было расценено как побочный эффект лекарственного препарата около 10 лет назад. Тогда у пациента, которому для понижения кровяного давления давали препарат метилдофа (альдомет, или допигит), блокирующий передачу нервных импульсов, развилась импотенция. Связь между антигипертензивными средствами и нарушением половой функции понятна: вещества, ослабляющие гипертензию (повышенное артериальное давление) с большой вероятностью должны влиять на половую функцию, которая зависит от прилива крови к соответствующим органам.

Лекарства могут вредить также путем искажения эмоциональных реакций. Например, дофамин, являющийся важным нейромедиатором, считается непосредственным участником нервных реакций при половом поведении. А многие лекарственные вещества блокируют рецепторы дофамина в центральной нервной системе. Блокада дофаминовых нервных путей, как полагают, влияет на половую функцию не только прямо, но и косвенно: она вызывает увеличение уровня пролактина (этот гормон стимулирует образование молока у женщин; у мужчин его роль неизвестна). По данным Р. Спарка из больницы Бет-Израэль в Бостоне, в норме дофамин сдерживает уровень пролактина, но, когда дофаминовые пути нервной системы перекрыты, уровень пролактина возрастает и подавляется каскад гуморальных влияний, связующий гипоталамус с гипофизом и гипофиз с половыми железами. В результате в гипоталамусе не происходит пульсирующей секреции так называемого гонадотропин-рилизинг-фактора, который должен вызывать секрецию гормонов гипофиза, необходимых для поддержания определенного уровня мужского полового гормона тестостерона в яичках. Аналогичный каскад гормонов имеет место у женщин с той лишь разницей, что конечная мишень — яичники, и характер пульсации иной.

Что можно сделать в отношении половых дисфункций, вызываемых лекарственными препаратами? Благодаря новейшим достижениям в неврологии передачу нервных импульсов можно исследовать на молекулярном уровне, что позволяет более точно и специфично нацеливать лекарственные препараты на нужные мишени. Врачам же, прежде чем назначать лекарственные средства, могущие нарушить половую функцию, следует составить представление о половой жизни пациента, с тем чтобы вовремя заметить влияние препарата.

Наука и общество

Лекарства — причины холодности

МНОГИЕ широко используемые лекарственные препараты нарушают половую функцию и у мужчин, и у женщин. В информационном бюллетене «The Medical Letter on Drugs and Therapeutics», издаваемом в Нью-Рошели (шт. Нью-Йорк), недавно опубликован список лекарств, которые по литературным данным имеют такие побочные эффекты, как утрата полового влечения, импотенция и аномальная эякуляция у мужчин, предотвращение оргазма у женщин. Этот список включает 31 наименование; наиболее часто в этой связи сообщалось о препаратах для понижения давления, успокоительных и антацидных (т. е. нейтрализующих кислоту) средствах.

Сколько широко распространены вызываемые лекарствами нарушения половой функции? Согласно Дж. Эйворну из Медицинской школы Гарвардского университета, это остается неизвестным. Широкомасштабных исследований проводилось мало — отчасти, как полагает Эйворн, потому, что изучение побочных эффектов

лекарственных препаратов осуществляется в основном на средства фармацевтических компаний, которые вовсе не стремятся обнаруживать негативные стороны действия своей продукции. Кроме того, затрагивается весьма деликатная сфера человеческой жизни, что ограничивает сбор сведений и поиски выхода из положения, например путем замены одного лекарства другим. Врачи бывают не сведущи в том, как следует расспрашивать пациентов о половой жизни, особенно пожилых людей, которых иной раз вообще не берут в расчет с этой точки зрения. Сами же пациенты часто стесняются заговаривать о своих проблемах такого рода или же не думают, что лекарства имеют к ним какое-то отношение.

Действие препаратов, перечисленных в упомянутом списке, проявляется в различных местах центральной и периферической нервной системы. Каким образом они влияют на половую функцию, остается пока непонятным, что неудивительно, хотя бы из-за неполноты представлений о природе самой половой функции. Тем не менее некоторый прогресс здесь есть. Согласно Дж. Уокеру из Меди-

Двойной бета-распад

ПОСЛЕ 13 лет проб и ошибок специалистов по ядерной физике из Калифорнийского университета в Ирвине удалось наконец обнаружить радиоактивный распад изотопа селена. Это не такой уж большой срок, если учесть, что период полураспада данного изотопа составляет $1,1 \cdot 10^{20}$ лет (примерно в 10 млрд. раз больше возраста Вселенной). Ожидание не было напрасным. Группе физиков, в которую входили М. Моз, А. Хан и С. Эллиот, удалось измерить самый большой из когда-либо зарегистрированных в лаборатории период полураспада атома. Кроме того, они впервые непосредственно наблюдали чрезвычайно редкий вид радиоактивного распада, существование которого было предсказано теоретически полвека назад, а именно двойной бета-распад.

Явление обычного бета-распада состоит в том, что нейтрон в ядре атома спонтанно превращается в протон, электрон (бета-частицу) и нейтрино. При этом протон остается в ядре, а электрон и нейтрино вылетают из него. Поскольку положительный заряд ядра увеличивается на единицу, возникает ядро элемента, атомный номер которого в периодической таблице на единицу больше атомного номера исходного элемента. Например, углерод-14 (цифра обозначает суммарное число протонов и нейтронов в ядре данного изотопа) превращается в азот-14, а тритий (водород-3) — в гелий-3.

Испуская электрон и нейтрино, претерпевающий бета-распад атом теряет часть энергии связи. Поэтому те элементы, за которыми в периодической таблице следуют атомы с большей энергией связи, не могут испытывать бета-распад. В 1935 г. теоретики выдвинули гипотезу, согласно которой существует процесс бета-распада, позволяющий обойти этот запрет: в ядре атома, не способного распадаться обычным способом, могут одновременно происходить два бета-распада, в результате чего оно «сдвигается» на две позиции в периодической таблице и образуется ядро с энергией связи, меньшей первоначальной. Однако многочисленные попытки обнаружить это явление потерпели неудачу, в основном потому, что детекторы не могли отличить частицы, испускаемые при бета-распаде, от паразитных частиц.

Моз начал свои исследования в 1974 г.; он выбрал для экспериментов изотоп селен-82, в ядре которого 34 протона. За селеном в периодической таблице следует бром (в его ядре 35

протонов); поскольку энергия связи ядра брома больше энергии связи ядра селена-82, последний может распадаться только на криптон-82, ядро которого содержит 36 протонов и имеет энергию связи, меньшую, чем у селена. Исследователи из Института ядерной физики им. Макса Планка в Гейдельберге (ФРГ) уже получили предварительную оценку периода полураспада селена-82 путем анализа следов криптона-82 в образцах селеновой руды, возраст которых составлял миллиард лет. «У нас был ориентир для точного определения периода полураспада», — поясняет Моз. Кроме того, предполагалось, что ядро селена-82 имеет большую энергию перехода, благодаря чему образующийся при распаде электрон будет обладать достаточно большой энергией и его можно будет сравнительно легко обнаружить на фоне постороннего излучения.

Эксперименты в Институте им. Макса Планка показали, что вероятность распада атома селена-82 за разумное время опыта бесконечно мала. Поэтому нужно было собрать большое количество атомов редкого изотопа. Моз раздобыл 14 грамм (примерно 10^{23} атомов) в Ок-Риджской национальной лаборатории; селен-82 получают там в процессе изготовления материалов для ядерного оружия. Полученный образец был самым большим из когда-либо изготавливавшихся в США.

Сначала Моз поместил образец в обычный детектор, используемый в экспериментах по физике элементарных частиц. Однако он регистрировал большое число ложных событий, и после шести лет неудачных экспериментов Моз отказался от него и вместе с Ханом и Эллиотом построил новый детектор — так называемую время-проекционную камеру. Эта камера заполнена гелием; когда электрон пролетает сквозь газ, он ионизирует атомы газа и оставляет за собой трек из ионов. В свою очередь ионы возбуждают электрические импульсы в проводах, расположенных рядами на стенках камеры. Анализируя эти сигналы, можно определить место, откуда вылетел электрон, его траекторию и энергию. Излучение нейтрино (при каждом распаде излучаются два нейтрино) можно обнаружить по поведению электронов.

Несколько лет ушло на то, чтобы свести к минимуму фоновые помехи, и в начале 1986 г. исследователи стали регулярно регистрировать двойной бета-распад. Каждые три-четыре дня регистрировалось одно событие; зная полное число атомов селена-82 в образце и частоту событий, нетрудно было определить период полураспада.

Он оказался равным $1,1 \cdot 10^{20}$ лет; эта величина согласуется с оценкой, полученной в Институте им. Макса Планка.

По мнению Хана, точность и достоверность, с которой был обнаружен двойной бета-распад, делает его «пробным камнем», по которому могут быть проверены различные теоретические модели. В частности, отмечает он, полученные данные могут помочь ученым (в том числе и группе из Ирвина) в поисках экзотического варианта двойного бета-распада, в котором не происходит испускания нейтрино. Так называемый безнейтринный двойной бета-распад может осуществляться двумя путями: либо нейтрино, излучаемые при распаде нейтронов, аннигилируют друг с другом, и высвобождаемая при этом энергия передается электронам, либо нейтрино превращаются в гипотетическую частицу — майорон.

По словам Хана, обнаружение любого из вариантов безнейтринного бета-распада будет означать наличие у нейтрино ненулевой массы покоя, а такое открытие может иметь поистине драматические последствия для всей физики. Например, в так называемой теории Великого объединения, основанной на представлении о единой природе гравитации, электрослабого и сильного взаимодействий, предсказывается существование массы покоя у нейтрино. Вопрос о массе покоя нейтрино играет также ключевую роль в дискуссии о том, достаточно ли во Вселенной темного (невидимого) вещества, чтобы его гравитационное притяжение могло остановить ее расширение.

В настоящее время в мире проводится несколько экспериментов по обнаружению безнейтринного двойного бета-распада. Ф. Авиньон-III из Университета шт. Южной Каролины и Р. Бродзински из Северо-западной Тихоокеанской лаборатории в Ричлэнде (шт. Вашингтон) осуществляют эксперимент с кристаллом германия-76 (который должен распадаться на селен-76) в шахте золотоносного рудника (шт. Южная Дакота). В начале 1987 г. они сообщили об экспериментальном обнаружении майорана при наблюдении двойного бета-распада. Однако другие исследователи опровергли это сообщение, и Авиньон признает, что «нужны более надежные данные». Он отмечает, что результаты группы из Ирвина помогут ему и другим ученым, во-первых, тем, что дают дополнительную информацию о ядре селена и, во-вторых, тем, что им впервые удалось достоверно наблюдать процесс по крайней мере обычного варианта двойного бета-распада.

Занимательный компьютер

Множество Мандельброта и родственные ему множества Жюлиа



А. К. ДЬЮДНИ

СМОМЕНТА публикации первой статьи о множестве Мандельброта в октябрьском номере нашего журнала за 1985 г. оно приобрело самую большую популярность у любителей математических трюков. Их привлекает как внешняя красота множества, так и его глубокая сущность. На самом деле красота множества Мандельброта — это лишь вуаль, за которой скрывается его значимость: в замысловатом узоре из тонких линий и завитков вблизи границы множества закодированы различные формы хаоса и упорядоченности (см. верхний рисунок на с. 90).

В упомянутой статье наш рассказ о множестве Мандельброта был далеко не полным. Множество имеет некоторую важную связь со свойствами устойчивости и хаоса в динамических системах. Эта связь проходит через родственные множества, называемые множествами Жюлиа по имени французского математика Гастона Жюлиа. Каждой точке, принадлежащей множеству Мандельброта (и не принадлежащей ему), соответствует одно множество Жюлиа. Множества Жюлиа с их фрактальной природой тоже по-своему красивы (см. нижний рисунок на с. 90). Но прежде чем рассказывать о них, мы вернемся еще раз к множеству, носящему имя Бенуа Мандельброта, ученого, работающего в Исследовательском центре Томаса Уотсона фирмы IBM в Йорктаун-Хайтсе (шт. Нью-Йорк).

Множество Мандельброта — обитатель комплексной плоскости, т. е. обычной плоскости, каждая точка которой характеризуется двумя координатными значениями. Точнее говоря, каждая точка комплексной плоскости представляется числом вида $a + bi$. Числа a и b можно считать координатами точки: a — вещественная часть комплексного числа $a + bi$, b — его мнимая часть. Число i отчасти служит для того, чтобы различать эти две координаты между собой. Комплексные числа можно складывать, суммируя их соответственные координаты по отдельности; результат

представляет собой другое комплексное число. Их можно также умножать друг на друга, следуя при этом правилам умножения многочленов:

$$\begin{array}{r} 3 + 7i \\ \times 2 - 4i \\ \hline 6 + 14i \\ - 12i - 28i^2 \\ \hline 6 + 2i - 28i^2 \end{array}$$

Чтобы представить результат в виде комплексного числа, член $28i^2$ нужно привести к стандартной форме, воспользовавшись самым важным свойством мнимых величин, а именно тем, что $i^2 = -1$. Таким образом, выражение $6 + 2i - 28i^2$ приводится к виду $34 + 2i$. Теперь мы можем представить основную формулу, которая открывает нам множество Мандельброта, порождает также множества Жюлиа и в некотором смысле превращает порядок в хаос:

$$z - z^2 + c.$$

Здесь z и c — это комплексные числа, каждое из них имеет мнимую и вещественную части. Число z возводится в квадрат и c прибавляется к результату согласно правилам умножения и сложения комплексных чисел. Формула как бы оживает, если начать последовательно вычислять значения сумм, подставляя в формулу каждый раз значение z , полученное на предыдущем шаге. Получающаяся в результате этого итерационного процесса последовательность комплексных чисел образует причудливый узор на комплексной плоскости. На каждом шаге новое комплексное число z лежит на некотором расстоянии от предшествующего. Это расстояние очень важно для вычисления множества Мандельброта.

Интересно представить полученную последовательность комплексных чисел (точек на комплексной плоскости) как блуждания исходной точки. Стремится ли она к бесконечности, все дальше удаляясь от начала

координат комплексной плоскости? Некоторые комплексные числа действительно стремятся в бесконечность, другие навсегда ограничены в своем движении определенной областью, имеющей сложную форму. Их тюрьма, или область, где они содержатся, имеет фрактальные стены.

Как уже говорилось, итерационный процесс длится до бесконечности. Однако, каким образом выбираются константа c и исходное значение z ? Можно, например, сделать число z равным нулю и выбирать различные значения c . Вырвется ли узник в данном случае на свободу? Будем повторять эксперимент снова и снова, систематически варьируя значение c в определенной области комплексной плоскости. Если узнику удастся бежать, окрашиваем точку c в белый цвет, в противном случае делаем ее черной. Стены области, из которой не удается бежать, принимают форму множества Мандельброта. Если вместо того, чтобы окрашивать всех беглецов в белый цвет, придавать им окраску в зависимости от скорости побега, то изображение становится еще красивее.

Согласно только что описанному правилу, исходное значение числа z равно 0, или точнее, $0 + 0i$. А что изменится, если процесс начать с какого-нибудь другого значения, скажем, $z = 3,5 + 6i$? Примет ли результирующее множество другую форму? Действительно, в результате мы всегда получаем деформированную версию множества Мандельброта. Обычно предпочтение отдается его канонической форме.

Если следовать противоположному правилу, когда значение c фиксировано, а z играет роль исходной точки, получающееся в результате итерационного процесса множество уже отличается по виду от множества Мандельброта. Оно, или вернее его граница, называется множеством Жюлиа. Множество Жюлиа не единственно, на самом деле имеется целое множество таких множеств: для каждого фиксированного значения c в формуле итераций мы получаем свое, отличное от других, множество Жюлиа, заполненное «узниками».

Я был вдохновлен на то, чтобы вернуться еще раз к множеству Мандельброта, прочтя книгу сотрудников Бременского университета Х.-О. Пайтгена и П. Рихтера «Красоты фракталов» (см. библиографию к статье на с. 104). Эта крупноформатная книга, содержащая потрясающие черно-белые и цветные иллюстрации, с одинаковым успехом может служить и математическим учебным пособием, и украшением журнального столика.

Вся теория, касающаяся множества Мандельброта и связанных с ним множеств Жюлиа, а также других аналогичных сложных систем, изложена в книге в виде математических теорем с доходчивым их описанием.

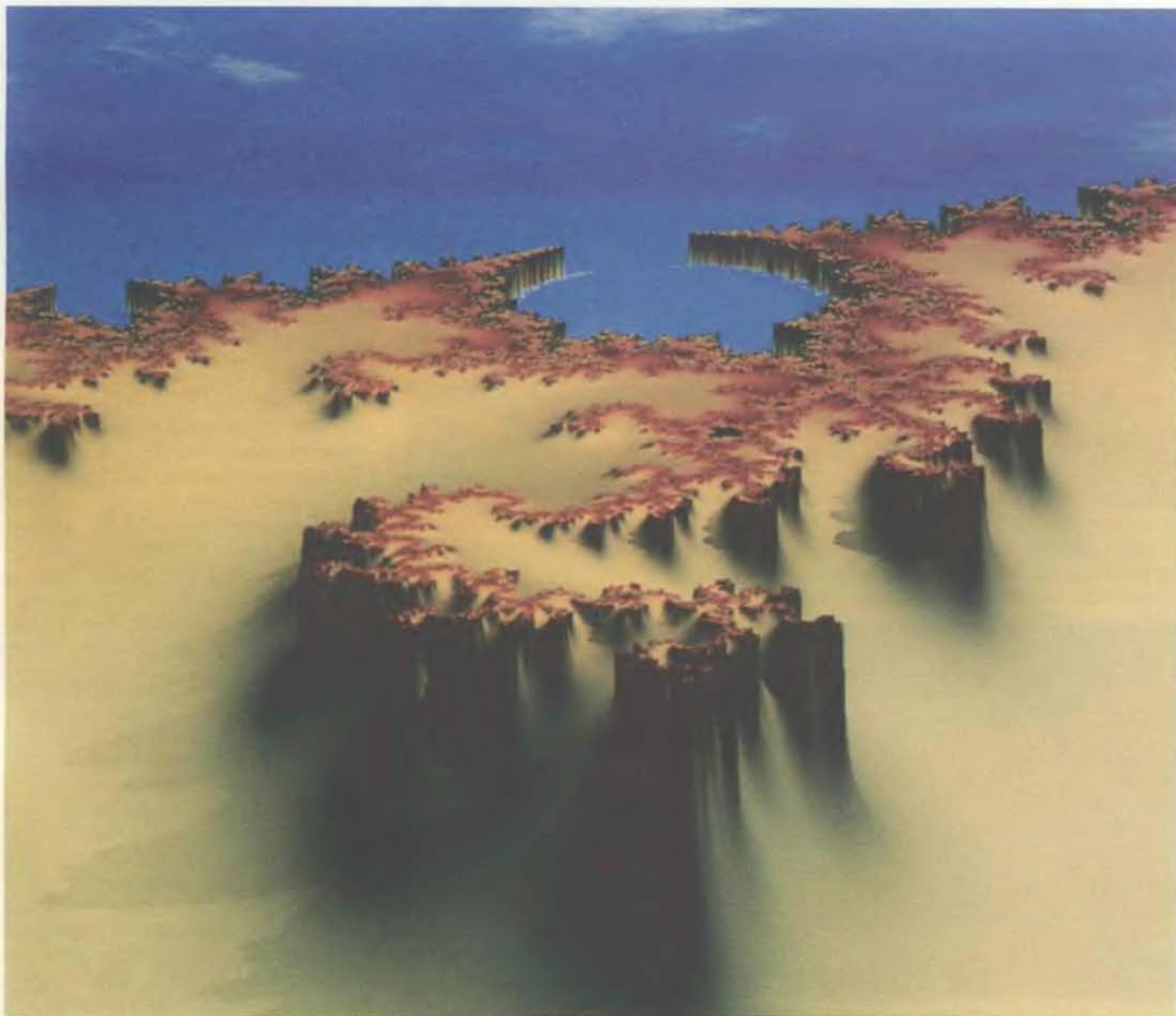
Рассмотрим смысл одной из теорем. Читатель, написавший программу для построения изображений множеств Жюлиа, возможно заметит, что для некоторых значений c множества получаются связными и графически выглядят как единое целое, в то время как для других значений c они оказываются несвязными. Что же обуславливает это различие? Ответ и прост и изящен: если выбранная точка c принадлежит множеству Мандельброта, то соответствующее множество Жюлиа будет связным. Если же c не принадлежит множеству Мандельброта, то множество Жюлиа будет несвязным.

Можно сделать нечто вроде мульт-

типикационного фильма, иллюстрирующего смысл данной теоремы. Проведем прямую L от произвольной точки, принадлежащей множеству Мандельброта, к другой точке, не принадлежащей ему, и представим себе, что точка c медленно, но неуклонно продвигается вдоль линии L из внутренней области множества Мандельброта по направлению к его границе. Соответствующее множество Жюлиа будет становиться все более сжатым, постоянно уменьшаясь в размере, а когда точка c достигнет границы множества Мандельброта, множество Жюлиа сожмется до хрупкого дендритного скелета, практически не занимающего никакой площади. Когда c выйдет за границу множества Мандельброта, сопутствующее ему множество Жюлиа как бы взрывается, превращаясь во фрактальную пыль.

Читатели, которые пожелают и

смогут написать программу, могут исследовать свойства множества Мандельброта и сопутствующих ему множеств Жюлиа, реализовав некоторые основные алгоритмы на том языке, которым они обычно пользуются. Во всех подобных алгоритмах присутствует итерационный процесс, зависящий существенным образом от следующей теоремы: если абсолютная величина итерируемой переменной z достигает 2, то ей суждено убежать в бесконечность, откуда она уже никогда не вернется. В основном именно этот критерий отличает беглецов от узников. Алгоритм содержит 100 шагов итераций, позволяющих переменной z достичь значения 2. Этот критерий, конечно, не срабатывает во всех 100% случаев, поскольку некоторое относительно небольшое количество беглецов не успевает достичь абсолютной величины 2 за 100 итераций. Можно было бы сделать



Множество Мандельброта в виде озера; горы представляют динамику окружающих точек

число итераций равным, скажем, 1000, чтобы получить более точную картинку, но для этого потребовалось бы много машинного времени, даже на мощных компьютерах.

Абсолютная величина комплексного числа $a + bi$ равна просто квадратному корню из $a^2 + b^2$, другими словами, она представляет собой расстояние от начала координат, или нулевой точки. Основной алгоритм итераций имеет следующий вид:

```
n ← 0
while n < 100 and abs(z) < 2
  z ← z2 + c
  n ← n + 1
раскрасить данную точку
```

Здесь n — индекс цикла с исходным значением 0. На каждом шаге цикла while, управляющего итерационным процессом, значение переменной n увеличивается на 1. Цикл while продолжается, «проворачивая мясорубку» итерационной формулы до тех пор, пока n не достигнет 100 или абсолютная величина z не достигнет 2. При выполнении любого из этих условий алгоритм выходит из цикла. Читателю предоставляется самому

выбрать способ раскраски точек изображения. Этот способ, конечно, должен каким-то несложным образом зависеть от величины n , т. е. от той скорости, с которой точке удалось достичь расстояния 2, а также от того факта, удалось ли ей достичь этого расстояния. Читателям следует также не упускать из виду, что точка изображения на экране будет иметь, вообще говоря, другие координаты, отличающиеся от координат точки на комплексной плоскости.

Программа, написанная читателями, должна содержать отдельную процедуру вычисления абсолютной величины z , которая в приведенном выше алгоритме была представлена как $\text{abs}(z)$. На самом деле, поскольку в большинстве языков программирования отсутствуют средства для работы с комплексными числами, переменную z нужно хранить в виде двух частей, скажем x (вещественная часть) и y (мнимая часть), то же касается и числа c , части которого можно обозначить соответственно как a и b . Следующий алгоритм будет уже несколько ближе к работающей программе:

```
n ← 0
while n < 100 and x2 + y2 < 4
  xx ← x2 + y2 + a
  y ← 2xy + b
  x ← xx
  n ← n + 1
раскрасить данную точку
```

Наблюдательный читатель, наверное, заметит маленький трюк, введенный в эту версию итерационного процесса: вместо того чтобы сравнивать квадратный корень из выражения $x^2 + y^2$ с 2, мы сравниваем само это выражение с 4. Результат тот же, но с помощью этого приема можно избежать многократного обращения к функции извлечения квадратного корня, выполнение которой требует относительно большого времени. Переменная xx временно содержит только что вычисленное значение x , пока вычисляется новое значение y . Таким образом, старое значение x сохраняется для дальнейших вычислений, пока его не заменит значение xx .

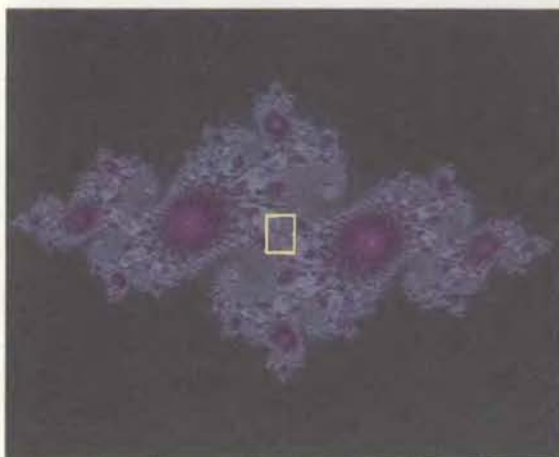
Программа, которую я назвал MANDELZOOM, плод моих первых попыток в данной области, предпринятых еще два года назад, будет представлена теперь в несколько более детальном виде. Она содержит основной итерационный алгоритм внутри цикла, в котором систематически варьируется комплексное число c и, как следствие, его части a и b . Если экран, на котором строится изображение, имеет размер 100×100 пикселей (точечных элементов изображения, образующих квадратную решетку), то программа будет основана на следующем двойном цикле:

```
gap ← side/100
a ← acorner
for j ← 1 to 100
  a ← a + gap
  b ← bcorner
  for k ← 1 to 100
    b ← b + gap
    x ← 0
    y ← 0
    [алгоритм итераций]
```

Однако, прежде чем программа MANDELZOOM доходит до этих операторов, она позволяет пользователю задать комплексное число, предполагающееся в одном из углов квадрата, на котором строится изображение. Этот угол будет иметь координаты $acorner$, $bcorner$, наименьшие значения a и b , принимаемые комплексными числами в пределах данного квадрата. Квадрат, выбираемый пользователем программы, является как бы окном, через которое мы можем наблюдать изображение. Его можно сделать очень маленьким и тогда мы будем наблюдать в увели-



Множество Мандельброта (слева), часть которого (в квадрате) увеличена (справа)



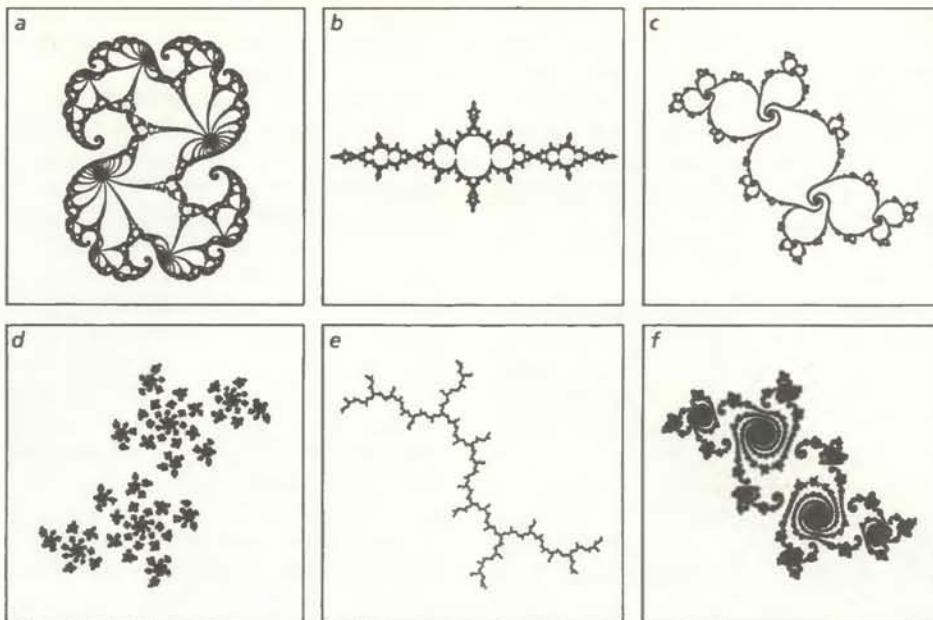
Множество Жюлиа (слева), соответствующее центральной части верхнего правого рисунка; увеличенная часть (справа)

ченном виде ту часть множества, над которой располагается окно. Программа требует также указать значение переменной *side*, т. е. размер стороны квадрата на комплексной плоскости. Затем алгоритм вычисляет расстояние между последовательными комплексными числами *s*, задавая тем самым соответствующие приращения переменным *a* и *b* (это расстояние обозначено как *gap*).

Значения индексов *j* и *k* не участвуют ни в каких вычислениях внутри двойного цикла, поэтому эти индексы можно заменить какими-нибудь величинами, представляющими интерес. Например, вместо того чтобы пробегать значения от 1 до 100, индексы *j* и *k* могли бы пробегать через 100 последовательных точек на координатных осях экрана. После того как основная итерационная процедура присвоила определенное цветовое значение итерированной точке *z*, точка с координатами (*j*, *k*) окрашивается в соответствующий цвет.

Рассмотрение программы MANDELZOOM будет неполным, если не упомянуть о модификации, предложенной Пайтгеном. Вместо того чтобы сравнивать абсолютную величину итерированной переменной *z* с 2, можно в качестве порогового значения принять 100 или даже 1000. В конце концов, после того как абсолютная величина комплексной переменной достигла 2, она растет очень быстро и достигает значений порядка 100 или 1000 за несколько шагов итерационного процесса. И все же при различных исходных значениях итерированные точки проходят пороговые величины с различными скоростями. Скорости тоже можно окрашивать, причем с плавными переходами между различными цветами. Красный цвет может, например, постепенно переходить в оранжевый, конечно, при условии, что цветовая палитра компьютера достаточно богата. Во всяком случае, цветные изображения, приведенные в данной статье, были получены именно этим способом. Пайтген считает, что распределение скоростей напоминает электрическое поле, как бы создаваемое вокруг множества Мандельброта. Градиенты напряженности «поля» представлены в воображаемом ландшафте Мандельброта (см. рисунок на с. 89) в виде склонов горного хребта, окружающего то, что можно было бы назвать озером Мандельброта.

Хотя я не считаю, что слово ZOOM стало для меня навязчивым, я все же должен последовать примеру программы MANDELZOOM и назвать программу, генерирующую изображения множеств Жюлиа, JULIAZOOM.



Шесть множеств Жюлиа; некоторые из них связные (a, b, c и e), а другие нет (d и f)

(Одно из значений слова ZOOM — это «рассматривать под большим увеличением».) Здесь мы также можем вплотную приблизиться к множеству и исследовать его как бы под очень сильной лупой. В программе JULIAZOOM применяется тот же основной алгоритм итераций, что и в программе MANDELZOOM, однако здесь у него уже несколько иная, так сказать, оправа.

Сначала программа запрашивает у пользователя значения величины *xcorner*, *ycorner* и *side* («угол *x*», «угол *y*» и «сторона» соответственно). Она также запрашивает значение *s* в виде его составляющих *a* и *b*. Затем выполняется двойной цикл, кое в чем существенно отличающийся от цикла программы MANDELZOOM:

```
gap ← side/100
x ← xcorner
for j = 1 to 100
  x ← x + gap
  y ← ycorner
  for k = 1 to 100
    y ← y + gap
  [алгоритм итераций]
```

Основной алгоритм итераций окрашивает точки экрана в зависимости от скорости, с которой итерационный процесс достигает (или вообще не достигает) порогового значения 2. Некоторые из наиболее эффектных графических результатов были получены при использовании самых простых правил окрашивания точек. На цветных мониторах даже трех цветов, присваиваемых по следующему правилу, оказывается достаточно, чтобы получить прекрасные изображения:

окрасить в первый цвет точки со значениями *n* от 0 до 10, вторым цветом — точки со значениями *n* от 11 до 20, третьим цветом — точки со значениями *n* от 21 до 30, затем для следующих десяти значений *n* вернуться к первому цвету и т. д. На нецветных мониторах можно воспользоваться черно-белыми (или зелено-желтыми) контрастами, чередуя оба цвета для каждых десяти последовательных значений *n*.

Вооружившись работающей версией программы MANDELZOOM или JULIAZOOM (а может быть, обеими программами), читатели смогут заняться своими собственными исследованиями этих красивых и интересных фрактальных множеств. Можно побродить по комплексной плоскости в окрестностях множеств или же рассмотреть какие-то области под сильным увеличением, воспользовавшись компьютерным микроскопом, который был описан выше. Вплоть до предельной разрешающей способности, зависящей от точности арифметических операций у того или иного компьютера, эти множества предстают перед наблюдателем в виде удивительных узоров. Будущим исследователям микрокосма фрактальных объектов можно порекомендовать следующие интересные области, с координатными значениями, изменяющимися в пределах:

Множества Жюлиа:

x и *y* от $-1,8$ до $+1,8$

Множество Мандельброта:

x от $-2,25$ до $+0,75$ и

y от $-1,8$ до $+1,5$

В сентябрьском номере журнала

мы затронули тему хаоса в динамических системах, таких как механические маятники и электронные схемы. Свойства этих систем характеризуются простой итерационной формулой, в качестве переменных здесь выступают не комплексные, а обычные вещественные числа:

$$x \rightarrow rx(1 - x).$$

Эта формула, очевидно, квадратична: если раскрыть скобки в правой части, то появится член, содержащий x в квадрате. В зависимости от выбранного значения параметра r , формула ведет себя либо просто, либо странно, если ее начать итерировать. При каждом значении r итерируемая переменная x образует орбиту, т. е. набор значений, которые x систематически посещает. В районе критического значения параметра 3,5699 переменная начинает быстро и более или менее непредсказуемо осциллировать между некоторыми значениями. Такое поведение формулы соответствует ситуации, когда описываемая ею физическая система, будь то двойной маятник или электронная схема, никак не может найти положение стабильно-

сти. Ее состояние постоянно меняется непредсказуемым образом, другими словами, наступает хаос.

Аналогичное явление наблюдается и в поведении комплексной итерационной формулы, рассматриваемой в данной статье, $z \rightarrow z^2 + c$. Однако в этом случае для каждого значения параметра c возникает уже не одна орбита — аттрактор. Их количество зависит от того, каким было выбрано исходное значение переменной z . Если абсолютная величина исходного значения z относительно мала, то переменная будет стремиться к определенной точке. Если же абсолютная величина исходного значения z будет достаточно большой, то в дальнейшем она будет неограниченно возрастать, и аттрактором будет уже бесконечность. И определенная точка, к которой стремится z , и бесконечность представляют собой две отдельные одноточечные орбиты — аттракторы для точек на комплексной плоскости. Граница между «зонами их притяжения» — это множество Жюлиа, невзрачно тонкое и сморщенное. Оно тоже является орбитой, но не является аттрактором в строгом смысле сло-

ва. Точки, уже содержащиеся в этой пограничной области, совершают в ней беспорядочные скачки. Непосредственно вычислить множество Жюлиа непросто, потому что точность выполнения арифметических операций компьютером может не позволить точно указать точки, которые с самого начала должны находиться на границе, а когда начинается итерационный процесс, точность еще более снижается и итерируемые переменные уходят из поля зрения.

Как уже говорилось, каждому возможному значению параметра c соответствует свое, отличное от других множество Жюлиа. Множество Мандельброта в некотором смысле охватывает все возможные множества Жюлиа. Оно описывает судьбу переменной, выходящей из начала координат комплексной плоскости, для всех возможных значений параметра c . Для некоторых множеств Жюлиа область хаоса представляет собой лишь тонкую древовидную структуру или даже некую симметричную россыпь точек, область, как бы посыпанную перцем. Читатели, наверное, помнят, что такие множества Жюлиа соответствуют значениям c , находящимся на границе множества Мандельброта или за его пределами.

Недавно мы встретились с Пайтгеном на конференции в Асиломаре (шт. Калифорния). Когда мы прогуливались вдоль пляжа, разговаривая о том, о сем, он охарактеризовал множество Мандельброта как своего рода огромную книгу, в которой каждое множество Жюлиа — не более чем страничка. По тому положению, которое занимает точка c в множестве Мандельброта, можно предсказать поведение итерируемой переменной, характеризуя общую форму и размер сопутствующего множества Жюлиа. Здесь дело не только в том, будет ли оно связным или несвязным. Если, к примеру, выбрать c из перешейка между основной частью множества Мандельброта и одной из его «точек», то соответствующее множество Жюлиа окажется сжатой в структуру, также состоящую из перешейков и точек. Аналогия, согласно которой множество Мандельброта является как бы словарем для множеств Жюлиа, предполагает фундаментальное различие между этими множествами. Структура множества Жюлиа подобна самой себе (в различном масштабе), в то время как для множества Мандельброта (даже для его границы) это не так. В противном случае, как говорит Пайтген, множество Мандельброта не обладало бы способностью кодировать в себе несчетные количества родственных множеств Жюлиа.



Трехмерное поперечное сечение четырехмерного множества Мандельброта

В упомянутой книге «Красоты фракталов» есть еще много интересного. Я весьма признателен Пайтгену за те изображения, которые он предоставил для иллюстрации в настоящей статье. Не все они получены описанными здесь способами, однако рецепты изготовления всех изображений даны в книге.

В качестве заключительного замечания об исследованиях, ведущихся в настоящее время специалистами в области динамических систем, я упомяну еще об одном объекте, таящемся в пространстве высшей размерности, чудовище, порождаемом кубическими итерациями, формула которых, в отличие от формулы Мандельброта, содержит z^3 вместо z^2 . Этот объект четырехмерный, его завивающиеся шупальца тянутся от главного «тела» и образуют причудливую картину, которую мы не способны увидеть. Однако ее трехмерные поперечные сечения могут быть вычислены и представлены подобно тому, как это сделано на рисунке на с. 92.

ПОТОК писем со всех концов света по поводу статьи в августовском номере журнала, посвященной алгоритмическим головоломкам, не иссякает. Мы продолжаем разговор на эту тему, как и было обещано в предыдущей статье, в которой мы вернулись к алгоритмическим головоломкам. Прежде чем отправиться в пустыню и дать ответы к двум последним задачам, сформулированным в первой статье об алгоритмических головоломках, я должен исправить ошибку, допущенную мною в рассуждениях о задачах с поездами. М. Блам, специалист по вычислительной математике из Калифорнийского университета в Беркли, заметил, что объем работы, требующейся, чтобы пропустить один поезд мимо другого по приведенному в статье алгоритму, на самом деле пропорционален n^3 , а не n^2 , как утверждалось в статье (напомним, что n — число вагонов поезда). Грубо говоря, каждый из n вагонов поезда перемещается на n единиц длины n раз. Бламу удалось придумать такой алгоритм, который решает ту же задачу при затратах работы, пропорциональных $n^2 \times \log n$. К сожалению, недостаток места не позволяет мне привести здесь алгоритм Блама.

По условиям первой задачи о «разведчике пустыни» автомашина могла везти в своем кузове цистерну бензина емкостью 50 галлонов и имела бензобак, вмещавший 10 галлонов. В прошлой статье было показано, что, имея на базе две цистерны горючего, автомашина может удалиться от базы на максимальное расстояние, рав-

ное 733,3 мили, прежде чем запас горючего будет полностью исчерпан.

Алгоритмы, представленные Ч. Новогорски из Нэллза (шт. Флорида) и Н. Рокком из Уинтерсвиля (шт. Огайо), свидетельствуют о том, что, имея три цистерны горючего, автомашина может удалиться от базы на расстояние 860 миль. Результаты большинства других читателей, попробовавших свои силы в этой задаче, были меньше этой величины. На самом деле даже общие формулы, представленные большинством читателей, дали более низкий результат, когда вместо n , количества цистерн в общем случае, было подставлено число 3. Я не могу поэтому поручиться за правильность формул, подобных той, которую прислал Л. Лейнвебер из Кливленда (шт. Огайо). Однако она является типичным представителем тех формул из числа представленных читателями, которые дают наилучшие результаты:

$$5 \sum_{i=1}^n \frac{100}{2i-1} - \frac{100}{2n-1} + 100$$

Здесь греческая буква сигма (Σ) означает суммирование последовательности величин $100/(2i-1)$, получающихся при различных i , принимающих значения от 1 до n . Формула означает, таким образом, что нужно сложить все n величин и полученную сумму помножить на 5.

Во второй задаче о разведчике пустыни автомашину можно было заправлять на n складах с горючим, расположенных в произвольных пунктах кругового маршрута, объезжаемого автомашиной. Количество горючего на каждом складе также произвольно, но горючего на всех складах должно быть ровно столько, сколько необходимо, чтобы машина могла полностью объехать свой маршрут (конечно, при условии, что она не начнет поездку от неподходящего склада). Ее собственный бензобак может вместить любое количество горючего, а в исходном состоянии он пуст. Нужно определить, откуда машина должна начать поездку.

Ряд читателей, включая А. Лавриджа из Лонг-Бича (шт. Калифорния), придумали очень интересный прием, при помощи которого можно решить эту задачу. Представим себе, что автомашина совершает «пробную» поездку, стартуя у произвольно выбранного склада и двигаясь в произвольном направлении. Попутно будем рисовать график количества бензина в

баке, как функцию пройденного расстояния, и не будем останавливаться, даже если горючее полностью исчерпалось. В этом случае график просто перейдет в отрицательную область. После каждой заправки на складе горючего кривая резко поднимается вверх и затем начинает постепенно снижаться. В конце концов машина вернется к исходной точке. Теперь водитель должен проанализировать график и выбрать тот склад, при приближении к которому машина имела минимальное количество бензина (перед заправкой). От этого склада и следует начинать поездку.

Свойства хаоса были исследованы многочисленными читателями, пожелавшими и сумевшими запрограммировать итерационную формулу, приведенную в статье нашей рубрики в октябрьском номере журнала. На самом деле несколько энтузиастов, среди них Х. Марк из Сафферна (шт. Нью-Йорк), последовали моему предложению и проследили за самим итерационным процессом, наблюдая за паутиной, сплетающейся вокруг параболы. Сходимость процесса можно наблюдать по мере того, как эта паутина принимает стабильную форму. В отличие от этого в хаотическом режиме она заполняет целую область экрана запутанной структурой белых квадратов, не устанавливающих ни в какую стабильную картину. Ч. Плантац из Уэст-Браунсвиля (шт. Пенсильвания) воспользовался своим персональным компьютером как микроскопом, нацелив его на дугу бифуркационной диаграммы, имеющую форму стремени, как раз над одной из хаотических областей. Но он обнаружил там не «соль и перец», как я, возможно, предсказал бы ему, а скорее слои и складчатые структуры, вторгающиеся в зоны хаоса.

Жизнь и деятельность физика; геохимическая ересь; кино из каменного века



ФИЛИП MORRISON

Джон С. Ригден. РАБИ: УЧЕНЫЙ И ГРАЖДАНИН

Rabi: Scientist and Citizen, by John S. Rigden. Basic Books, Inc., Publishers (\$21.95)

«ЖИЗНЬ в Америке совсем не так трудна. Здесь каждый молодой ученый может получить должность доцента». Это не лишнее сарказма высказывание принадлежит теоретику Арнольду Зоммерфельду, главе знаменитой на весь мир мюнхенской школы (в период между двумя мировыми войнами она дала рекордное для Германии число физиков — докторов наук). А услышали мы слова Зоммерфельда от одного из этих физиков, Исидора Айзека Раби, который в 1929 г. в возрасте 31 года, проучившись в Мюнхене, Гамбурге и Лейпциге, вернулся в США, чтобы читать лекции по квантовой механике в Колумбийском университете. Приглашение последовало после посещения университета блестящим молодым ученым Вернером Гейзенбергом, который необычайно высоко отозвался о Раби, в то время работавшем в Лейпциге. А ведь оригинальные эксперименты Раби, поставленные им за три года до того в Колумбийском университете, остались практически незамеченными. Именно поэтому после их завершения и получения докторской степени молодой ученый отправляется в Лейпциг. О цели этой поездки он пишет так: «Ученые моего поколения уезжали за границу не для того, чтобы изучать какую-либо дисциплину, а скорее для того, чтобы ощутить ее аромат, пережить европейские традиции и стиль работы. Так исполнитель, уже знакомый с либретто, погружается в изучение музыки».

В Лейпциге Раби работал одновременно с другими молодыми, энергичными и талантливыми американцами, среди которых выделялись Лайнус Полинг, Эдвард Кондон, Роберт Оппенгеймер и Х.П. Робертсон. Со-

гласно европейским правилам, двери лабораторий оставались закрытыми с 7 часов вечера до 7 часов утра. Однако, идя навстречу американцам, привыкшим работать по ночам, директор Отто Штерн, прекрасный ученый и отзывчивый человек, охотно шел на нарушение порядка. Все эти американцы вернулись на родину первоклассными специалистами. Под их руководством квантовая физика, поступающая талантом и энергией молодых экспериментаторов, сделала гигантский шаг вперед. (Еще одним стимулом ее развития был приток в Америку немецких физиков, бежавших от преследования нацистов.) С этой поры американские студенты имеют возможность получить прекрасное физическое образование на родном континенте.

Рассуждая о своей многолетней карьере ученого, И.А. Раби пишет в краткой заключительной части: «Физика уже вступила в период зрелости и, возможно, начинает терять свою привлекательность для талантливых молодых людей, ищущих приложения своему интеллекту... В двадцатом веке физика постепенно утрачивает тесную, живительную связь с реальным миром... Все труднее становится сделать выдающееся открытие или обнаружить ранее неведомое явление природы... Никто, кроме нас самих, не поможет нам выбраться из этого тупика. Начинать надо с реорганизации школ, улучшения подготовки учителей и поднятия престижа знаний как таковых».

Детство Раби прошло в Браунсвилле в ортодоксальной еврейской семье. Бедные иммигранты из Галиции занимали три комнаты на втором этаже овощной лавки, принадлежавшей отцу Раби. Мальчик быстро научился читать и вскоре прочел все книги на идише, которые нашел дома. Школьные учебники казались ему скучными. Узнав от приятеля о существовании библиотеки Карнеги, он жадно набросился на чтение. Почти сразу же

ему попала небольшая книжка по астрономии с изложением системы Коперника. Мальчик и раньше наблюдал ночное небо и задумывался над величественной тайной сотворения мира. Однако на все вопросы о смене дня и ночи, о фазах Луны и т.п. любящие родители могли дать ему лишь один ответ: все вокруг создано волей неутомимого Творца. И вот однажды, вернувшись из библиотеки домой, он с большим воодушевлением объявил своим родителям: «Все очень просто и Бог тут ни при чем».

Постепенно его комната стала заполняться радиоаппаратурой; он собственноручно сделал небольшую радиостанцию, для которой пришлось купить лишь наушники. Еще в школе он начал получать гонорары от популярного журнала, публикующего его схемы. Талантливый студент, он стоял первым в списке сдавших экзамен по истории в штате Нью-Йорк; в то же время он вовсе не был тихоней-затворником, смотрел на жизнь с известной долей скептицизма и очень гордился своей культурой и талантом. Блестяще окончив колледж, где был «один прекрасный учитель математики», он получает стипендию и благодаря ей и помощи родителей становится студентом Корнеллского университета, отличавшегося либеральным духом и высоким уровнем преподавания. Он оканчивает университет по специальности «химия», причем его знания были необычайно высоко оценены его профессором. Однако этот предмет не увлекает Раби. После нескольких лет самостоятельных занятий он возвращается в Корнеллский университет с твердым намерением посвятить себя физике. Через год он оказывается в Колумбийском университете, где делает окончательный выбор: физика поможет ему проникнуть в глубь атома, приблизив его к Богу. «Где-то в глубине души я все же остался верующим... Нет, вера не в извечном понимании этого слова, а как основа взгляда на мир... А занятия физикой обещали мне много необычного... Ведь настоящая физика — это игра с самым сильным Противником».

В течение десятилетия исследования велись в скромной лаборатории по изучению молекулярных пучков, созданной Раби в Колумбийском университете. Пучки состояли из атомов, летящих в вакууме друг за другом по своим путям, и управлялись магнитным полем. В качестве объекта исследования был избран водород — вещество настолько простое по своему составу, что каждое изменение, обнаруженное с помощью точнейших приборов, могло быть легко проанализиро-

вано. Сам Раби не отличался особым терпением и меньше всего годился для ежедневной кропотливой работы в лаборатории. Зато он генерировал идеи, строил проекты, давал объяснения, а кроме того, планировал каждый час времени и каждый доллар из отпускаемых на исследования средств. Он был душой лаборатории, неизменным участником каждого ее успеха.

Физика магнитного резонанса, по своей природе связанная с квантовой механикой, вышла из лаборатории Раби и со временем распространилась на другие области науки. Она нашла применение в химии, медицинской диагностике, в технике атомных часов. В книге приведены все основные идеи и приложения в данной области, статья за статьей. Начинаются они со статьи, предшествовавшей знаменитой работе Штерна о расщеплении пучка (в 1924 г. это явление получило название «пространственное квантование»). Последняя статья (за 1958 г.) посвящена исследованиям радиолинии водорода в космическом газе. К тому времени на эту тему было сделано около 100 работ. В 1944 г. Раби была присуждена Нобелевская премия. В ту пору он был целиком поглощен оборонными задачами, занимаясь и радаром, и атомной бомбой.

Со временем Раби отошел от чисто научной деятельности. Его лаборатория процветала. Однако сам Раби после войны превратился в фигуру международного масштаба, занял крупные административные посты. Он стал научным директором знаменитой радарной лаборатории Массачусетского технологического института и ведущим консультантом при Лос-Аламосской лаборатории (где создавалась атомная бомба), возглавляемой его старым другом Робертом Оппенгеймером. (Сходство и различия в характерах и судьбах этих двух людей — интересный материал для размышлений.) Вместе с Оппенгеймером он составляет реальный план международного контроля за использованием атомной энергии. Ему же принадлежит идея создания Национальной лаборатории, которая была бы открыта для физиков из всех университетов страны: так возникла Брукхейвенская лаборатория. По его инициативе два года спустя в Женеве была создана Европейская организация ядерных исследований (ЦЕРН). В 1952 г., после того как 11 государств пришли к соглашению о ее создании, европейский инициативный комитет направил Раби письмо, содержащее такие строки: «Мы только что подписали документ о появлении на свет нового проекта, отцом которого Вы яв-

ляетесь... Мать и дитя чувствуют себя хорошо, и врачи, принимавшие роды, шлют свои поздравления».

Совместно с Ферми Раби обратился к президенту Трумэну, выдвигая ряд возражений морального характера против создания водородной бомбы. После запуска первого советского спутника, значение которого возглавляемая им комиссия оценила в полной мере, он предложил президенту Эйзенхауэру, с которым у него установились прекрасные отношения, создать Комитет научных советников при президенте. Наибольшим авторитетом комитет пользовался при Эйзенхауэре, наименьшим — при Никсоне, когда многие его члены выступали против вьетнамской войны. После этого научным советникам президента никогда уже не удавалось вернуть своего бывшего влияния. Следует сказать, что Раби, человек очень уравновешенный, не испытал то, что испытал Эйнштейн, — трагедию пацифиста, втянутого в одну из самых страшных войн. Не страдал он и от внутреннего разлада, подобно Оппенгеймеру, деятельность которого по созданию атомной бомбы вызвала одобрение одних и гневный протест других.

Трагическую ноту в жизнь Раби вносит лишь угроза катастрофы, нависшей над нами всеми; он чувствует ее, возможно, более остро, так как несет за нее большую ответственность. «Смерть меня не страшит. В конце концов все мои предки перешли в лучший мир... Что меня заботит — это опасность уничтожения человеческой цивилизации». США развивались, защищенные от нападения извне океаном. Однако по мере разработки новых видов оружия они постепенно превращались в континентальную державу. «Поэтому нам было выгодно сокращение вооружений. Мы выступали против любого нового вида оружия, поскольку оно лишало нас наших естественных преимуществ. Однако после второй мировой войны мы оказались буквально опьяненными своими успехами». Сейчас военное преимущество кажется все более эфемерным всем, исключая тех, кто смотрит на мир из Овального кабинета.

Не являясь автобиографией, рецензируемая книга содержит много биографических элементов. Дж. Ригден, физик из Миссурийского университета в Сент-Луисе, много раз беседовал с Раби и его женой Элен и испытал на себе влияние богатого метафорами, точного, а порой и весьма резкого языка умудренного жизнью ученого. Читателя, несомненно, заинтересуют как поставленные в книге вопросы, так и ответы на них.

Томас Гоулд. ЭНЕРГИЯ ИЗ ЗЕМЛИ: ГЛУБИННЫЙ ГАЗ — ЭНЕРГИЯ БУДУЩЕГО Power from the Earth: Deep Earth Gas — Energy for the Future, by Thomas Gold. J.M. Dent & Sons, Ltd., Aldine House, 33 Wellbeck Street, London W1M 8LX (£ 12.95), to be published in the U.S. by Harper & Row Publishers, Inc.

ВСЕМ ИЗВЕСТНО, что химия разделяется на два классических направления — органическую химию и неорганическую. Когда-то пропасть между ними была также огромна, как пропасть между живой и мертвой материей. Но постепенно эти два направления сближались, и сейчас химики-органики считают, что предмет их исследований — это просто бесчисленное количество соединений достаточно распространенного легкого атома — углерода. Никого уже не удивляет возможность синтезировать простейшие соединения, дающие начало жизни. В то же время жизнь не единственный естественный источник таких соединений. Сейчас можно с уверенностью говорить о том, что в одном межзвездном облаке больше спирта — правда, сильно разбавленного, — чем во всей нашей биосфере, а гигантские планеты и их спутники окружают целые океаны метана. Эти выводы интересны, хотя и кажутся далекими от наших проблем; безусловно, они связаны с такими глобальными вопросами, как происхождение и распространение жизни во Вселенной. В книге, основанной на точных фактах, но не перегруженной математикой, ее автор Т. Гоулд, один из наиболее оригинальных современных естествоиспытателей, развивает эту тему, делая захватывающие дух практические выводы, и легко связывает ее с самыми свежими научными идеями.

Все сказанное может проиллюстрировать одна-единственная карта Ближнего Востока, на которой большими и маленькими точками обозначены около ста нефтяных и газовых полей. Они лежат россыпью вдоль узкой полосы, примерно на линии Персидского залива, простирающейся на 500 миль в глубь суши в направлении юго-восточной части Турции. В пределах этой области, занимающей лишь около 2% земной поверхности, находится более половины разведанных запасов нефти. Нефть и газ — углеводороды; мы объединяем их с углем в группу органических остатков и, как это давно повелось, рассматриваем как измененную, когда-то живую, а теперь захороненную материю. Геологическое положение нефтяных полей в регионе очень разнообраз-

но — от осадочных бассейнов до сильно дислоцированных горных массивов; неодинаков и их возраст. Перекрывающие породы, которые должны «запечатывать» каждое месторождение таких летучих флюидов, здесь не достаточно плотны, поэтому повсеместно отмечается значительное просачивание на поверхность битумов. Эти разделенные природные резервуары полны до краев, причем дело не в чрезвычайно плотных перекрывающих породах, а в избыточном поступлении. Нефти этого региона, по мнению специалистов, существенно однородны и имеют общее происхождение. Но каково же оно, это происхождение? Как считает большинство ученых, завидные энергетические запасы зоны Персидского залива определяются тем, что в течение длительного времени там буйно расцветала жизнь и что покровные породы запечатали огромные массы погребенных органических остатков. Согласно этой точке зрения нефть должна иметь органическое происхождение; Гоулд же полагает, что здесь правомочен иной вывод.

Источник углеводородов не лежит в биосфере, утверждает это еретическое учение. Углеводороды, считает Гоулд, просачиваются практически повсеместно из мантии Земли с глубин в сотни километров. По неизвестным причинам эти глубинные источники «бьют» в основном под Персидским заливом. Достаточно однородный материал заполняет все возможные ловушки — старые и молодые, объемные и плоские, глубинные и приповерхностные. Локальные условия не так важны: сам феномен носит региональный, даже можно сказать глобальный характер. Персидский залив — это лишь ярчайший пример такого рода. На самом деле большую часть нефтяных провинций объединяет независимость от локальных условий. Хотя наше неведение само по себе не может служить подтверждением новой гипотезы, ободряет тот факт, что накопленные знания о геологии нефти оказываются по крайней мере не связанными с вопросом о происхождении крупнейшего месторождения.

Теперь уже почти не приходится сомневаться, что углеводороды были привнесены в больших количествах в формировавшуюся Землю; это согласуется с реалистичными моделями образования планет. Примером могут служить метеориты, а именно углистые хондриты, которые и сейчас несут небольшие количества углеводородов. Еще интереснее, что углерод поступает на поверхность Земли из мантии в такой поразительной форме, как алмазы. Неокисленный углерод собирается в плотные кри-

сталлы, и отдельные образцы поступают наверх со струей взрывного газа в алмазных трубках. Алмазная трубка есть не что иное, как застывший холодный газовый вулкан. В наше время мы не встречаем такие вулканы, но, вероятно, они были достаточно распространены во все геологические периоды. Углерода «внизу» много, в десятки раз больше, чем нужно для обеспечения общей карбонатности — и редких горючих материалов, и вездесущих известняков. Но весь ли углерод окислен?

Легкое вещество всплывает. Алмазы выносятся взрывными газовыми вулканами, жидкая лава поднимается наверх при обычных извержениях, существуют даже грязевые вулканы — горы грязи, которые построены потоками мелких осадков, смешанных с водой. Лавовые вулканы выносят пар и диоксид углерода. В отличие от них грязевые вулканы выносят метан. Гоулд предполагает, что процесс один и что при подъеме с глубины дегазируется преимущественно метан. Когда метан поднимается вместе с горячим паром, он окисляется; поднимаясь с более холодной водой, он механически смешивается с грязью и химически не изменяется. Иногда извержения и землетрясения сопровождаются выходами газов, воспламеняющимися или взрывающимися на воздухе: это означает, что в них много метана. (В литературе можно найти много историй, описывающих такие явления, но доказательство научного факта не опирается на наивные, хотя зачастую и убедительные свидетельства.)

Наиболее интересная физическая проблема — это механизм течения легкого флюида наверх, через породу. Необходимо ясно представлять, что давление воды или газа в порах должно уравновешиваться давлением пород. Поры не закрыты: в конце концов Земля остается шаром только потому, что нижележащие породы дают выход давлению. Был ли газ во время извержения вулкана Сент-Хеленс освобожден из раствора у вершины или же просочился из глубины по порам через расплав? Землетрясения могут происходить как при упругой просадке сверхсжатых пород, так и при вторжении сильно сжатых газов, вызывающем разрыв пород.

Можно продолжить дискуссию, оперируя не только качественными соображениями. Гелий-азот-метановые отношения для скважин вносят определенный порядок в новую гипотезу. Подтверждает ее и изотопная история углерода. Даже рост угольных пластов в меньшей степени зависит от накопления органических остатков, чем от поступления угле-

родосодержащего флюида в постгумусную стадию. Кстати, большая часть угольных отложений является замещенными угольными отложениями. Природа комплексных процессов углеобразования все еще не ясна. Но камнем преткновения для теории остается вопрос количества. В самых продуктивных алмазоносных трубках количество алмазов не превышает одного грамма на тонну; если углерод поднимался с глубины в концентрации фунты на тонну в соответствии с распространенностью его в космосе, то все объясняется просто.

Бурите глубже, говорит Гоулд, где бы вы ни находились! Газ там. Экономический эффект зависит от того, каких трещин вы достигнете в процессе бурения. Под гранитами Центральной Швеции лежит погребенным огромный ударный метеоритный кратер. Его след назван Силджан-Ринг. Вокруг него просачивается нефть, из скважин бьют горячие газы, а гравиметрические измерения указывают на пористость глубоко лежащих пород. И все это внутри древнего гранитного массива, где никаких органических остатков, кажется, и быть не может. Углеводороды могли прийти только с большой глубины. В настоящее время на шведские и американские деньги внутри Силджан-Ринга ведется бурение на глубину 5-8 км. Уже имеются признаки того, что газ здесь присутствует в количествах, которые невозможно объяснить локальным происхождением. Что на самом деле выдаст эта скважина, зависит от пористости породы на достигнутой глубине.

Достаточно ли метана в первых полтора десятках (или около того) километров верхней мантии, чтобы обеспечить нас топливом на несколько столетий? Точно сказать не может никто. Новая, простая, но своеобразная теория обещает не только новые газовые месторождения, но и новое понимание процессов динамики планеты. Связь с указанной геохимической ересью заключена в одном вопросе: является ли вся ископаемая энергия даром нашего термоядерного светила или это наследство некоторой неизвестной родительской звезды?

Марко Русполи. ПЕЩЕРА ЛАСКО: ПОСЛЕДНИЕ ФОТОГРАФИИ

The Cave of Lascaux: The Final Photographs, by Mario Ruspoli. Harry N. Abrams, Inc., Publishers (\$45)

ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО 17 тыс. лет назад в известняковую пещеру Ласко проникли древние люди, и

стены больших залов и низких коридоров пещеры стали покрываться удивительными росписями. В 1940 г. скрытые от глаз древние произведения искусства были обнаружены жившими по соседству детьми, а в 1963 г. ставшую знаменитой пещеру закрыли для посещения. Несколько лет назад группа из шести человек во главе с талантливым режиссером М. Русполи в условиях строжайших ограничений отсняла 150 полных рулонов 16-миллиметровой цветной киноплёнки. Целью группы было создание «сводной документации» для французского министерства культуры, отсюда и заголовок кинематографической «монографии»: «Свод Ласко».

Работая над проблемами, связанными с пещерой Ласко, Русполи проник к глубочайшим интересам к изучению доисторической эпохи. В этом деле ему помогал археолог А. Леруа-Гуран, которого Русполи называл «мой проводник в мире тьмы». Русполи умер в 1986 г., когда его книга, написанная на основе фильма, еще находилась в печати. Это произведение отнюдь не любительского уровня: яркие иллюстрации и живое изложение — работа опытного художника, проникшего в скупое освещенные недра пещеры.

Фильм не был легкой натурной съемкой. Группе разрешалось работать только в те три весенние недели в году, когда температура в пещере опускается до минимума, поэтому съемка растянулась на три года: с 1981 по 1983 г. Заходили в пещеру два-три раза в неделю, каждый раз не более чем на два часа. Практически весь необходимый для съемок свет они получали от двух ручных кварцевых фонариков мощностью по 100 Вт каждый. Снимали на пленку «Фудзиколор» одновременно двумя камерами «Аатон». По вечерам негативы отсылали в Париж на обработку, а через день-два получали готовый материал. В окончательном виде мастерски отредактированный материал превратился в четыре двухчасовых неозвученных фильма с полным показом всей пещеры. Каждый из этих фильмов посвящен какой-то одной секции пещеры с подробным исследованием ее росписей. Позднее на этой основе был подготовлен телефильм.

Операторы двигались по извилистым, скользким переходам, стараясь не пропустить ничего из того, что высвечивали их фонари. Должно быть, они походили на древних художников с их тусклыми масляными светильниками. Члены съемочной группы отмечали: «Нам было ясно, что пещерную живопись Ласко нельзя давать как серию неподвижных изображений. Напротив, она должна восприниматься

в движении, как бы увиденная глазами палеолитического человека, пробирающегося под землей». Один кадр показывает изображения, находящиеся впереди по ходу движения в большом зале. Видимые через естественное отверстие перед входом, они впечатляют своей симметричной композицией. Перед залом Большой черной коровы в так называемом Нефе трем членам группы приходилось поддерживать оператора, стоявшего на скалистом выступе, слишком узком для того, чтобы он без посторонней помощи мог обеспечить нужное расстояние между объективом и снимаемым рисунком. Скорее всего, древние художники выполняли свою кропотливую работу, стоя на помосте, опирающемся на деревянные столбы. Некоторые части композиции находятся на высоте более 4 м от пола, уровень которого, как достоверно известно, с тех пор не изменился. Археологи точно установили, что в свое время в пещере пользовались деревянными подмостками. В стенах часто встречаются отверстия, выполненные каким-то острым кремневым инструментом, некоторые из них еще со следами засохшей глины, которую использовали для крепления заостренных балок. Это же предположение подтверждают осколки кремней и следы краски, обнаруженные в строительном мусоре на полу пещеры.

Впредь пещера Ласко будет закрыта для посетителей. В обозримом будущем планируется изредка и на очень короткое время допускать в пещеру специалистов для контроля за ее состоянием. В 1963 г. многочисленные посетители (более тысячи в день) занесли в пещеру «зеленую болезнь», вызываемую диатомовыми водорослями, и великолепные рисунки начали портиться. Этот процесс удалось приостановить антибиотиками и формалином. Хуже обстояло дело с «белой болезнью». Так называется беспорядочное замещение атомов в минералах с образованием непрозрачных белых кристаллов кальцита на пигментированных поверхностях в результате повышения температуры, влажности и воздействия углекислого газа, выдыхаемого людьми. В пещеру ограничили доступ; в течение нескольких лет проводились специальные исследования, направленные на поиски наиболее эффективных мер борьбы с надвигающейся опасностью. Нужно было сохранить уникальные произведения искусства, которые изменялись буквально на глазах — в тысячи раз быстрее, чем когда они были скрыты от людей. Это и вынудило окончательно закрыть пещеру. Сейчас в ней поддерживают низкую температуру, подходящий воздухооб-

мен, а с самых глубоких уровней постоянно откачивают углекислый газ, следя за тем, чтобы туда не просачивалась вода. Отсюда и строгости в отношении операторов: они стали последними людьми, серьезно потревожившими покой пещеры.

Сделав Ласко недоступной для посетителей, взамен нее построили как бы ее копию. На расстоянии примерно 200 м от входа в нее, в старом карьере, была сооружена новая пещера, Ласко-II. Она имеет вид туннеля в огромном бетонном блоке. Более чем на треть общей длины были воспроизведены стены переходов пещеры. Для этого использовались стереофотограмметрические данные и механические средства, которые помогли скульпторам привязаться ко многим точкам в пространстве. Применяя специальный строительный раствор, они с точностью до нескольких сантиметров смогли воспроизвести рельеф внутреннего пространства пещеры. На это пошло 500 т лепного бетона. Затем художница М. Пейтраль тщательно воссоздала на подготовленных стенах структуру, характер поверхности, цвет, форму и даже технику основных сюжетов Ласко. С момента завершения этих работ в 1984 г. ежегодно 300 тыс. посетителей благоговейно осматривают готовые копии.

На фотографиях в книге можно встретить свечеобразные светильники с фитилями из можжевеловых веток, которые горят в неглубокой известняковой чаше, заполненной печеным жиром быков или телят. Показан также продырявленный предмет, вероятно, приспособление для выпрямления рогов северного оленя, из которых делали оружие; нужную форму рога придавали, вымачивая и обжигая их. Долгое время было непонятно, почему эти инструменты встречаются так часто. Недавно ученые пришли к выводу, что всякий охотник должен был постоянно иметь их при себе для того, чтобы поддерживать правильную форму наконечника копья в любую погоду.

Великолепные образы, символы и знаки, мистические сцены, бормотанье колдунов — все это можно найти вместе с комментариями в сжатых, но увлекательных очерках, частично написанных Деллюками, которые дали также прекрасную библиографию по пещере Ласко. Главу, написанную этими авторами, завершает изображение таинственного зверя. Что это? Химера? Рысь? Колдун в маске? Портрет, основанный на устной традиции? «Это, — по словам авторов, — символ всего неизвестного нам до сих пор... проба кисти и в то же время завершающий штрих древнего магдаленского мастера».

Издательство МИР предлагает:

МИГМАТИТЫ

Под редакцией Дж. Эшуорта

Перевод с английского



Рассматривается проблема генезиса мигматитов с привлечением новых экспериментальных данных по гранитным системам, по флюидным включениям в минералах мигматитов, а также по фазовым равновесиям, отмечающимся при частичном плавлении пелитовых пород. Делается вывод о комплексной природе процессов мигматизации. Приводится детальное описание текстур и структур мигматитов, а

также методика подсчета баланса вещества при их образовании. Дается геолого-петрологическая характеристика мигматитов Шотландии и северной части Аппалачей, а также детально рассматриваются новые данные по флюидным включениям в минералах мигматитов Южной Норвегии и Колорадо.

Для петрологов, минералогов, геохимиков и геологов широкого профиля.

1988, 23 л. Цена 3 р. 80 к.



Наука и общество

Нерекламируемая возбудимость

У БОЛЬШИНСТВА млекопитающих спаривание происходит только во время течки у самки — короткого периода, включающего момент овуляции, когда самка оповещает о своей половой восприимчивости с помощью определенных визуальных, поведенческих или секреторных признаков. Лишь некоторым приматам, в том числе человеку, свойственно иное поведение: самки не демонстрируют явных внешних признаков овуляции и сексуально возбудимы не только в этот период. В поисках ключа к пониманию происхождения скрытой овуляции и ее адаптивной ценности для самок С. Энделман из Миннесотского университета исследовала спаривание у африканских обезьян, называемых верветками.

В журнале "American Naturalist" Энделман опубликовала данные о поведении и физиологии верветок, собранные ею за шесть лет наблюдения за тремя группами этих обезьян, ведущих полудревесный образ жизни в одном из национальных парков Кении. Возглавляемые ею исследователи регистрировали все попытки и удавшиеся случаи спаривания, совершенные каждым самцом. Поскольку животных в заповедниках нельзя беспокоить, контролировать функционирование яичников самок приходилось с помощью пластиковой воронки, в которую собирали образцы мочи обезьян, находившихся на деревьях.

Было установлено, что размножение у верветок строго сезонное: 86%

родов приходится на октябрь — декабрь (основной сезон дождей в саванне). Репродуктивное поведение также сезонное, но не ограничивается периодом овуляции: оно начинается в апреле — приблизительно за 2 мес до установления нормального функционирования яичников — и продолжается до конца октября. У самок не наблюдается никаких внешних признаков овуляции, и в каждой группе особей 60% самцов спариваются более чем с 80% самок.

По мнению Энделман, такая ситуация дает самкам верветок ряд преимуществ. Известно, что у приматов самцы, в особенности недавно перешедшие из других групп, убивают детенышей, зачатых не от них, а у верветок в период размножения переходы самцов случаются часто. Поскольку самки верветок совокупляются с большинством самцов группы и не демонстрируют течку, самец не может знать, когда произошло зачатие и кому из детенышей он отец. Кроме того, самцы, как правило, собирают пищу и защищают от хищников тех самок, с которыми они спаривались. Верветки занимают неблагоприятную экологическую нишу на окраинах саванны, и самки часто недоедают, так что они особенно нуждаются в помощи самцов.

С. Блаффер Грди из Калифорнийского университета в Дейвисе считает загадочным, что механизм скрытой овуляции обнаружен в полиандрической социальной системе. Ведь когда в группе постоянно присутствует определенное число самцов, сочетание признаков течки и овуляции имеет

преимущества: это сокращает период размножения и таким образом уменьшает энергетические затраты, связанные со спариванием, и увеличивает время для поисков пищи. При допущении, что самки приматов предпочитают широкий выбор партнеров, ситуация для самок изменяется в системах с одним партнером. Тогда продолжительный период сексуальной возбудимости и скрытая овуляция действительно будут преимуществом, поскольку повышают вероятность спаривания с самцом, не принадлежащим к данной группе.

Депрессия от безнадежности

ТЕМ, КОМУ приходится экспериментировать на животных, знакомо у них специфическое состояние, называемое приобретенной беспомощностью. Оно возникает у животного, когда ему угрожает стресс, которого нет возможности избежать, и проявляется в ухудшении аппетита, утрате интереса к окружающему, психомоторных нарушениях, неспособности выполнять ранее выученные задачи.

В 1970-е годы М. Селигман из Пенсильванского университета заметил, что приобретенная беспомощность у животных очень похожа на депрессивное состояние у человека и что лекарства, облегчающие депрессию, ослабляют также симптомы приобретенной беспомощности. Он предположил, что синдром, наблюдаемый у животных, может служить моделью сходного состояния у человека. Догадка Селигмана легла в основу очень ценного психологического исследования.

Сейчас нейробиологи развивают эту работу, находя связи между поведенческими и психологическими проявлениями приобретенной беспомощности, с одной стороны, и физиологией (нейромедиаторами, гормонами и их рецепторами в мозгу, железами внутренней секреции, иммунной системой) — с другой. Вот пример типичного для таких исследований эксперимента. Берутся три группы крыс. Одна служит контрольной: животных держат в условиях, исключающих стресс. Крыс второй группы подвергают стрессу, скажем электрическому шоку, но дают возможность избежать его путем тех или иных произвольных действий. Эти животные не теряют здоровья и активности. Крыс третьей группы тоже подвергают стрессовому воздействию, но лишают возможности избежать его. Многие из них на опыте убеждаются, что никакая реакция на мучительный стимул не дает



ПОЛОВОЕ ПОВЕДЕНИЕ самок верветок — африканских обезьян размером с кошку — дает ключ к пониманию эволюции сексуальности у человека. (Эта фотография сделана С. Энделман в Национальном парке Амбосели в Кении.)

желаемого результата, т.е. убеждаются в своей беспомощности. Поведение животного можно сопоставить с такими физиологическими параметрами, как концентрации различных нейромедиаторов в разных участках мозга.

Однако, какие именно выводы следует сделать из полученных результатов — это предмет большой и, судя по всему, продуктивной дискуссии. Нейромедиатор норадреналин фигурирует в нескольких гипотезах, существенно различающихся по многим пунктам. В частности, нет согласия в вопросе о том, как расценивать изменения в уровнях гормонов, опосредующих реакцию «борьба либо бегство» и другие функции адренергического компонента нервной системы — как первичный или как вторичный эффект состояния приобретенной беспомощности. Т. Рейгл из Университета Джорджии видит здесь сложное взаимодействие процессов с участием норадреналина и эндогенных опиатов — подобных опиуму веществ, образующихся в норме в организме, которые подавляют способность чувствовать боль и вызывают чувство комфорта. У крыс в состоянии приобретенной беспомощности отмечаются сравнительно высокие уровни эндогенных опиатов, и они слабо реагируют на боль. Если животные, перед тем как подвергнуться стрессу, получают налоксон, который блокирует активность опиатов, у них менее вероятно возникновение состояния приобретенной беспомощности. Изменения в уровнях опиатов, указывает Рейгл, ведут к изменению активности норадреналина в гиппокампе, а эта структура участвует в формировании эмоций.

У животных в состоянии приобретенной беспомощности понижены уровни продуктов метаболических превращений норадреналина, что указывает на неэффективность работы адренергической системы. Дж. Уэйсс из Медицинского центра Университета Дьюка сообщает, что еще сильнее, чем в коре мозга и гиппокампе, падает уровень адреналина в участке мозга, называемом *locus ceruleus* («голубое пятно»): на 30-35% по сравнению с 10%-ным понижением в гиппокампе и коре, которые получают норадреналин от *locus ceruleus*. Уэйссу удалось влиять на поведение животных, находящихся в состоянии стресса, изменяя уровень норадреналина в *locus ceruleus*.

Взаимодействием адренергической системы и системы эндогенных опиатов можно объяснить нарушение деятельности иммунной системы, что наблюдается у животных в состоянии приобретенной беспомощности. У

крыс, подвергнутых неконтролируемому с их стороны стрессу, быстрее развиваются опухоли, а Т-клетки — один из важнейших компонентов иммунной системы — медленнее отвечают на инфекцию. Рядом исследователей выдвинуто предположение, что опиаты связываются с рецепторами иммунной системы и этим вызывают частичное подавление ее деятельности.

Высказывалось мнение, что выводы, сделанные по наблюдениям на животных, следует с осторожностью переносить на человека. «Изучение приобретенной беспомощности у животных — один из путей к постижению природы депрессии у человека, — сказал С. Майер из Колорадского университета в Боулдере, — но это не синонимы, здесь нет однозначного соответствия». Он подчеркнул, что состояние приобретенной беспомощности сказывается на всех системах мозга, обуславливая лавину различных эффектов, проявляющихся в поведении. Остается неясным, каким образом уровни нейромедиаторов и продуктов их превращений в ходе метаболизма связаны со специфической картиной поведения у крыс. Тем более неясна их роль в эмоциях и поведении человека. На нынешнем этапе исследований широкий спектр явлений, обнаруженных в экспериментах на животных, быть может, означает, что различные гипотезы вовсе не обязательно несовместимы.

ДНК под микроскопом

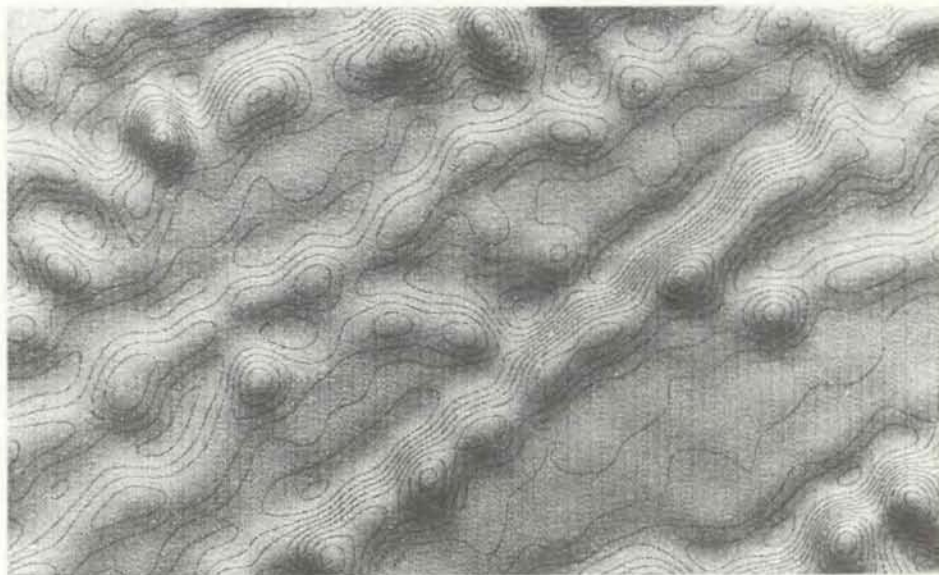
РАСТРОВОЙ туннельный микроскоп, изобретенный в 1980 г., — самый мощный из всех существующих

аналогичных инструментов, позволяющих получать изображения исследуемых объектов. Его разрешение менее 1 Å позволяет увидеть рельеф атомной поверхности с диаметром атомов около 3 Å. В настоящее время этот микроскоп широко применяется специалистами в области микроэлектроники, изучающими свойства проводников, полупроводников и сверхпроводников.

В последние годы началось изучение гораздо более сложных материалов, в частности тех, из которых состоят живые организмы. Недавно группе исследователей впервые удалось получить изображения двойной спирали ДНК. Эта работа проделана Н. Рорером — лауреатом Нобелевской премии 1986 г. в области физики за разработку растрового туннельного микроскопа — и Дж. Травальни (оба являются сотрудниками Исследовательской лаборатории фирмы IBM в Цюрихе) в сотрудничестве с биологами М. Амрейном и Г. Гроссом из Швейцарского федерального технологического института в Цюрихе.

В отличие от других оптических или электронных микроскопов растровый туннельный микроскоп формирует изображение рельефа поверхности не с помощью отраженных от нее частиц. В этом микроскопе специальная игла сканирует электронные облака атомов на исследуемой поверхности. Термин «туннельный» относится к процессу, связанному с волновыми свойствами электронов, которые беспорядочно «выскакивают» над поверхностью на высоту, достаточную, чтобы их можно было зарегистрировать.

В экспериментах швейцарских уче-



ЦЕПИ ДНК выступают над поверхностью графитовой подложки. Микрофотография получена на растровом туннельном микроскопе. Регулярность возвышений отражает периодичность двойной спирали ДНК.

ных образцы получали путем испарения воды из капли раствора, содержащего молекулы ДНК, на кристалле графита. В качестве подложки был взят графит потому, что поверхность его кристаллов исключительно ровная, шероховатости на ней обычно не превышают двух-трех атомов.

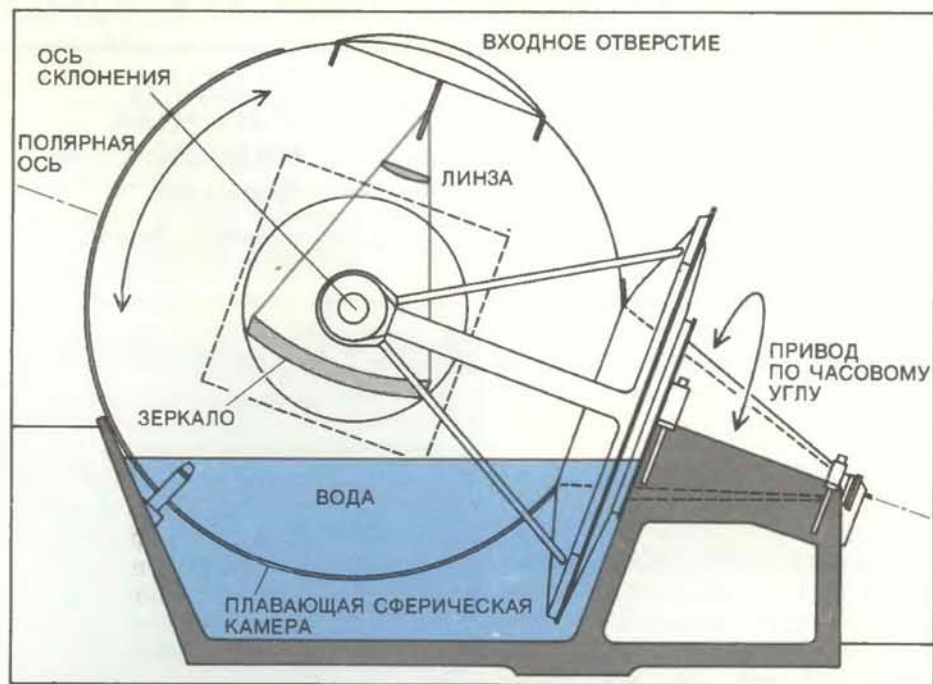
Очевидно, из-за того, что молекулы ДНК не «прилипают» к гладкой поверхности графита, цепи ДНК обнаруживались только на «ступеньках» подложки, т.е. в тех местах, где на ее поверхности имелись крутые возвышения из двух или более атомов. Это в какой-то степени ограничивало возможности сканирования. Тем не менее удалось измерить диаметр спирали и расстояние между соседними витками (2 и 3,5 нм соответственно) в отдельных цепях.

Если в случае электронного микроскопа объект должен обязательно находиться в вакууме, то растровый туннельный микроскоп может сканировать не только в вакууме, но и в воздушной среде, и в жидкости. Это позволило исследовать молекулы ДНК в условиях обычного атмосферного давления. В настоящее время швейцарские исследователи ищут материал для подложки, который в отличие от графита имел бы хорошее сцепление с ДНК в воде, что дало бы возможность сканировать ее молекулы в естественной для них среде.

Статья Рорера и Травальни с описанием проведенной ими работы опубликована в августовском номере за 1987 г. журнала "Spektrum der Wissenschaft" — издании "Scientific American" на немецком языке.

Плавающие телескопы

ЗНАЧИТЕЛЬНАЯ доля средств, отпускаемых на создание большого телескопа, идет на изготовление массивной монтировки, предназначенной для поддержания тяжелого главного зеркала, следящего за небесным телом с точностью до 1/2 дуговой секунды. Применение обычных конструкций связано с рядом проблем: иногда они прогибаются, а их смазываемые маслом подшипники разогреваются и создают вредные конвективные потоки теплого воздуха, если смазочное вещество не охлаждается. Избежать этих проблем поможет принципиально новая конструкция монтировки, разработанная фирмой Coast Steel Ltd (Порт-Кокутлам, пров. Британская Колумбия); к тому же она значительно дешевле. Фирма намерена построить телескоп, установленный на стальной



ПЛАВАЮЩИЙ ТЕЛЕСКОП будет установлен в сферической камере, находящейся на плаву в резервуаре с водой. Благодаря такой конструкции снижается нагрузка на подшипники, на которых вращается камера.

сфере, плавающей в резервуаре с водой.

Прежде большие телескопы традиционно имели экваториальную монтировку; в ней одна ось вращения параллельна полярной оси земного шара. Такая конструкция имеет одно немаловажное преимущество: при слежении за небесным объектом телескоп может просто вращаться вокруг полярной оси с постоянной скоростью и таким образом компенсировать вращение Земли. Однако техническая реализация этой идеи обходится дорого. Телескопы, построенные в последнее время, имеют альтазимутальную монтировку. Подобно орудийной башне альтазимутальная монтировка имеет одну вертикальную и одну горизонтальную оси. Подшипники, применяемые в этой конструкции, дешевле, но для слежения за объектом телескоп все время должен двигаться с переменными скоростями в двух плоскостях. Кроме того, по словам Е. Ричардсона, сотрудника астрофизической обсерватории Доминион в Британской Колумбии и консультанта фирмы Coast Steel, изображения, получаемые на телескопах с альтазимутальной монтировкой, вращаются во время слежения, поэтому сами инструменты тоже должны вращаться. Ричардсон считает, что таким установкам свойственны и другие недостатки: главное зеркало, расположенное непосредственно над подшипниками, оказывается в поле конвективных потоков воздуха.

Плавающий телескоп фирмы Coast Steel будет закреплен в стальном кубе,

который в свою очередь помещается внутри стальной сферической камеры, находящейся на плаву в большом резервуаре с водой. Основная часть веса будет поддерживаться водой, вытесненной камерой, и благодаря этому экваториальная монтировка, которая обеспечивает наведение сферы вместе с телескопом, не обязательно должна быть очень прочной. Д. Холлидей, сотрудник фирмы Coast Steel, указывает, что технические допуски в конструкции сферической камеры менее жесткие по сравнению с допусками в конструкции обычной монтировки, поэтому и расходы будут не столь большими. Моделирование на компьютере, как сказал Холлидей, показало, что эта идея вполне реализуема. По оценкам сооружение такой 8-метровой установки обойдется всего в 5,4 млн. долл., в то время как стоимость монтировки обычной конструкции составляет 14 млн. долл. В этой области упомянутая фирма уже не плохо себя зарекомендовала: сейчас она завершает сооружение башни телескопа Кека с 10-метровым сегментным зеркалом, устанавливаемого на вершине Мауна-Кеа на Гавайях. Холлидей надеется получить от правительства средства на создание небольшого опытного образца телескопа и заинтересовать этой необычной конструкцией тех, кто планирует создание новых телескопов. В частности, можно рассчитывать на Саудовскую Аравию, где предполагается затратить 250 млн. долл. на создание обсерватории, оснащенной многими телескопами.

Издательство МИР предлагает:

КУЛЬТУРА
ЖИВОТНЫХ
КЛЕТОК.
Методы

Под редакцией Р. Фрешни
Перевод с английского



Книга является современным практическим руководством по культивированию животных клеток и тканей. Представлены новейшие разработки в этой области, актуальные для различ-

ных направлений экспериментальной биологии и медицины.

Для молекулярных биологов, биохимиков, цитологов и других специалистов, использующих метод культуры клеток и тканей.

1988, 24 л. Цена 2 р. 70 к.



Издательство МИР предлагает:

КЛОНИРОВАНИЕ ДНК. МЕТОДЫ

Под ред. Д. Гловера
Перевод с английского

Сборник новейших методов по генной инженерии, написанный выдающимися специалистами Великобритании, США, ФРГ, Италии и удачно дополняющий современным материалом ранее изданное руководство по молекулярному клонированию (Маниатис Т., Фрич Э., Сэмбрук Дж. «Молекулярное клонирование», М.: Мир, 1984).

Описано клонирование ДНК в клетках *E. coli* и в других грамотрицательных бактериях; в клетках млекопитающих, растений и в зародышах дрозофилы.

Для молекулярных биологов, генетиков, биотехнологов.
1988, 37 л. Цена 4 р. 30 к.

Г. Хорн ПАМЯТЬ, ИМПРИНТИНГ И МОЗГ. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ

Перевод с английского

Монография известного английского нейрофизиолога — исчерпывающее по полноте обобщение данных, касающихся механизмов импринтинга. На примере этой формы поведения анализируются структурные и физиологические основы памяти и обучения.

Для физиологов и биохимиков — специалистов по высшей нервной деятельности, психологов, этологов.

1988, 25 л. Цена 4 р.



ПИТАНИЕ И РАК

DIET, NUTRITION, AND CANCER. COMMITTEE ON Diet, Nutrition, and Cancer, Assembly of Life Sciences. National Research Council, National Academy Press, 1982.

PATHOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ASPECTS OF TUMOUR PROMOTION. R. Marian Hicks in *Carcinogenesis*, Vol. 4, No. 10, pages 1209-1214; October, 1983.

DIET AND CANCER — AN OVERVIEW. Walter C. Willett and Brian MacMahon in *The New England Journal of Medicine*, Vol. 310, No. 11, pages 697-703; March 15, 1984.

THE NEW EMPHASIS IN CANCER CONTROL. Peter Greenwald and Joseph W. Cullen in *Journal of the National Cancer Institute*, Vol. 74, No. 3, pages 543-551; March, 1985.

DIET, NUTRITION, AND CANCER: A CRITICAL EVALUATION. Edited by Bandaru S. Reddy and Leonard A. Cohen. CRC Press, 1986.

ГЕЛИЕВЫЕ СВЕРХНОВЫЕ

A PECULIAR SUPERNOVA IN THE SPIRAL GALAXY NGC 4618. Alexei V. Filippenko and Wallace L. W. Sargent in *Nature*, Vol. 316, No. 6027, pages 407-412; August 1, 1985.

TYPE IB SUPERNOVAE 1983N AND 1985F: OXYGEN-RICH LATE TIME SPECTRA. C. M. Gaskell, E. Cappellaro, H. L. Dinerstein, D. R. Harkness and J. C. Wheeler in *The Astrophysical Journal*, Vol. 305, No. 2, Part 2, pages 1.77-1.80; July 15, 1986.

THE EARLY SPECTRAL PHASE OF TYPE: IB SUPERNOVAE: EVIDENCE FOR HELIUM. R. P. Harkness, J. C. Wheeler et al. in *The Astrophysical Journal*, Vol. 317, No. 1, Part 1, pages 355-367; June 1, 1987.

SUPERNOVA 1987A IN THE LARGE MAGELLANIC CLOUD: THE EXPLOSION OF A $\sim 20 M_{\odot}$ STAR WHICH HAS EXPERIENCED MASS LOSS? S. E. Woosley, P. A. Pinto, P. G. Martin and Thomas A. Weaver in *The Astrophysical Journal*, Vol. 318, No. 2, Part 1, pages 664-673; July 15, 1987.

Грассберг Е. К., Имшенник В. С., Надежин Д. К., Утробин В. П. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СВЕРХНОВОЙ 1987А в БМО. — Письма в астрономический журнал, 1987, т. 17, с. 547.

Имшенник В. С., Надежин Д. К. КОНЕЧНЫЕ СТАДИИ ЭВОЛЮЦИИ ЗВЕЗД И ВСПЫШКИ СВЕРХНОВЫХ. — Сборник статей: Итоги науки и техники, серия «Астрономия». — М.: ВИНТИ, 1982, т. 21, с. 63.

Цветков Д. Ю. КРИВАЯ БЛЕСКА ПЕКУЛЯРНОЙ СВЕРХНОВОЙ 1985F в NGC 4618. — Письма в астрономический журнал, 1986, т. 12, с. 784.

Сюняев Р. А., Каниовский А. С. и др. ОБНАРУЖЕНИЯ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕРХНОВОЙ 1987А. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОДУЛЯ «КВАНТ». — Письма в астрономический журнал, 1987, т. 13, № 12, с. 1042.

ИСКУССТВЕННЫЕ ХРОМОСОМЫ

ISOLATION OF A YEAST CENTROMERE AND CONSTRUCTION OF FUNCTIONAL SMALL CIRCULAR CHROMOSOMES. Louise Clarke and John Carbon in *Nature*, Vol. 287, No. 5782, pages 504-509; October 9, 1980.

CONSTRUCTION OF ARTIFICIAL CHROMOSOMES IN YEAST. Andrew W. Murray and Jack W. Szostak in *Nature*, Vol. 305, No. 5931, pages 189-193; September 15, 1983.

THE MOLECULAR STRUCTURE OF CENTROMERES AND TELOMERES. E. H. Blackburn and J. W. Szostak in *Annual Review of Biochemistry*, Vol. 53, pages 163-194; 1984.

CHROMOSOME LENGTH CONTROLS MITOTIC CHROMOSOME SEGREGATION IN YEAST. Andrew W. Murray, Nell P. Schultes and Jack Szostak in *Cell*, Vol. 45, No. 4, pages 529-536; 1986.

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

SYNCHROTRON RADIATION: TECHNIQUES AND APPLICATIONS. C. Kunz. Springer-Verlag, 1979.

SYNCHROTRON RADIATION RESEARCH. Edited by Herman Winick and S. Doniach. Plenum Press, 1980.

SYNCHROTRON RADIATION RESEARCH — AN OVERVIEW. Arthur Bienenstock and Herman Winick in *Physics Today*, Vol. 36, No. 6, pages 48-58; June, 1983.

Боровский И. Б., Ведринский Р. В., Крайзман В. Л., Савченко В. П. EXAFS-СПЕКТРОСКОПИЯ — НОВЫЙ МЕТОД СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. — Успехи физических наук, 1986, т. 149, вып. 2, с. 275.

Комар А. А. РЕНТГЕНОЛИТОГРАФИЯ: ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ. — Природа, 1987, № 1, с. 80.

Кулипанов Г. Н., Скринский А. Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ. — Успехи физических наук, 1977, т. 122, вып. 3, с. 369.

Издательство МИР предлагает:

РАДИАЦИЯ. ДОЗЫ, ЭФФЕКТЫ, РИСК

Перевод с английского

Книга представляет собой обзор данных, собранных Научным Комитетом по изучению эффектов атомной радиации при ООН за 30 лет его деятельности. Рассмотрены вопросы влияния радиации на жизнедеятельность, предельно допустимые дозы, а также наблюдаемые уровни радиоактивности в окружающей среде и продуктах питания (по отдельным регионам).

Книга рассчитана на широкий круг читателей.

1988, 4 л. Цена 30 к.

М. Харуэлл, Т. Хатчинсон ПОСЛЕДСТВИЯ ЯДЕРНОЙ ВОЙНЫ. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЭКОЛОГИЮ И СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Перевод с английского

Книга американских авторов представляет собой 2-й том сборника «Последствия ядерной войны для окружающей среды», изданного международным Научным комитетом по проблемам окружающей среды (SOPE). Приводятся прогностические данные, характеризующие природные экосистемы, сельское хозяйство и обеспечение человечества продовольствием после ядерной войны.

Для специалистов по экологическому прогнозированию, а также широкого круга биологов, медиков, агрономов.

1988, 34 л. Цена 5 р.



РОДОСЛОВНАЯ БОЛЬШОЙ ПАНДЫ

THE GIANT PANDA: A MORPHOLOGICAL STUDY OF EVOLUTIONARY MECHANISMS. Dwight D. Davis in *Feldiana: Zoology Memoirs*, Vol. 3; 1964.

ON THE TAXONOMIC AND PHYLOGENETIC POSITION OF THE GIANT PANDA *AILUROPODA MELANOLEUCA*. V. E. Thenius in *Saugetierkundliche Mitteilungen*, Vol. 44, pages 286-305; 1979.

A MOLECULAR SOLUTION TO THE RIDDLE OF THE GIANT PANDA'S PHYLOGENY. Stephen J. O'Brien, William G. Nash, David E. Wildt, Mitchell E. Bush and Raoul E. Benveniste in *Nature*, Vol. 317, No. 6033, pages 140-144; September 12, 1985.

ДЕМОНЫ, ДВИГАТЕЛИ И ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

IRREVERSIBILITY AND HEAT GENERATION IN THE COMPUTING PROCESS. R. Landauer in *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 5, No. 3, pages 183-191; July, 1961.

SCIENCE AND INFORMATION THEORY. Leon Brillouin. Academic Press, 1962.

THE THERMODYNAMICS OF COMPUTATION — A REVIEW. Charles H. Bennett in *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 21, No. 12, pages 905-940; December, 1982.

ON THE DECREASE OF ENTROPY IN A THERMODYNAMIC SYSTEM BY THE INTERVENTION OF INTELLIGENT BEINGS. Leo Szilard in *Quantum Theory and Measurement*, edited by John Archibald Wheeler and Wojciech Hubert Zurek. Princeton University Press, 1983.

РАННЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЕ

SETTLEMENT AND ECONOMY IN NEOLITHIC NORTHERN FRANCE. John M. Howell. B. A. R. International Series 157, British Archaeological Reports, 1983.

ANCIENT FRANCE NEOLITHIC SOCIETIES AND THEIR LANDSCAPES, 6000-2000 BC. Edited by Christopher Scarre. Edinburgh University Press [1983?].

Пассек Т. С., Черныш Е. К. ПАМЯТНИКИ КУЛЬТУРЫ ЛИНЕЙНО-ЛЕНТОЧНОЙ КЕРАМИКИ НА ТЕРРИТОРИИ СССР. — М.: Издательство АН СССР, 1963.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЛИВОВ В ИНТЕРЕСАХ ЭНЕРГЕТИКИ

BIOLOGICAL CLOCKS OF THE TIDAL ZONE. John D. Palmer in *Scientific*

American, Vol. 232, No. 2, pages 70-79; February, 1975.

REASSESSMENT OF FUNDY TIDAL POWER. Bay of Fundy Tidal Power Review Board, 1977.

MARINE FORECASTING: PREDICTABILITY AND MODELLING IN OCEAN HYDRODYNAMICS, Edited by Jacques C. J. Nihoul. Elsevier Science Publishing Company, 1979.

НАУКА ВОКРУГ НАС

FINGERING WITH MISCIBLE FLUIDS IN A HELE-SHAW CELL. Lincoln Paterson in *The Physics of Fluids*, Vol. 28, No. 1, pages 26-30; January, 1985.

FRactal GROWTH OF VISCOUS FINGERS: QUANTITATIVE CHARACTERIZATION OF A FLUID INSTABILITY PHENOMENON. Johann Nittmann, Gerard Daccord and H. Eugene Stanley in *Nature*, Vol. 314, No. 6007, pages 141-144; March 14, 1985.

THE NONLINEAR GROWTH OF A GRAVITATIONALLY UNSTABLE INTERFACE IN A HELE-SHAW CELL. T. Maxworthy in *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 177, pages 207-232, April, 1987.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

THE BEAUTY OF FRACTALS. Heinz-Otto Peitgen and Peter H. Richter. Springer-Verlag, 1986.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 21.12.87.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,50 бум. л.

Усл.-печ. л. 13,00.

Уч.-изд. л. 15,68.

Усл. кр.-отт. 54,36.

Изд. № 25/6059. Заказ 809.

Тираж 24580 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в Межиздательском

фотонаборном центре

издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Государственного комитета СССР

по делам издательств,

полиграфии и книжной торговли.

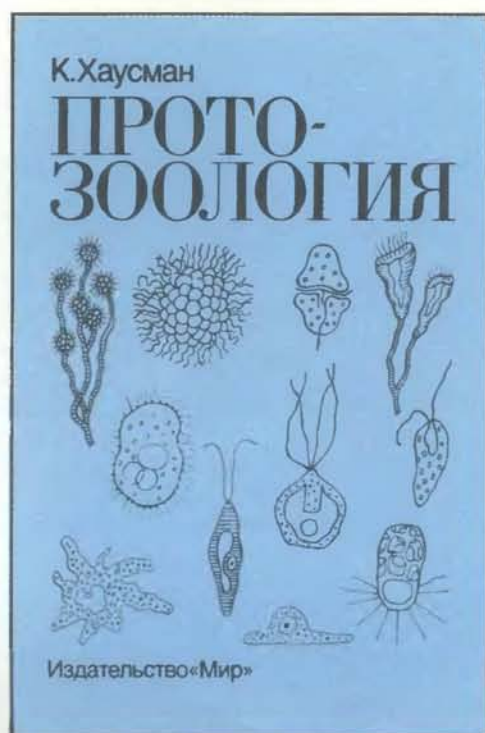
127576, Москва, Илимская, 7



Издательство МИР предлагает:

К. Хаусман
ПРОТОЗООЛОГИЯ

Перевод с немецкого



Книга представляет собой компактный, хорошо иллюстрированный учебник по зоологии простейших.

Следует отметить очень четкое изложение материала и современный уровень книги, в которой нашли отражение многие вопросы, ставшие предметом изучения в самые последние годы. В отечественной литературе аналогов этого учебника нет.

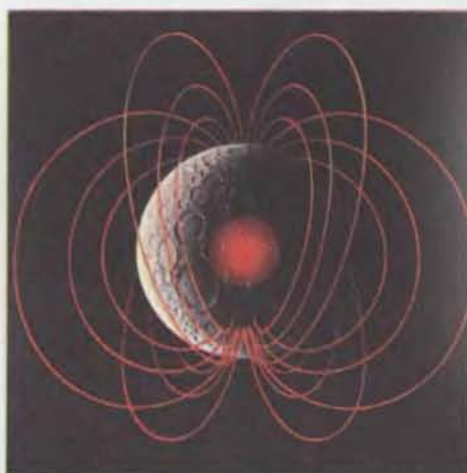
Содержание: Организация клеток простейших. Систематика. Эволюция. Органеллы простейших. Подвижность. Питание. Морфогенез и размножение. Поведение. Экология. Методы сбора и культивирования. Ключ к определению пресноводных простейших. Словарь терминов.

Для студентов-зоологов старших курсов, специалистов-биологов, врачей и ветеринаров.

1988, 22 л. Цена 1 р. 80 к.



В следующем номере:



ДРЕВНЕЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЛУНЫ

ТЕХНОЛОГИЯ СЕРВИСА В США

КАК ДВИЖУТСЯ КЛЕТКИ ЖИВОТНЫХ

КОСМИЧЕСКИЕ СТРУНЫ

КОЛЛЕКТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ
В НЕЙРОНОПОДОБНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМАХ

УХАЖИВАНИЕ У ОДНОПОЛЫХ ЯЩЕРИЦ

РАЗРУШЕНИЕ СТЕКЛА

«УОРРИОР» — КОРАБЛЬ
АНГЛИЙСКИХ ВОЕННО-МОРСКИХ СИЛ

КАК ИСКРИТ ЛИПКАЯ ЛЕНТА

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ «ЖИВЫХ» СЦЕН
НА ЭКРАНЕ ДИСПЛЕЯ:
ЗАДАЧИ ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ ПРОГРАММИСТОВ