

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Май **5** 1986

СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ
СУПЕРКОЛЛАЙДЕР

Вниманию читателей!

Иллюстрированный журнал

В МИРЕ НАУКИ

издается в СССР с 1983 года.

Представляет собой издание на русском языке журнала

SCIENTIFIC AMERICAN,

выходящего в США с 1845 года

Журнал освещает новейшие достижения науки в области фундаментальных исследований и их практических приложений.

Авторы статей, ведущие ученые разных стран, в том числе и СССР, знакомят читателей с последними результатами работ по астрофизике и ядерной физике, молекулярной биологии и зоологии, вычислительной технике и промышленной технологии, геологии и геофизике, археологии, медицине, истории и психологии. Каждый номер журнала содержит восемь разнообразных по тематике статей, написанных профессионально и увлекательно.

Строго научный подход к проблеме сочетается с доступностью изложения и позволяет неспециалисту познакомиться с новейшими гипотезами, моделями и открытиями. Большую помощь в этом оказывают многочисленные красочные иллюстрации.

В журнале имеются и постоянные рубрики:

«Занимательный компьютер»

— математические игры с помощью ЭВМ;

«Наука вокруг нас»

— взгляд физика на любопытные физические явления в повседневной жизни;

«Наука и общество»

— заметки о научных открытиях и о роли науки в обществе;

«50 и 100 лет назад»

— по страницам старых номеров журнала;

«Книги»

— остроумные и обстоятельные рецензии на книги, издаваемые за рубежом.

Журнал «В МИРЕ НАУКИ» выходит

ежемесячно. Цена номера — 2 руб.

Подписка принимается без ограничений — на квартал, полгода и год.

Индекс журнала 91310

по «Каталогу газет и журналов зарубежных стран»,
раздел «Переводные научные и научно-технические журналы».

Адрес редакции:

129820 Москва, И-110, ГСП 1-й Рижский пер., 2.

Издательство «Мир», редакция журнала «В мире науки»,

телефон: 286-25-88



Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 5 · МАЙ 1986

В номере:

СТАТЬИ

- 4 Проблемы ядерной энергетики США *Ричард К. Лестер*
Одна из стратегий, которая смогла бы вывести ядерную энергетику США из тупика, — это создание менее мощных, централизованно изготовляемых и безопасных ядерных реакторов нового поколения
(Scientific American, March 1986, Vol. 254, No. 3)
- 16 Хвост магнитосферы Земли *Эдвард В. Хоунс-младший*
Солнечный ветер вытягивает магнитное поле Земли, и за ней образуется гигантский магнитный хвост. Он может разрываться, и тогда на Земле генерируются яркие полярные сияния, а в межпланетное пространство выталкиваются громадные «куски» замагниченной плазмы
(Scientific American, March 1986, Vol. 254, No. 3)
- 26 Молекулярная генетика гемофилии *Ричард М. Лон, Гордон А. Вихар*
Причина гемофилии — дефект гена, кодирующего ключевой белок системы свертывания крови. Этот белок удалось получить искусственно, выделив нормальный ген и введя его в клетки, растущие в культуре
(Scientific American, March 1986, Vol. 254, No. 3)
- 36 Сверхпроводящий суперколлайдер *Дж. Дэвид Джексон, Мори Тигнер, Стэнли Войццики*
К 1995 г. может быть построен ускоритель, который будет в 20 раз мощнее любого из ныне действующих. Тогда у ученых появится возможность исследовать неведомые пока детали строения вещества и воссоздать условия, характерные для начальных стадий образования Вселенной
(Scientific American, March 1986, Vol. 254, No. 3)
- 50 Компьютер моделирует эволюцию растений *Карл Дж. Никлас*
Компьютеры — эффективное средство проверки статистических по своей природе гипотез эволюционной биологии. С помощью персонального компьютера смоделированы основные направления эволюции растений
(Scientific American, March 1986, Vol. 254, No. 3)
- 60 Воображение и зрительная система *Рональд А. Финке*
Какова связь между воображением и зрительным восприятием? Современные исследования позволяют предположить, что в зрительной системе человека они могут обеспечиваться одними и теми же нейронными механизмами
(Scientific American, March 1986, Vol. 254, No. 3)
- 68 Хранение зерна в Ассиросе *Глинис Джоунз, Кеннет Уордл, Пол Холстед, Диана Уордл*
При раскопках древнего поселения на севере Греции были обнаружены остатки обуглившихся зерен из зернохранилищ, сгоревших 3000 лет назад. Эти находки дают новые сведения о том, как возникли величественные микенские дворцы эпохи бронзы
(Scientific American, March 1986, Vol. 254, No. 3)
- 76 Спортивная одежда и обувь *Честер Р. Кайл*
Повышенное внимание к проектированию спортивного снаряжения способствовало завоеванию новых рекордов в скоростных видах спорта, повышению безопасности и улучшению результатов в других видах спортивных состязаний
(Scientific American, March, 1986, Vol. 254, No. 3)

РУБРИКИ

- 3 Об авторах
15 50 и 100 лет назад
34, 49, 59, 102 Наука и общество
84 Наука вокруг нас
90 Занимательный компьютер
95 Книги
103 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
PRESIDENT AND EDITOR
BOARD OF EDITORS

Philip Morrison
BOOK EDITOR

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

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR
Richard Sasso
PRODUCTION MANAGER

George S. Conn
GENERAL MANAGER

Gerard Piel
CHAIRMAN

© 1986 by Scientific American, Inc.

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

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

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

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
И. В. Лунёва

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА
Г. С. Азимов

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Т. К. Такташова

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

ОФОРМЛЕНИЕ РУССКОГО ИЗДАНИЯ
М. Г. Жуков

ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ
В. В. Ефимов

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

ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ
286.2588

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

На обложке



СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ СУПЕРКОЛЛАЙДЕР

На обложке представлено смоделированное на компьютере изображение магнитного поля, которое должно создаваться внутри сверхпроводящего магнита в новом проектируемом ускорителе SSC (см. статью Дж. Дэвида Джексона, Мори Тигнера и Стэнли Войчицки «Сверхпроводящий суперколлайдер» на с. 36). Если сооружение ускорителя будет одобрено, SSC станет самым большим в мире ускорителем элементарных частиц. Он позволит физикам исследовать строение вещества на не достижимых ранее уровнях энергии и расстояний. Сверхпроводящие магниты — ключевой элемент установки. Они заставят пучки протонов вращаться по окружности длиной примерно 84 км навстречу друг другу и сфокусируют встречные пучки перед столкновением. Цветом показана интенсивность магнитного поля одного из отклоняющих магнитов. Таким оно могло бы «выглядеть» для протона, летящего в отклоняющей трубе. Протоны проходят через центральную (голубую) часть диаметром около 4 см, где напряженность поля максимальна и где оно наиболее однородно. Напряженность поля в магнитных катушках, окружающих трубу с пучком, быстро меняется от точки к точке (голубой, белый, фиолетовый цвета) и уменьшается в железном ярме магнита, окружающем катушку (оранжевый, коричневый цвета). Снаружи поле практически равно нулю (не показано). Изображение получено с помощью компьютерной программы POISSON, разработанной Ш. Каспи и М. Хелмом из Лаборатории Лоуренса в Беркли.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Shlomo Caspi, Michael Helm

| СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК | СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК |
|---|---|
| 5-12 Ilil Arbel | 69 Kenneth A. Wardle, University of Birmingham |
| 17 Robert H. Eather, Boston College | 70-74 Tom Prentiss |
| 18-23 Ian Worpole | 77 Jon Brenneis |
| 27 Jon C. Lewis, Bowman Gray School of Medicine, Wake Forest University | 78 Hank Iken, Walken Graphics |
| 28-33 Alan D. Iselin | 79 Peter R. Cavanagh, Pennsylvania State University |
| 37 James Kilkelly | 80 Hank Iken, Walken Graphics |
| 38-46 Gabor Kiss | 81 Jon Brenneis |
| 51, 52 James Kilkelly | 82 Hank Iken, Walken Graphics |
| 53 Andrew Christie | 85-88 Michael Goodman |
| 54-55 Patricia J. Wynne | 90-93 Edward Bell |
| 56 Andrew Christie | |
| 61 Stephen Cass | |
| 62-66 Jerome Kuhl | |

Об авторах

Richard K. Lester (РИЧАРД К. ЛЕСТЕР «Проблемы ядерной энергетики США») — доцент кафедры ядерно-энергетической техники в Массачусетском технологическом институте. Родился в Англии, окончил Имперский колледж науки и техники в Лондоне. В 1974 г. приехал в США, где в качестве стипендиата премии Кеннеди обучался в аспирантуре МТИ. Оставив в 1977 г. МТИ, в течение полутора лет работал приглашенным научным сотрудником в Отделении международных связей Рокфеллеровского фонда. В 1979 г., получив степень доктора философии в МТИ, Лестер стал ассистентом этого института, а затем в 1982 г. — доцентом. Многие публикации Лестера посвящены вопросам развития ядерной энергетики в мире.

Edward W. Hones, Jr. (ЭДВАРД В. ХОУНС-младший «Хвост магнитосферы Земли») — геофизик в Лос-Аламосской национальной лаборатории. Степени бакалавра в области инженерных наук, магистра и доктора философии в области физики получил в Университете Дьюка. Хоунс занимался исследованиями по космической физике в Convair Corporation, Институте оборонного анализа и в Университете шт. Айова. С 1965 г. работает в Лос-Аламосской национальной лаборатории. Научные интересы Хоунса помимо космической физики связаны с космологией и лабораторной физикой плазмы.

Richard M. Lawn, Gordon A. Vohar (РИЧАРД М. ЛОН, ГОРДОН А. ВИХАР «Молекулярная генетика гемофилии») — старшие научные сотрудники в фирме Genentech, Inc. Лон окончил в 1969 г. Гарвардский колледж с дипломом по астрономии, однако заинтересовался молекулярной биологией и в 1977 г. в Колорадском университете в Боулдере получил докторскую степень в этой области. Вел научно-исследовательскую работу в Калифорнийском технологическом институте, а с 1980 г. работает в Genentech. Вихар получил степень бакалавра в Университете шт. Огайо в Боулинг-Грин в 1970 г. В 1976 г. Университет в Цинциннати присвоил ему степень доктора философии, после чего он работал на кафедре биохимии Вашингтонского университета, где и начал заниматься антигемофильским фактором. С 1980 г. сотрудник Genentech.

J. David Jackson, Maury Tigner, Stanley Wojcicki (Дж. ДЭВИД ДЖЕК-

СОН, МОРИ ТИГНЕР, СТЭНЛИ ВОЙЧИЦКИ «Сверхпроводящий суперколлайдер») — члены Центральной проектной группы, организованной для проектирования ускорителя SSC. Джексон — заместитель директора группы, профессор физики Калифорнийского университета в Беркли. Степень бакалавра в области физики и математики получил в 1946 г. в Университете пров. Западного Онтарио (Канада), а степень доктора философии в области физики — в 1949 г. в Массачусетском технологическом институте. Он преподавал в Университете Мак-Гилла и Иллинойском университете в Эрбана-Шампейн. В 1967 г. перешел работать в Беркли. Тигнер — директор Центральной проектной группы, профессор физики Корнеллского университета. Степень бакалавра получил в 1958 г. в Политехническом институте в Ренселере (шт. Нью-Йорк), а степень доктора философии в области экспериментальной физики и электротехники — в 1962 г. в Корнеллском университете. Участвовал в проектировании, сооружении и эксплуатации ускорителей элементарных частиц как в США, так и в Европе. Войчицки — декан физического факультета Станфордского университета. Поляк по происхождению, он получил степень бакалавра в 1957 г. в Гарвардском университете и докторскую степень в 1961 г. в Калифорнийском университете в Беркли. В 1966 г. стал сотрудником Станфордского университета. Войчицки — заместитель директора Центральной проектной группы.

Karl J. Niklas (КАРЛ ДЖ. НИКЛАС «Компьютер моделирует эволюцию растений») — доцент кафедры биологии растений, а также кафедры экологии и эволюции Корнеллского университета. В Сити-Колледже Нью-Йоркского городского университета получил степень бакалавра по биологии и математике, в Иллинойском университете в Эрбана-Шампейн стал магистром и в 1974 г. доктором философии. Как стипендиат фонда Фулбрайта — Хэйеса посещал Лондонский университет. В 1975 г. занял должность хранителя в Нью-Йоркском ботаническом саду. С 1978 г. сотрудник Корнеллского университета.

Ronald A. Finke (РОНАЛЬД А. ФИНКЕ «Воображение и зрительная система») — доцент кафедры психологии Университета шт. Нью-Йорк в Стони-Бруке. В Техасском университете в Остине получил степень ба-

калавра по физике (1972 г.) и бакалавра по психологии (1974 г.). Докторскую диссертацию по психологии защитил в Массачусетском технологическом институте в 1979 г. Работал в Корнеллском и Станфордском университетах; в 1981 г. получил должность доцента в Калифорнийском университете в Дейвисе. С 1983 г. Финке сотрудник Университета в Стони-Бруке.

Glynis Jones, Kenneth Wardle, Paul Halstead, Diana Wardle (ГЛИНИС ДЖОУНЗ, КЕННЕТ УОРДЛ, ПОЛ ХОЛСТЕД, ДИАНА УОРДЛ «Хранение зерна в Ассиросе») — исследователи, участвующие в раскопках поселения бронзового века в Ассиросе. Г. Джоунз специализируется в изучении остатков растений; преподает на кафедре археологии в Шеффилдском университете (Англия). Изучала зоологию в Уэльском университете, где в 1971 г. получила степень бакалавра. Работала в археологической лаборатории в Афинах; продолжила исследование в области археологии в Кембриджском университете, который в 1978 г. присудил ей степень магистра и в 1983 г. — доктора наук. К. Уордл, руководитель раскопок, преподает на кафедре древней истории и археологии в Бирмингемском университете. Обучался в Кембриджском университете и Лондонском университете, присудившем ему степень доктора философии в области археологии. Холстед, специализирующийся в изучении остатков животных, преподает в Шеффилдском университете. Исследовательской работой начал заниматься в Кембриджском университете, где в 1973 г. ему была присуждена степень бакалавра, а в 1984 г. — степень доктора философии. Д. Уордл занимается изучением предметов культуры, обнаруженных в Ассиросе.

Chester R. Kyle (ЧЕСТЕР Р. КАЙЛ «Спортивная одежда и обувь») — консультант по спортивному снаряжению, доцент факультета механики Калифорнийского университета в Лонг-Биче. Степень бакалавра в области механики Кайл получил в Аризонском университете, а степени магистра и доктора философии в области технических наук — в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе. Возглавлял группу специалистов, разрабатывавших конструкцию велосипедов, которые использовали американские велогонщики на Олимпийских играх 1984 г. Кайл — один из основателей и бывший президент Международной ассоциации развития средств передвижения, использующих мускульную силу человека.

Проблемы ядерной энергетики США

Одна из стратегий, которая смогла бы вывести ядерную энергетику США из тупика, — это создание менее мощных, централизованно изготовляемых и безопасных ядерных реакторов нового поколения

РИЧАРД К. ЛЕСТЕР

ЯДЕРНЫЕ реакторы в настоящее время производят около 15% всей потребляемой в мире электроэнергии. Такие страны, как Франция, ФРГ и Япония, в которых уже сейчас значительная часть электроэнергии вырабатывается атомными электростанциями (АЭС), планируют дальнейшее развитие ядерной энергетики. То же наблюдается и в большинстве стран Восточной Европы и некоторых развивающихся странах. Что же касается Соединенных Штатов Америки, то в этой стране производство электроэнергии атомными электростанциями не увеличивается. И это несмотря на то, что в США сейчас находится самое большое число легководяных реакторов (ЛВР), которые впервые были разработаны в этой стране и на которые в настоящее время приходится большая часть электроэнергии, вырабатываемой атомными электростанциями всего мира. Американские электрокомпании, которые в начале 70-х годов активно взялись за реализацию большого числа проектов по расширению сети АЭС, десятилетие спустя отказались от идеи их строительства. Сегодня, несмотря на очевидную потребность в увеличении производства электроэнергии, ядерную энергию нельзя даже рассматривать, как ее назвал прежний президент Дж. Картер, в качестве «последней надежды». Для электрокомпаний она сейчас вовсе не является надеждой.

То, что идея практического использования ядерной энергии вполне реализуема, подтверждается примерами успешного осуществления ряда проектов за рубежом и многих проектов в самих США. Кроме того, хотя и существуют другие доступные источники энергии и ведутся разработки нескольких новых перспективных («неядерных») способов получения энергии, отказ от атомных электростан-

ций мог бы отрицательно повлиять на энергообеспечение страны и окружающую среду.

Пока еще богатые запасы нефти и газа со временем истощатся, и стоимость этих видов топлива будет расти. Добиться «чистого» сгорания угля представляет собой непростую задачу: контроль за выпадением кислотных дождей и за содержанием других побочных продуктов сгорания угля, которые сейчас наносят серьезный вред окружающей среде, обойдется очень дорого, а в будущем диоксид углерода, образующийся при сгорании природного топлива, может стать причиной заметных неблагоприятных изменений климата на всем земном шаре. Возможность преобразования солнечной энергии в электрическую в количествах, сравнимых с ее производством другими способами, за исключением случаев, когда преследовались узкоспециальные цели, пока еще не была продемонстрирована.

С учетом сказанного отказ от атомных электростанций был бы неразумным шагом. В США, однако, эта отрасль энергетики стоит перед столь серьезными проблемами, что новый этап в ее развитии вряд ли может наметиться, если не будут произведены коренные изменения как в организации самой отрасли, так и в ее технологии. Произвести эти изменения будет трудно. Как ни парадоксально, но стоящие сейчас перед ядерной энергетикой трудности и усматриваемые с современных позиций ее мрачные перспективы сами заключают в себе положительный импульс: нынешнее состояние отрасли заставляет пересмотреть сделанные в прошлом упущения и изучить новые инициативы. Какие шаги смогли бы коренным образом изменить положение в ядерной энергетике и какова готовность правительства и промышленных компаний предпринять их?

ПРИНЯТО считать, что частичное расплавление ядерного реактора в Три-Майл-Айленде (шт. Пенсильвания) в 1979 г. явилось поворотным пунктом в истории ядерной энергетики. Как повлияла эта авария на здоровье людей, определить не удалось, однако сам факт, что она произошла и что администрация часто допускает упущения, чреватые трагическими последствиями, заставил многих усомниться в безопасности ядерных реакторов. Более того, почти полностью подорвав финансовую жизнеспособность компании, владеющей реактором в Три-Майл-Айленде, авария значительно повысила «чувствительность» электрокомпаний к риску, связанному с капиталовложениями в ядерную энергетику.

Существовало немало основательных причин, по которым интерес электрокомпаний к атомным электростанциям начал падать еще задолго до этой аварии.

Электростанции, мощность которых составляет примерно 1000 МВт, дороги и имеют большие размеры. Система экономического регулирования, которая распространяется на электрокомпании, еще недавно была такой, что не поощряла капиталовложения в строительство крупных электростанций любого вида. Частные электрокомпании вырабатывают почти 80% всей производимой в стране электроэнергии, и комиссии штатов по коммунальному обслуживанию, а также Федеральная комиссия по контролю за производством электроэнергии контролируют величину их прибыли на инвестированный капитал путем регулирования тарифных ставок. Система регулирования предоставляет исключительные льготы тем энергопредприятиям, которым она предписывает снабжать электроэнергией всех потребителей при умеренной ее себестоимости, например, им разрешается назначать такие це-

ны, которые позволяют их акционерам получать неплохие прибыли.

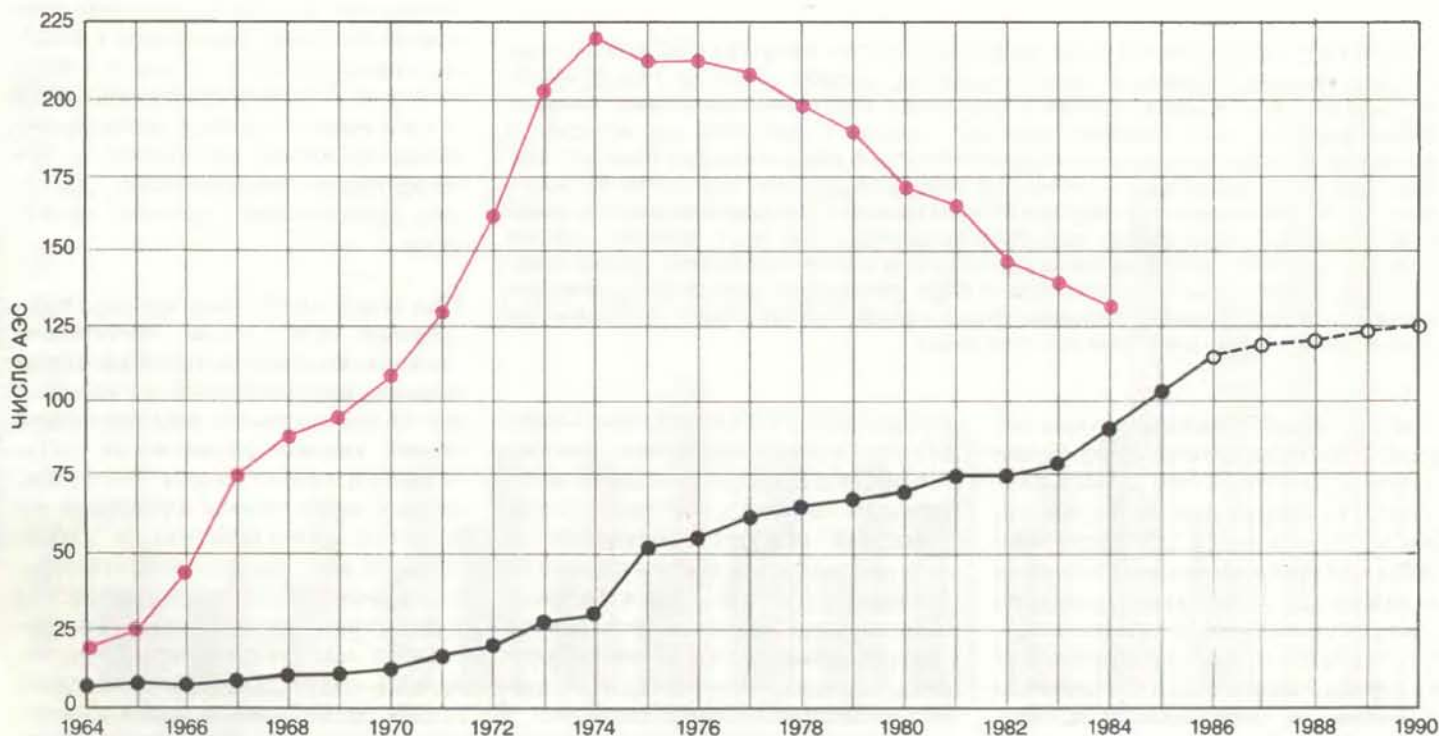
В течение многих лет, когда цены на электроэнергию (в постоянных долларах) неизменно падали, эта система регулирования была достаточно эффективной. Однако в начале 70-х годов, когда себестоимость энергии, вырабатываемой новыми электростанциями, стала превосходить установившуюся до этого среднюю цену на электроэнергию, возросло давление со стороны потребителей и отношения между электрокомпаниями и органами контроля за производством электроэнергии обострились. По свидетельству этих электрокомпаний рост доходов часто отстает от роста цен. В последнее время все большее число местных комиссий стало отказываться от предоставления возможности электрокомпаниям возмещать свои расходы, связанные со строительством объектов, которые стали вдруг считать ненужными или недостаточно надежными. (Многие из этих объектов являются атомными электростанциями.) Такой ход событий лишил вкладчиков уверенности и привел к тому, что большинство электрокомпаний избегают строить новые крупные электростанции любого вида.

МНОГИЕ другие факторы, послужившие причиной застоя в развитии ядерной энергетики в США, связаны со спецификой этой отрасли. Отсутствие до сих пор средств, позволяющих избавляться от радиоактивных отходов, сдерживает электрокомпания от того, чтобы делать заказы на новые реакторы, и установленный конгрессом срок по территориальному размещению мест захоронения высоко- и низкоактивных отходов продолжает сдвигаться. Кроме того, за исключением нескольких случаев, производительность атомных электростанций оказалась значительно ниже ожидаемой. Среднегодовой показатель эффективности работы станций (отношение электроэнергии, выработанной за год, к максимальной расчетной, выраженное в процентах) за последние несколько лет снизился до уровня менее 60%, что значительно ниже, чем во многих других странах, в том числе в Японии, Швеции, Швейцарии и ФРГ.

Главная причина, по которой электрокомпания считают ядерную энергетику неперспективной, заключается в том, что строительство АЭС, по видимому, будет обходиться очень дорого. Расходы на сооружение 22 АЭС, введенных в эксплуатацию в пе-

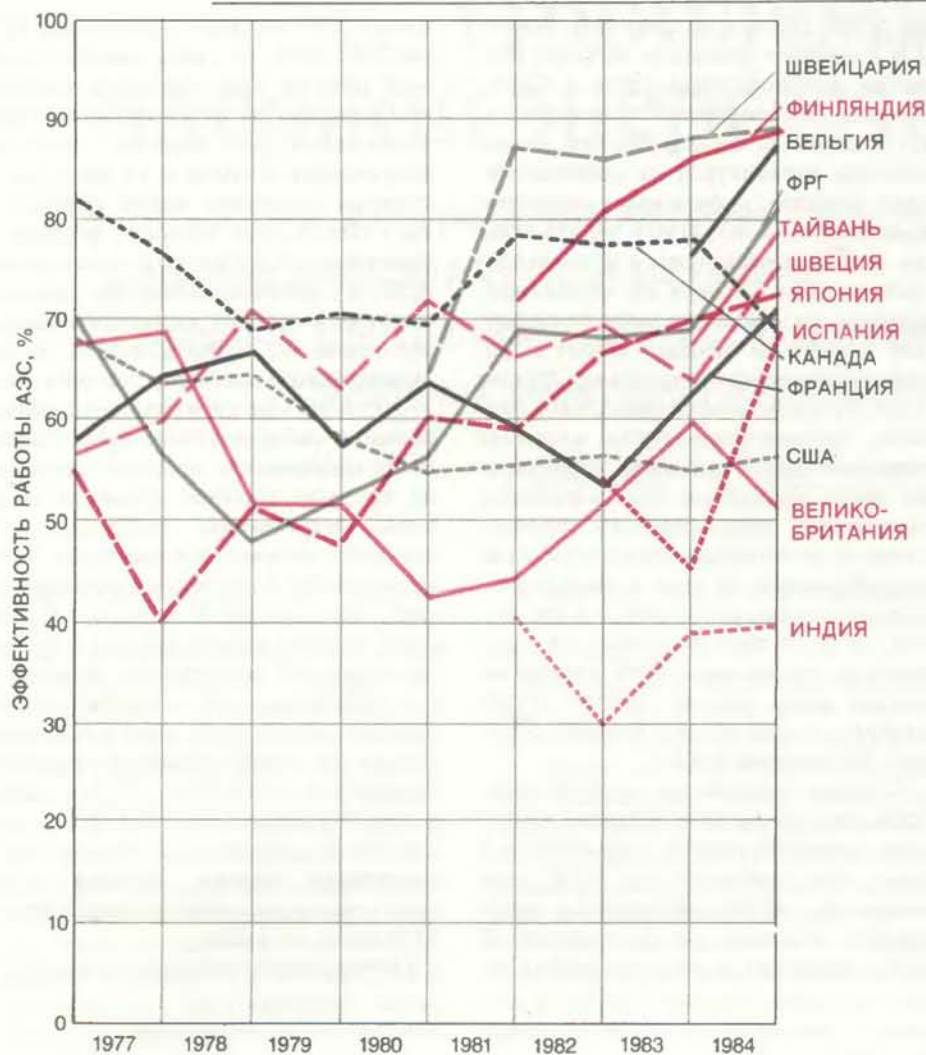
риод с 1983 по 1985 г., составили около 2300 долл. на 1 кВт вырабатываемой энергии. Для сравнения укажем, что расходы на строительство электростанций на твердом топливе, вступивших в строй в те же годы, в среднем составили менее 1000 долл. на 1 кВт. Столь большая разница в капитальных затратах на сооружение АЭС и электростанций на твердом топливе не может компенсироваться выгодами от использования более экономичного ядерного топлива и поэтому АЭС уже утратили свои традиционные экономические преимущества по сравнению с электростанциями на твердом топливе. Конечно, имеются исключения: стоимость нескольких недавно построенных АЭС сопоставима с затратами на сооружение электростанций на твердом топливе. Однако мнение владельцев электрокомпаний, как правило, формируют типичные, а не исключительные случаи; данные же о новых АЭС выглядят все менее привлекательными. Ожидается, что в 1986 г. будут сданы в эксплуатацию еще 10 АЭС и, как следует из результатов недавно произведенной оценки, средняя стоимость их сооружения составит более 3100 долл. на 1 кВт.

Почему же строительство атомных



ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ядерной энергетики в США характеризуется изменением числа заказанных, но непостроенных (цветная кривая) и ежегодно вводимых в строй (черная кривая) атомных электростанций в период с 1964 по 1985 г. С начала 70-х годов, когда число заказов на проектирование АЭС было максимальным, лишь некоторые энергопредприятия (электрокомпания) решили построить но-

вые (в дополнение к уже имеющимся) электростанции, многие же отказались от своих прежних заказов. (Заказ на самую лучшую станцию, не снятый впоследствии, был реализован в 1973 г.) Тем не менее число действующих электростанций постоянно росло. Данные о количестве действующих электростанций на 1986 и последующие годы (кружочки) получены путем экстраполяции.



СРЕДНЕГОДОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АЭС в различных странах, равные отношению электроэнергии, выработанной за год, к максимальной расчетной, выраженному в процентах. Причины относительно низкой эффективности использования ядерной энергии в США пока еще не ясны; в какой-то мере это объясняется раздробленностью ядерной энергетики, что препятствует использованию технической информации, которая могла бы повысить эту эффективность, и недостаточным уровнем стандартизации в ядерной энергетике. Финансируемый электрокомпаниями Институт анализа работы атомных электростанций начал играть важную роль в повышении уровня координации, и некоторые из реакторов в США постепенно достигли производительности выше среднего значения этого показателя по стране, очевидно, за счет лучшего управления электростанциями.

электростанций стало обходиться так дорого? Одна из причин — увеличение сроков строительства: продолжительность сооружения АЭС, введенных в действие в период между 1983 и 1985 гг., в среднем составила 10 лет, в то время как строительство каждой электростанции на твердом топливе, вступившей в строй примерно в тот же период, заняло 5 лет. Во Франции и Японии на сооружение АЭС примерно такой же мощности, эксплуатация которых началась в те же годы, ушло 5—6 лет. Увеличение сроков строительства в последние годы одновременно сопровождалось высоким уровнем инфляции и процентных ставок. Даже в нынешних более благоприятных экономических условиях,

если в одно и то же время начать строительство двух одинаковых электростанций и одна будет построена за 5, а другая — за 10 лет, то строительство последней обойдется примерно на 40% дороже, и это исключительно по причине роста инфляции и финансовых затрат. Многие специалисты пришли к выводу, что снижение сроков строительства является первоочередной задачей в данной отрасли.

Влияние роста издержек на материалы, оборудование и рабочую силу на общую стоимость сооружения электростанции признается не всеми. Однако, так или иначе, эти прямые затраты (в долларах на 1 кВт вырабатываемой энергии) в течение последнего десятилетия ежегодно увеличи-

вались на 8%. Даже если бы строительство АЭС осуществлялось в относительно короткие сроки, то еще не ясно, могли бы они конкурировать с электростанциями на твердом топливе. Кроме того, единственные две АЭС, построенные недавно в США менее чем за 7 лет, указывают на то, что быстрое сооружение таких станций не гарантирует их низкую стоимость: например, электростанция, построенная в Ривер-Бенде (шт. Луизиана), является одной из самых дорогих, когда-либо построенных. Отсюда ясно, что для восстановления экономической жизнеспособности АЭС потребуются дополнительные меры, а не просто снижение сроков их строительства.

Что послужило причиной быстрого роста прямых затрат на строительство АЭС? В наибольшей степени — потребности в рабочей силе. По результатам недавно сделанных оценок средняя потребность в квалифицированных рабочих для сооружения объектов ядерной энергетики, измеренная в человеко-часах на 1 кВт вырабатываемой мощности, выросла с начала 70-х годов в 4 раза, а потребность в инженерно-техническом персонале — более чем в 10 раз. Затраты на обеспечение кадрами обеих этих категорий в настоящее время составляют 2/3 всех прямых затрат на строительство АЭС. Увеличение потребности в рабочей силе, возможно, частично объясняется общим снижением в США производительности труда в строительстве. В более широком масштабе эта тенденция отражает прочную взаимосвязь научно-технических и организационно-экономических факторов, действующих в ядерной энергетике.

ЗА ПОСЛЕДНЕЕ десятилетие технология АЭС стала значительно сложнее. Во многом это объясняется мерами, направленными на повышение их безопасности: введение новых правил техники безопасности, вступивших в силу с начала 70-х годов, оказало существенное влияние на все аспекты проектирования и строительства электростанций. В этих объектах увеличилось количество систем и различных узлов и повысились требования к их разработке и сооружению, а нормативная документация стала соответственно более объемистой. Более того, Комиссия по ядерному регулированию предъявила «задним числом» много новых требований к электростанциям, которые уже находились в стадии строительства, поэтому пришлось переделывать многие уже завершённые работы.

Вследствие раздробленности струк-

туры ядерной энергетики США она столкнулась со значительными трудностями в освоении все более усложняющейся технологии. Так же, как и при сооружении электростанций, работающих на природном топливе, задача проектирования и технического оснащения АЭС решается силами нескольких организаций: поставщик ядерного реактора несет ответственность за качество самого реактора и другие главные ядерные системы и компоненты, а проектировщик электростанции отвечает за большую часть остального оборудования. Собственно строительство электростанции обычно осуществляет третий подрядчик. Координация деятельности нескольких самостоятельных организаций, каждая из которых имеет свои условия договора и ограниченную компетенцию в технических вопросах, в течение периода, когда происходят быстрые изменения в технике и действующих нормативах, является испытанием деловых способностей даже для самого опытного управляющего проектом.

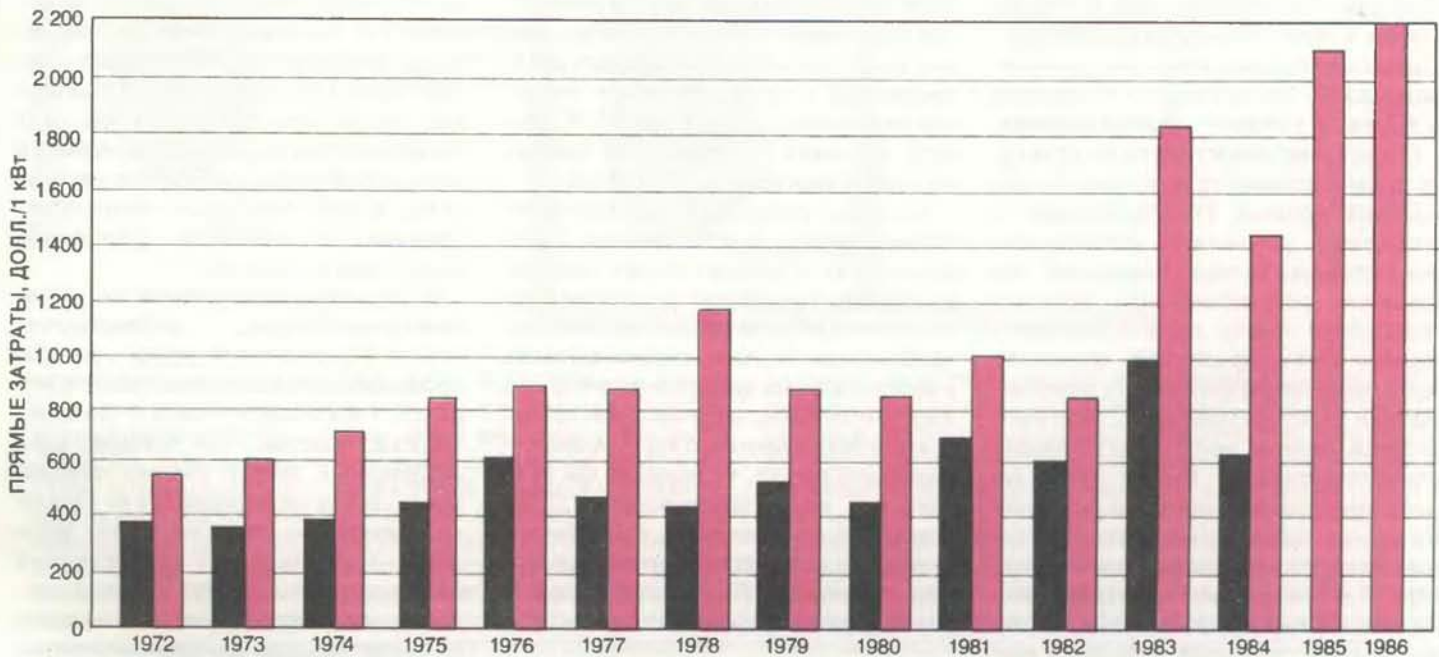
Поскольку вся электроэнергетическая промышленность также раздроблена, то лишь некоторые электростанции оказались способными приобрести необходимый опыт. Ядерно-энергетические программы почти половины из 55 компаний, уже располагающих действующими или

находящимися в стадии строительства АЭС, предусматривают сооружение всего лишь по одной новой станции. Кроме того, предприятие, которое берется за строительство второй АЭС, может не воспользоваться в полной мере своим прежним опытом, так как в большинстве случаев ему приходится работать с другим поставщиком реактора или другим проектировщиком станции. В программе развития ядерной энергетики США принимают участие четыре фирмы, поставляющие реакторы, и 12 фирм, проектирующих электростанции; несколько электрокомпаний разрабатывали проекты своих станций собственными силами. Лишь в редких случаях основные участники программы из той же группы сотрудничали в поочередном строительстве нескольких объектов — обстоятельство, которое в значительной мере замедлило снижение профессиональных знаний.

Различием в опыте, пожалуй, можно в основном объяснить поразительно широкий разброс величины прямых капитальных затрат, связанных со строительством большинства АЭС в последние годы: эти величины (в расчете на 1 кВт электроэнергии) отличались друг от друга более чем в 4 раза. Электростанции, строительство которых обошлось наиболее дешево, сооружены электрокомпаниями, сотрудничавшими с теми

фирмами-поставщиками и проектировщиками АЭС, с которыми они в прошлом уже построили несколько электростанций. АЭС, сооружение которых оказалось самым дорогим, принадлежат предприятиям, впервые строившим эти объекты. АЭС, занимающие промежуточное положение по величине прямых затрат, строились на основе впервые реализованного сотрудничества между электрокомпаниями и поставщиками.

Раздробленность промышленной структуры привела к увеличению прямых затрат потому, что обусловила недостаточный уровень стандартизации в данной отрасли. В самом деле, почти все АЭС существенно отличаются по своей конструкции. Опыт Франции, где энергопредприятия (электрокомпания) и единственный консорциум поставщиков строго проводят политику, предусматривающую строительство серий почти однотипных электростанций, свидетельствует о преимуществах, которые США упустили. Издержки, связанные с разработкой проектов и техническим оснащением, сокращаются, когда они рассредоточены по многим электростанциям. Кроме того, повышаются опыт инженеров и строителей, а следовательно, и производительность их труда, поставщики же могут использовать свои производственные мощности и средства повы-



ПРЯМЫЕ ЗАТРАТЫ НА СТРОИТЕЛЬСТВО электростанций, работающих на твердом топливе (черные колонки), и атомных электростанций (цветные колонки), которые вошли в строй в период с 1972 по 1984 г. Данные приведены в постоянных долларах 1982 г. на 1 кВт вырабатываемой электроэнергии. Удельные затраты на строительство АЭС, введенных в эксплуатацию в 1985 и 1986 гг., даны по результатам предварительных расчетов. Прямые затраты — это по-

казатель, отражающий количество труда и материалов, которое потребовалось на строительство; они не включают издержки на финансирование. Организационные проблемы и многочисленные технические сложности обусловили более высокую величину прямых затрат на строительство АЭС по сравнению с обычными электростанциями на твердом топливе.



СРЕДНИЕ СРОКИ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС в США, введенных в эксплуатацию в период с 1971 по 1986 г., увеличились примерно с 5 до 10 лет и стали почти в два раза выше, чем сроки строительства электростанций на твердом топливе и сроки строительства АЭС во Франции и Японии. Увеличение этого показателя привело к значительному удорожанию строительства АЭС, и они стали нерентабельными в условиях роста процентных ставок и уровня инфляции.

шения квалификации более эффективно. Хотя в США число других отраслей промышленности, столь же «монолитных», как ядерная энергетика во Франции, невелико, ни одна из них не близка к той степени раздробленности, которая характерна как для индивидуальных проектов строительства АЭС, так и для всей отрасли в целом.

Отсутствие целостности в структуре промышленности и недостаточно высокий уровень стандартизации в технологии усложняют решение задач, стоящих перед Комиссией по ядерному регулированию, которой приходится иметь дело с большим числом электрокомпаний, имеющих различные возможности, и с действующими электростанциями, отличающимися своими эксплуатационными характеристиками. Кроме того, немало внутренних проблем у самой Комиссии, которые коренятся в ее несовершенной организационной структуре. Действительно, несколько независимых комитетов, включая комитет Кемени, который занимался исследованием причин аварии в Три-Майл-Айленде, пришли к выводу, что эта организация в том виде, в каком она существует теперь, вряд ли может быть эффективной. Испытываемые ею внутренние проблемы содействовали тому, что лицензионный контроль осуществлялся произволь-

но и непоследовательно, что привело к увеличению финансовой неопределенности и затратам на строительство АЭС. Официальные представители промышленных кругов неоднократно заявляли, что до тех пор, пока не будет уменьшен финансовый риск, связанный с представлением лицензий на строительство новых АЭС, нечего и думать о дальнейших заказах на строительство этих объектов.

Если бы группе опытных конструкторов, хорошо осведомленных о возможностях и предпочтениях электрокомпаний, тенденциях в системе нормативов и общественном мнении, потребовалось сегодня спроектировать с самого начала ядерный реактор для электростанции, отвечающий требованиям американского электроэнергетического рынка, то походил бы этот реактор на существующие ЛВР? Сходство, по-видимому, было бы небольшим: новая конструкция, вероятно, отличалась бы от современных реакторов по трем аспектам.

ВО-ПЕРВЫХ, мощность такого нового реактора будет значительно ниже 1000 МВт — мощности, типичной для современных ядерных реакторов. Электрокомпании строили крупные энергетические объекты в надежде обеспечить экономию за счет увеличения единичной мощности

энергоблоков. Результаты оказались недоказательными, и на основании некоторых проведенных недавно исследований можно предположить, что строительство АЭС с энергоблоками мощностью более 800 МВт может обойтись дороже, чем достигаемая при этом экономия. Большие электростанции также имеют очевидный экономический недостаток: когда электрокомпании решают строить одну большую электростанцию, отпадает необходимость в поочередном сооружении нескольких станций меньшей мощности и тем самым исключается возможность получить определенные выгоды за счет использования накопленного опыта.

Действующая в настоящее время система экономического регулирования не стимулирует инвестирование капитала в строительство крупных, капиталоемких электростанций. Кроме того, большинство электрокомпаний в США очень малы и развиваются слишком медленно, чтобы без особых усилий выделять средства на строительство электростанций с энергоблоками мощностью 1000 МВт.

Такие электростанции затрудняют достижение соответствия между темпами развития электрокомпаний и темпами роста потребности в электроэнергии, особенно теперь, когда последние стали менее предсказуемыми. Теоретически совместное владение большими электростанциями не одной, а несколькими электрокомпаниями могло бы решить эти проблемы. Однако, как показал недавний опыт нескольких случаев такой кооперации, то, что на первый взгляд представляется как путь распределения риска, может привести к его увеличению, особенно в тех случаях, когда отдельные энергопредприятия подчиняются различным комиссиям по надзору.

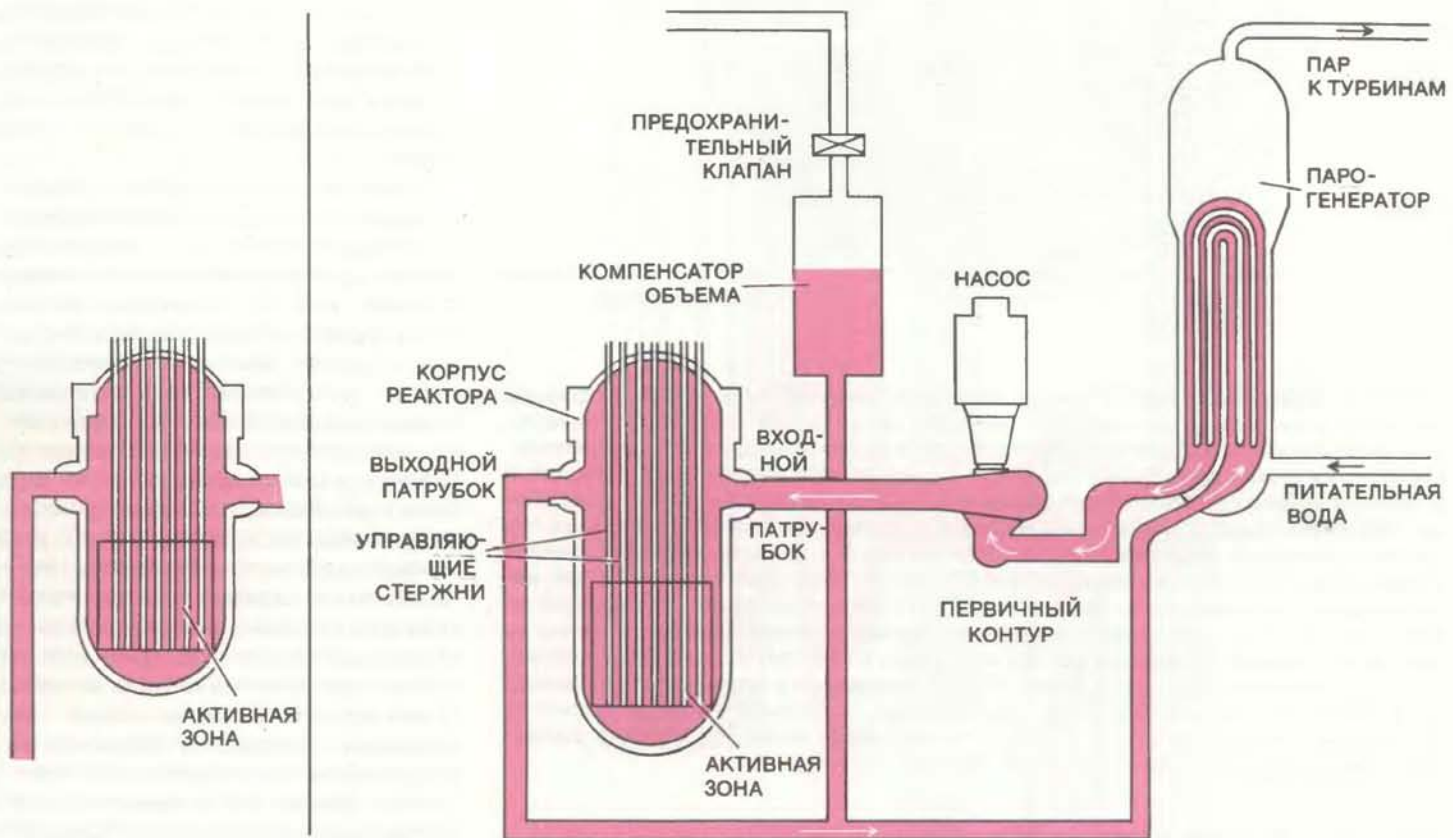
В будущем конкуренция на рынке электроснабжения, по-видимому, станет более острой среди электрокомпаний, а также между ними и новыми производителями электроэнергии, такими, как крупные промышленные энергетические объединения, которые производят не только электрическую, но и тепловую энергию. Повышенный коммерческий риск в основном станет причиной снижения заинтересованности в заказах на строительство крупных централизованных электростанций, за исключением тех компаний, которые имеют большой опыт и эффективную технологию, но даже и они, по всей вероятности, предпочтут наращивать свои мощности за счет ввода в строй энергоблоков мощностью менее 1000 МВт.

Второе принципиальное отличие предполагаемого варианта электростанции от ныне действующих заключается в специфике ее строительства. Конструкция электростанции будет такой, что многие работы по ее сооружению оказались бы возможным выполнять централизованно на производстве, а не на строительной площадке, как это делается сейчас. В результате повысится производительность труда и качество выполняемых работ, которые всегда выше в условиях налаженного производства, чем в условиях стройки. Централизованное производство позволит применять передовые методы автоматизации изготовления и контроля качества продукции.

Самым важным преимуществом такой централизации, пожалуй, будет то, что она естественно приведет к стандартизации конструктивных параметров электростанций и ускорит накопление опыта, что послужит росту их эффективности и экономичности. Казалось бы, что поскольку существуют ограничения на вес и объем отдельных узлов, подлежащих транспортировке к месту строительства, то централизованное производство является более подходящим для небольших электростанций, однако и более крупные станции могут в больших масштабах, чем теперь, проектироваться с учетом их производства на заводах в виде сборных модулей, которые монтировались бы

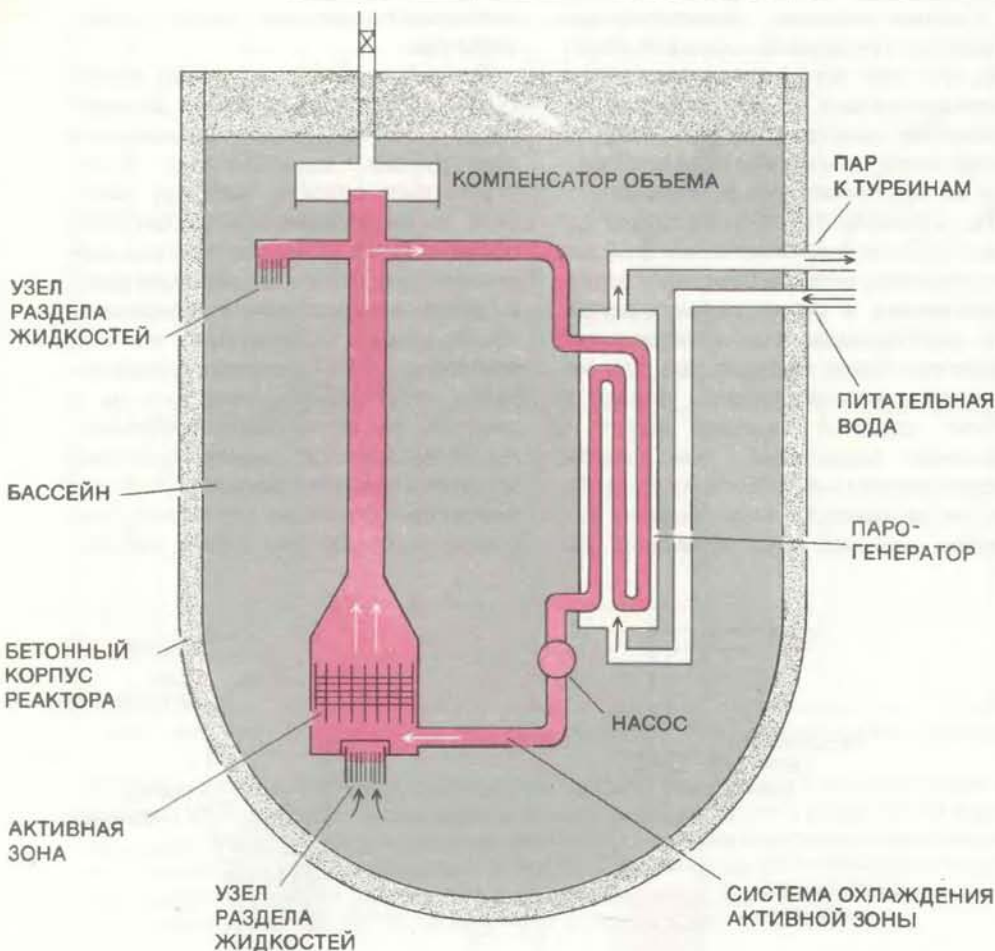
непосредственно на месте строительства.

Третья особенность новой разработки касается обеспечения безопасности. При изменении современной конструкции разработчики будут стремиться создать реактор, который легче устанавливать, который проще с точки зрения экспертизы для выдачи разрешения на эксплуатацию и менее восприимчив к изменению правил и норм эксплуатации, чем современные ЛВР. Проблема использования современных реакторов не в том, что они не отвечают требованиям безопасности: многочисленные технические оценки показали, что они значительно меньше угрожают здоровью человека, чем другие хорошо



КОНСТРУКЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО РЕАКТОРА с подачей воды под давлением схематично показана на рисунке. Основные конструктивные узлы такие же, как и у обычного реактора, охлаждаемого водой под давлением. Вода в систему предварительного охлаждения подается через входной патрубок в напорный резервуар и отводит тепло из активной зоны реактора через выходной патрубок к парогенератору, от которого пар поступает на лопасти турбин. Компенсатор давления поддерживает высокое давление в первичном контуре охлаждения, предотвращая кипение теплоносителя, а гидрозатвор препятствует созданию воздушных пузырьков в теплоносителе в процессе его накачки. Новый реактор, разработанный совместно компаниями Westinghouse Electric Corporation и Mitsubishi Company при участии электрокомпаний Японии, имеет больший объем активной зоны и более глубокий напорный резервуар, чем современные реакторы (слева). Увеличение объема активной зоны позволило снизить плотность мощности в реакторе и как следствие плотность продуктов деления; в результате за счет образующегося при радиоактивном

распаде тепла температура в активной зоне в случае повреждения системы охлаждения будет расти не так быстро, как в современных реакторах. Более глубокий резервуар позволяет расположить активную зону значительно ниже входного патрубка теплоносителя и гидрозатвора. Поэтому утечка теплоносителя через небольшую трещину в трубопроводе первичного контура не вскроет активную зону, что могло бы произойти в реакторах, используемых в настоящее время. При любых повреждениях системы охлаждения увеличенный объем воды над активной зоной будет способствовать более медленному выкипанию, чем в конструкциях современных реакторов. За счет этого у оператора будет больше времени для принятия экстренных мер. Этот реактор, способный вырабатывать больше энергии, чем большинство современных реакторов, отличается от последних и многими другими усовершенствованиями, которые снижают стоимость используемого в нем топлива, повышают эффективность его работы и облегчают эксплуатацию.



РЕАКТОР ТИПА ПБР, разработанный шведской фирмой ASEA-ATOM, состоит из активной зоны и системы предварительного охлаждения, подобных тем, которые используются в обычных реакторах, охлаждаемых водой под давлением. Реактор погружен в бассейн с холодной борированной водой. Вода в бассейне и теплоноситель системы охлаждения активной зоны гидравлически соединены через узел разделения жидкостей, которые в обычных условиях стабильны, поскольку холодный теплоноситель находится над более плотной борированной водой в бассейне. При нормальной работе давление, создаваемое насосом, нагревающим теплоноситель, препятствует затоплению активной зоны водой из бассейна. В случае нарушения циркуляции теплоносителя вода из бассейна за счет естественной конвекции начнет поступать в систему охлаждения и активную зону реактора (черные стрелки). Присутствующий в воде бор будет замедлять нейтроны, останавливая цепную реакцию, и количества воды окажется достаточно, чтобы охладить реактор за несколько дней без всякого вмешательства операторов или аварийной системы охлаждения.

известные «вредные» объекты. Возникающие здесь трудности связаны с тем, что полученные результаты пока не обоснованы технически и их точность трудно продемонстрировать.

БЕЗОПАСНОСТЬ любого реактора зависит от того, как он защищен от проникновения в окружающую среду значительного радиоактивного излучения. Поскольку радиоактивным является топливо, возможность сильного радиоактивного излучения становится реальной только тогда, когда появляется неисправность в системе охлаждения активной зоны и топливо перегревается или расплавляется. Конструкция активной зоны реактора такова, что в ней не может поддерживаться радиоактивный рас-

пад, если температура в ней становится значительно выше допустимой; при перегреве активной зоны цепная реакция автоматически прекращается. Однако присутствующие в активной зоне продукты радиоактивного распада продолжают выделять большое количество тепла; если это тепло не отводить, температура будет продолжать расти и топливо разрушится. Но и в этом случае дополнительные защитные барьеры, которые окружают активную зону, например, прочные, герметические оболочки, могут препятствовать утечке теплоносителя.

Безопасность существующих в настоящее время ЛВР обеспечивается сложной иерархией систем радиационной защиты — одни из них предназначены для предотвращения случай-

ного перегрева ядерного топлива, другие — чтобы препятствовать радиоактивному выбросу в случае выхода из строя системы теплоносителя и разрушения активной зоны. Некоторые средства радиационной защиты, такие, как стены здания, выполняют пассивную роль, но многие другие системы, например, аварийные системы подпитки, которые нагревают воду в активную зону, должны приводиться в действие либо автоматически, либо оператором с пульта управления. Поскольку ни оператор, ни электромеханические устройства не являются абсолютно надежными, разработчики предусмотрели системы многократного дублирования, чтобы повысить надежность выполнения ключевых функций систем безопасности. Многократное дублирование, конечно, не может полностью исключить возможность большого радиоактивного выброса за пределы реактора, но оно снижает вероятность такой аварии до очень низкого уровня.

Расчет остаточного риска — задача сложная. Она требует выявления всех возможных последствий нарушений рабочего режима как по причине неисправной работы электромеханических устройств, так и из-за неправильных действий обслуживающего персонала, которые могут привести к радиоактивному выбросу. Кроме того, она требует оценки вероятности каждого из этих событий и их последствий. Адекватность вероятностных оценок риска представляет известную трудность. Например, случаи утечки в окружающее пространство значительных количеств радиоактивных веществ настолько редки, что по ним трудно уточнить данные теоретических расчетов путем их сравнения с опытными данными. (В других областях, например при определении безопасности самолета, где оценка риска производится теми же расчетными методами, ситуация принципиально иная.) Таким образом, доверие к результатам расчетов, выполненных исследователем или организацией, практически является единственным основанием, по которому можно судить о безопасности реактора. Неизбежно, что такие события, как авария в Три-Майл-Айленде, которые, казалось бы, подрывают это доверие, приобретают значимость далеко за пределами лишь технической области.

До недавнего времени новизна и сложность методов вероятностной оценки риска были одной из причин, по которой эти методы не играли существенной роли в практике принятия решений, касающихся конструк-

тивных и эксплуатационных нормативов на ядерные реакторы. Вместо этого органы надзора полагались на мнения инженеров при разработке подробных технических стандартов и правил эксплуатации на отдельные узлы и, таким образом, стремились достичь соответствия этих нормативных документов требованиям полной безопасности. Из-за недостатка количественных критериев оценки того или иного требования по его значимости для обеспечения безопасности процесс регламентирования сводился к принятию разовых решений, что не удовлетворяло специалистов в области атомной энергетики и вызывало справедливую критику. Кроме того, использование Комиссией по ядерному регулированию большого и постоянно возрастающего числа нормативов, предписывающих чрезмерно подробно, как следует проектировать электростанции, строить и управлять ими, вместо того, чтобы указать основные требования по обеспечению безопасности, привело к нездоровым отношениям между отраслью и органами надзора. В результате ответственность за управление ядерными энергетическими объектами была в значительной мере переложена с плеч тех, в чьем распоряжении находятся эти объекты, на далекий от практики бюрократический аппарат.

Для ядерной энергетики требование согласованности всех правил и норм стало первостепенной проблемой. Инициатива в этой области иссякла. Даже в различных новшествах, нацеленных на повышение безопасности, почти никто не был заинтересован, ибо куда легче следовать принятым процедурам, чем добиваться одобрения новых. До тех пор пока не будет пересмотрено доминирующее положение действующих ныне правил в отношении обеспечения безопасности, трудно сказать, как ядерная энергетика может вновь обрести экономическую жизнеспособность.

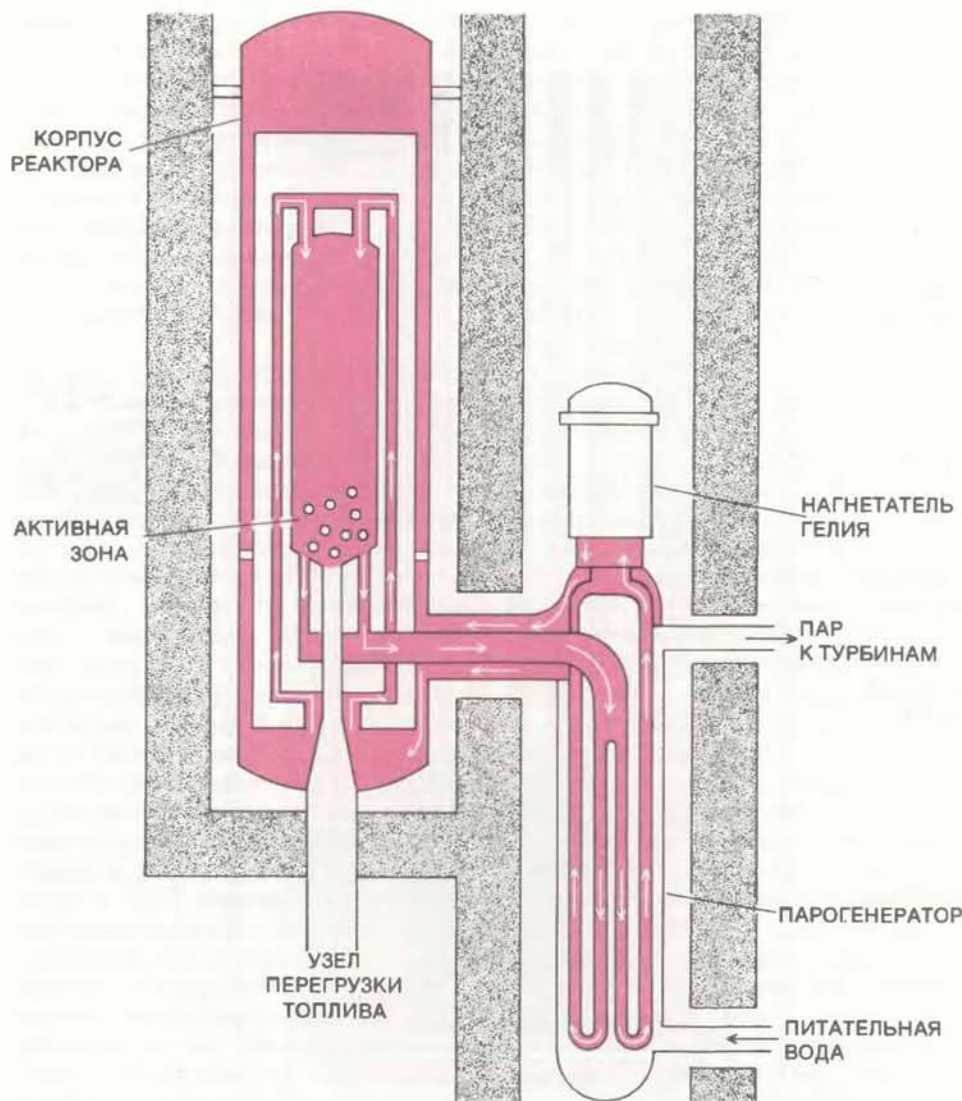
КАКИЕ изменения в конструкции реакторов могли бы содействовать решению этих проблем? Перспективный подход, который недавно привлек внимание не только американских, но и зарубежных специалистов, заключается в создании новой конструкции реактора. Она должна быть такой, что, если система охлаждения активной зоны выходит из строя, тепло, выделяющееся в результате реакции деления ядер в активной зоне безопасно рассеивается посредством, например естественной конвекции или теплового излучения. Пассивного охлаждения было бы достаточно, чтобы предотвратить пере-

грев и разрушение активной зоны, не использовать внешнюю систему принудительного охлаждения и исключить какие-либо действия оператора.

Такой подход существенно упростило бы проектирование и строительство электростанций и особенно систем, не связанных с процессом ядерного деления, которые в настоящее время строго регламентированы стандартами, поскольку из-за многофункциональности они, как считается теоретически, могут стать причиной

разрушения активной зоны. Наличие реактора с самозащитой позволило бы проектировать и монтировать остальные узлы АЭС по стандартам на электростанции, работающие на природном топливе. Экономия на стоимости оборудования и рабочей силы в этом случае была бы значительной.

Использование пассивных средств обеспечения безопасности также упростило бы оценку риска возможной опасности как по причине умень-



МОДУЛЬНЫЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕАКТОР с газовым охлаждением. В качестве теплоносителя используется гелий (цветной), который отводит тепло из активной зоны реактора к парогенератору. В этой конструкции, разработанной западногерманской фирмой KWU/INTERATOM, топливо состоит из мельчайших частиц урана, каждая из которых покрыта слоем смеси графита с карбидом кремния. Частицы заключены в шарики, изготовленные на основе графита. Сотни тысяч таких шариков и составляют активную зону; новые шарики можно периодически загружать, а отработанные выгружать через канал перегрузки в дне корпуса реактора. Таким образом замену топлива можно производить, не останавливая реактор. Такое топливо не разрушается даже при высоких температурах. В случае выхода из строя системы охлаждения температура в активной зоне будет стабилизироваться на безопасном уровне за счет охлаждения воздухом и теплового излучения. Мощность реактора составляет 100 МВт; предполагается, что электростанция будет состоять из нескольких таких реакторов-модулей.

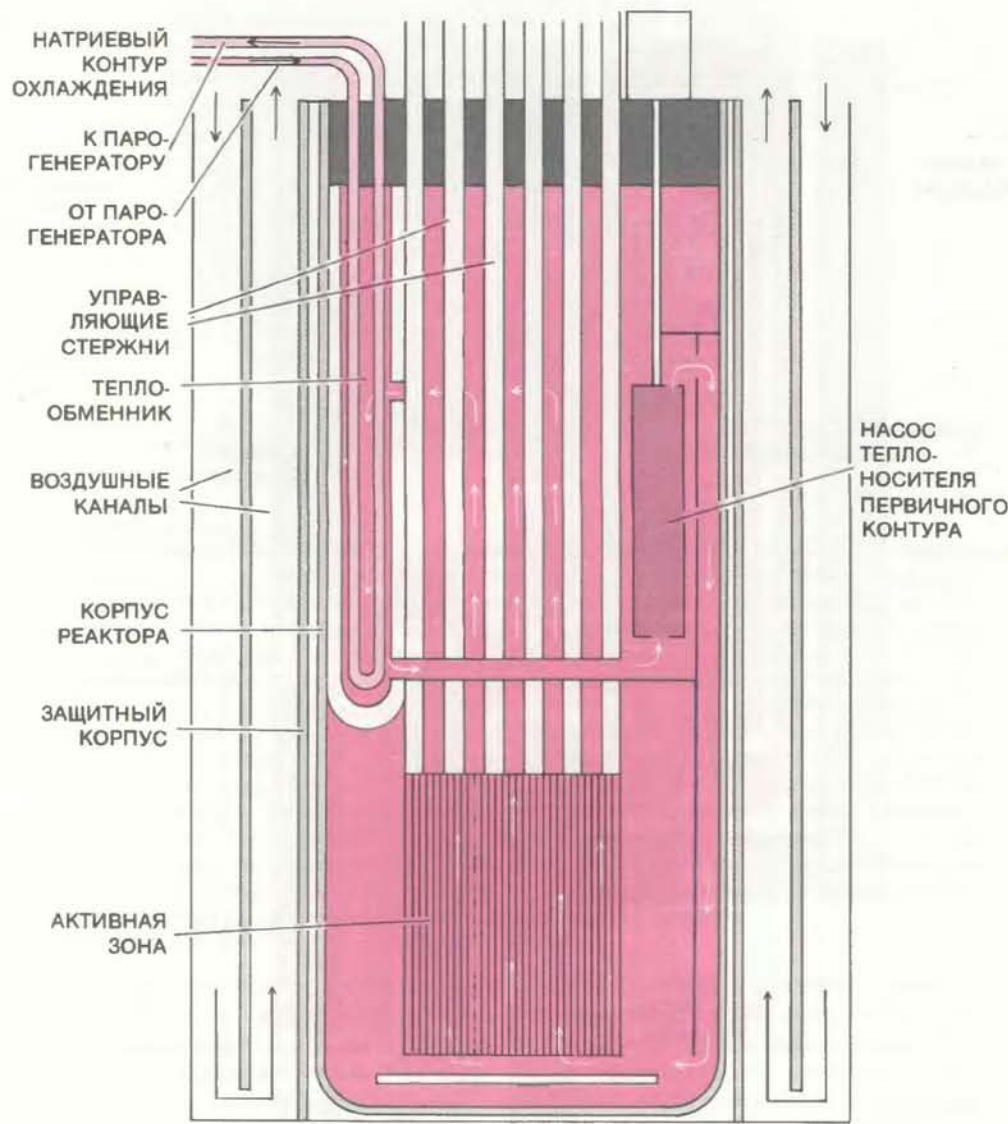
шения числа систем в электростанции, так и за счет исключения проблемы прогнозирования вероятных ошибок оператора и их последствий. Для многих концепции пассивного отвода тепла и «легко достигаемой защиты», по-видимому, были бы более понятны, чем те сложные показатели, которыми характеризуется безопасность обычных ЛВР, и их наверняка можно было бы нагляднее продемонстрировать, задавая дистанционно управляемому реактору всевоз-

можные аварийные и моделируемые режимы работы. Наконец, исключение риска серьезных повреждений активной зоны уменьшило бы тревогу владельцев будущих электростанций за огромные убытки, связанные с такой аварией, даже если бы она причинила минимальный вред здоровью людей.

Конструкторы реакторов уже приступили к исследованию «эволюционных» изменений обычных ЛВР в отношении уменьшения их размеров, уве-

личения объемов изготовления в заводских условиях и более широкого применения пассивных средств защиты. Финансируемый электрокомпаниями Исследовательский институт электроэнергетики принял программу, целью которой является определение технических требований для следующего поколения ЛВР. Эта программа, ориентированная на большие реакторы, основной упор делает на необходимость упрощения конструкции АЭС и разработку реакторов, которые были бы легко управляемы в аварийных ситуациях. Если циркуляция теплоносителя в обычном реакторе, в котором вода подается в активную зону под давлением, прерывается, то вода очень быстро может выкипеть, оставив ядерное топливо незащищенным и создав таким образом условия, при которых температура в активной зоне резко повысится. Один из возможных путей повышения «пассивной безопасности», который изучается упомянутым институтом, заключается в увеличении глубины погружения активной зоны в бассейн с водой под давлением. В случае аварии вода, находящаяся над активной зоной, выкипит не так быстро, как в обычном реакторе, и разрушение топливных элементов будет задержано. Эти меры не исключают необходимости в дублирующих системах охлаждения и защитных оболочках, но их наличие дает больше времени оператору принять необходимые меры в аварийной ситуации, чем у него имеется сейчас.

СУЩЕСТВУЮТ и другие концепции новых реакторов, которые охватывают более широкий круг аспектов, особенно в отношении пассивных средств обеспечения безопасности. Среди наиболее перспективных из числа так называемых «концепций полностью безопасных реакторов» является идея о разработке небольшого высокотемпературного реактора с газовым теплоносителем (ВТРГ). В основном эта идея получила развитие в ФРГ. Активная зона такого реактора имеет «зернистую подушку» из небольших графитовых шариков, в которых находится ядерное топливо. Топливо способно выдерживать температуру до 1600 °С без освобождения продуктов распада; из-за малых размеров и большого отношения площади поверхности к объему топлива температура в активной зоне не может превысить эту величину, даже если реактор потеряет весь гелий (теплоноситель), работая на полную мощность. Реакция деления ядер прекратится автоматически сразу после повышения температуры,



МОДУЛЬНЫЙ РЕАКТОР НА ЖИДКОМ МЕТАЛЛЕ имеет множество каналов охлаждения. Жидкий натрий, используемый в первичном контуре охлаждения (темно-красный), нагнетается насосом через активную зону в резервуар; в теплообменниках натрий, нагретый до высокой температуры, передает тепло во вторичные контуры (светло-красный), которые соединены с парогенераторами (здесь не показаны). В случае выхода из строя насосов, нагнетающих теплоноситель, натрий будет продолжать циркулировать через активную зону реактора за счет естественной конвекции. Небольшие размеры реактора создают благоприятные условия для рассеяния большого количества тепла в окружающее пространство, что предотвращает возможное разрушение активной зоны и опасность радиоактивного излучения. Конструкция реактора разработана компанией General Electric, его проектная мощность составляет примерно 140 МВт. Как и в больших реакторах-размножителях на жидком металле, значительный объем ядерного топлива будет вырабатываться в активной зоне за счет превращения урана 238 в плутоний.

как и в обычном ЛВР. Продукты деления будут продолжать выделять тепло, но пассивное рассеяние тепла через стенки корпуса реактора будет достаточно интенсивным, чтобы температура оставалась на безопасном уровне. Поскольку малые размеры являются ключевым условием конструкции для обеспечения полной безопасности, такой реактор может вырабатывать не более 100 МВт электроэнергии; электростанция, оснащенная такими реакторами, могла бы состоять из нескольких модулей ВТРС. В США в настоящее время обсуждается конструкция ВТРС примерно такой же мощности, но с конструктивно иной активной зоной.

В Швеции разработан полностью безопасный реактор (ПБР) на основе радикально измененной конструкции ЛВР. Его активная зона, первичный контур охлаждения и парогенераторы погружаются в большой бассейн из предварительно напряженного бетона, заполненный холодной борированной водой. Бассейн и система первичного охлаждения гидравлически соединены, но при нормальных условиях давление, создаваемое насосами системы теплоносителя, таково, что вода удерживается в бассейне и не проникает в активную зону. Любой срыв в работе системы охлаждения нарушит этот баланс и раствор соли борной кислоты заполнит активную зону. Присутствующий в растворе бор, который является эффективным замедлителем нейтронов, остановит цепную реакцию и холодная вода из бассейна отведет выделяющееся тепло. Для приведения в действие этого механизма не требуется ни действий оператора, ни аварийных электромеханических устройств.

Третий вид реакторов с пассивной защитой появился в результате попытки разработать реакторы-размножители — реакторы, вырабатывающие количество топлива большее, чем они потребляют, путем превращения изотопов, которые не подходят для использования в качестве ядерного топлива, таких, как уран 238, в расщепляющиеся изотопы, например плутоний 239. До недавнего времени считалось, что такие реакторы, использующие в качестве теплоносителя жидкий натрий, должны иметь мощность 1200—1500 МВт. Разработка таких мощных реакторов-размножителей продолжается в других странах, например во Франции и СССР. Предполагавшийся резкий рост цен на уран, что послужило основным стимулом для разработки реакторов-размножителей сейчас уже кажется сомнительным. Недавно

американские специалисты приступили к исследованию возможности создания значительно менее мощного реактора на жидком металле, малые размеры которого (как и модульного ВТРС) позволяли бы пассивно отводить тепло в случае аварии через стенки корпуса реактора. Как и мощные реакторы-размножители, эти небольшие реакторы вырабатывали бы значительное количество плутония, который восстанавливался бы после переработки топлива.

Потребность в переработке топлива снижает привлекательность малых реакторов на жидком металле как одну из возможных альтернатив обычным ЛВР. Эта технологическая особенность привела бы к значительному удорожанию массового изготовления таких реакторов и к усложнению технических и организационных вопросов производства топлива для них. Кроме того, существует широко распространенное мнение, что переработка топлива и выделение плутония могут способствовать распространению ядерного оружия.

МНОГИЕ американские специалисты в области ядерной энергетики полагают, что никаких кардинальных изменений в современной ядерной технологии произвести не удастся. Они считают, что гораздо разумнее идти по пути постепенного усовершенствования существующей технологии, опираясь на многолетний опыт, накопленный в процессе эксплуатации ЛВР, а не делать ставку на какую-либо непроверенную практическую идею. Какими бы теоретическими преимуществами ни обладали новые системы, говорят они, на практике эти радикальные концепции наверняка столкнутся с массой непредсказуемых проблем, как это было в свое время с ЛВР. Критически настроенные специалисты сомневаются также в разумности отстранения от международного сотрудничества в области ядерной энергетики. Франция, ФРГ, Япония и другие страны не отказываются от использования ЛВР и продолжают выделять значительные средства на их совершенствование. Участвуя в совместных международных разработках, примером которых может быть сотрудничество двух американских фирм, производящих реакторы, с японскими партнерами, энергетика США может заимствовать немало полезного из достижений в иностранной технологии, даже когда эта отрасль продолжает испытывать застой.

Исходя из этих соображений, более приемлемой стратегией, чем переход на принципиально новую техноло-

гию, следует считать концентрацию усилий на ликвидацию существующих барьеров, которые мешают достижению в США такой же экономической эффективности использования ЛВР, как в других странах. Эта стратегия должна быть нацелена на повышение степени предсказуемости последствий тех мер, которые предпринимаются для обеспечения безопасности, а также на структурную и организационную перестройку американской энергетики. Одновременно с этим следует поднять уровень стандартизации при конструировании реакторов и атомных электростанций. Некоторые из предложений направлены на проведение широкой реорганизации в отрасли. Они предусматривают создание региональных ядерно-энергетических компаний или даже специального правительственного органа для управления ядерной энергетикой. Другие предложения нацелены на консолидацию поставщиков АЭС и на то, чтобы они принимали на себя больший финансовый риск, который предполагает строительство атомных станций.

Спор относительно развития ядерной энергетики США можно свести к фундаментальному вопросу о стратегии: что будет более эффективным — попытаться перестроить организационную, техническую и нормативную систему, чтобы привести ее в соответствие с требованиями современной техники, или приложить усилия к тому, чтобы приспособить существующую ядерно-энергетическую технологию к возможностям, ограничениям и потребностям той системы, которая уже сложилась?

Трудность на пути осуществления первого подхода состоит в том, что относительно «мягкие» предложения, по-видимому, вряд ли будут достаточными, в то время как радикальные меры приведут к тому, что централизованная ядерная энергетика станет больше походить на зарубежные программы, чем на не затронутую этими переменами американскую электроэнергетику. Пока ядерная энергетика США может идти только путем заимствования более успешного зарубежного опыта. Слабость системы централизованного планирования и принятия решения в американской экономике хотя и усложняет развитие рассматриваемой отрасли, все же отражает основные социальные предпочтения, которые, по всей видимости, будут оставаться в силе.

Относительное изобилие других источников энергии, которыми располагают США, отличает эту страну от других государств, делающих упор на развитие ядерной энергетики. Поэто-

му в США в отличие от других стран эта отрасль и впредь не будет рассматриваться как важнейший фактор национальной экономики и политики, а будет играть роль одного из возможных способов получения энергии. Политика, которая, как представляется, сформировала предпочтительное отношение к ядерной энергетике или, наоборот, послужила причиной ослабления ее конкурентной способности, по-видимому, не получит широкой поддержки. Любая программа развития ядерной энергетике в США должна также учитывать тот факт, что США — это государство, где любые попытки оградить промышленные и надзорные институты, имеющие отношение к этой программе, от прямого общественного давления вряд ли будут успешными. Разработка нового поколения той или иной продукции, которая лучше отвечает потребностям рынка, может оказаться более надежным путем, который вызовет новый подъем в ядерной энергетике.

СТРАТЕГИЯ, направленная на выбор наиболее подходящей технологии, также не лишена проблем. Технологии, представляющие собой альтернативу ЛВР и находящиеся далеко не в первой стадии разработки, не станут доступными на рынке раньше следующего столетия. Большие расходы и немалая степень риска, связанные с внедрением новой ядерной технологии, будут сдерживать частных предпринимателей от ее освоения, если правительство не согласится на выделение им значительных дотаций. В самом деле, поскольку большинство ведущих энергетических компаний пока продолжает ориентироваться на обычные ЛВР, правительство неизбежно будет играть лидирующую, а не просто поддерживающую роль в усилиях, нацеленных на разработку новых конструкций реакторов. На сегодняшний день дефицит бюджетных средств и недостаточный общественный энтузиазм в отношении ускоренного развития ядерной энергетике не способствует реализации этих усилий.

Попытки со стороны правительства исправить существующее положение в любом случае оказались бы преждевременными. Накопленный в последние годы опыт говорит о том, что, стремясь найти наиболее подходящий путь развития ядерной энергетике, правительство в немалой степени рискует выбрать такое направление, которое окажется неприемлемым для промышленности и не будет принято ею. Готовность самих электрокомпаний принять активное уча-

стие в научных исследованиях является предпосылкой для серьезного подхода к разработке нового поколения реакторов. Но прежде чем такой подход станет реальностью, необходимо, по-видимому, реформировать существующую систему нормативов, произвести организационные изменения и усовершенствовать, насколько это возможно, конструкцию ЛВР и, кроме того, определить более четко тенденции современной технологии.

Между тем правительству и отрасли ядерной энергетике следует поставить перед собой более умеренную цель при выборе в ближайшие три-четыре года одной из перспективных технологий с пассивной защитой реакторов, чтобы использовать ее в качестве механизма «проверки основного направления», т. е. некоей экспериментальной электростанции, предназначенной не для демонстрации ее как промышленного образца, а для проверки практической пригодности данного варианта. В частности, такой путь может указать, какой из способов пассивной защиты окажется сравнительно дешевым и наиболее приемлемым. Он также поможет разрешить ключевые вопросы относительно того, каким должен быть надзор за системами, безопасность которых обеспечивается пассивными средствами. Технический опыт, полученный в результате эксплуатации экспериментальной станции, покажет, следует ли строить такие станции в широком промышленном масштабе. Если уже сейчас приступить к созданию экспериментальной станции, то окончательное решение можно будет принять к середине 90-х годов, когда будущее обычных ЛВР станет намного определеннее, чем сейчас.

Расходы, связанные с реализацией такого проекта, могут взять на себя правительство, консорциум энергокомпаний и поставщиков, в том числе заинтересованные поставщики из других стран. Готовность поставщиков и электрокомпаний финансировать этот проект способствовала бы определению наиболее подходящей конструктивной концепции. Общие годовые расходы на осуществление этого проекта будут меньше, чем ежегодные капиталовложения только федерального правительства в разработку реактора-размножителя.

ТАКИМ образом, все дальнейшие пути развития ядерной энергетике США можно свести к трем основным направлениям. Одно из них — это возврат к использованию усовершенствованных ЛВР по меньшей мере через 10 лет. Возрождение этой технологии происходило бы в услови-

ях более устойчивого развития отрасли, под контролем меньшего числа, но высококомпетентных организаций, действующих в рамках более стабильной системы нормативов. Зарубежные поставщики ЛВР, вдохновленные тем временем оживлением своих внутренних рынков, привнесут немало технических усовершенствований и на коммерческой основе могут участвовать в развитии американской ядерной энергетике на новом ее этапе.

При втором направлении обычные ЛВР уже не станут фигурировать в своей прежней роли: спустя несколько лет было бы найдено одно или несколько конструктивных решений принципиально новых реакторов второго поколения, отличающихся небольшими размерами, наличием средств пассивной защиты и пригодных для централизованного изготовления в виде модулей. В следующем столетии они восстановили бы былую роль атомных электростанций как главных поставщиков электроэнергии.

Сейчас нельзя сказать, какое из этих двух направлений окажется наиболее вероятным, и в этом пока нет необходимости. Стремление изменить существующее положение и модернизировать оправдавшие себя на практике технологии должны сопровождаться поисками принципиально новых технических решений. Отказ от одного и другого указанных направлений будет означать третье направление — исключение атомной энергии из числа потенциальных ресурсов будущего. Но это приведет к потерям, которые страна вряд ли может себе позволить.

SCIENTIFIC AMERICAN

Март 1936 г. С точки зрения широкой публики телевидение в последние несколько лет развивалось крайне медленными темпами. Сейчас положение начинает изменяться к лучшему. Федеральная комиссия по связи, под отеческой опекой которой находится телевидение, недавно доложила конгрессу, что в настоящее время телевидение практически готово к массовому использованию. Но, и это «но» довольно существенно, как подчеркивается в докладе, многочисленные фирмы продолжают разрабатывать столь несхожие друг с другом передающие системы, что даже экспериментальные передачи могут приниматься только специальными приемниками, предназначенными для работ только с определенным типом системы. Каков путь решения проблемы? Комиссия приходит к следующему выводу: «Для создания телевидения необходимо унифицировать передающую аппаратуру, выпускаемую различными компаниями и наладить производство приемников, которые могли бы принимать все программы без ограничения.»

В наши дни широко практикуется добавление в продукты питания витаминов. Целесообразность этого новшества сомнительна, поскольку обычный сбалансированный рацион включает все витамины, необходимые для человеческого организма. Не так давно Американская медицинская ассоциация осудила грубые ненаучные методы «витаминной терапии». Ее представители заявили, что употребление с пищей или в виде лекарств концентрированных витаминов не более обоснованно, чем искусственное увеличение в рационе любых других компонентов питания.

Вскоре будет создано устройство, которое позволит пассажирам автобусов и автомобилей наслаждаться искусственным климатом в дороге. Уже известны некоторые особенности этого устройства, похожего (но более совершенного) на те, которые охлаждаают воздух или независимо от сезона поддерживают постоянный климат в железнодорожных поездах, театрах и больших магазинах. В новом устройстве используется компрессор, который приводится в действие автомобильным двига-

телем и поставляет хладагент в испаритель или змеевик.

Авиационная метеослужба достигла заметных успехов в совершенствовании радиометеорографии. Авиационный метеоролог должен ежедневно и даже ежечасно получать вертикальные профили основных параметров, отражающих состояние атмосферы: давления, температуры, влажности, направления и скорости ветра. Идеальным средством наблюдений служит шар-зонд, снабженный радиопередатчиком; в этом случае высота наблюдений не ограничена и все данные сразу поступают на наземную метеостанцию. Другими словами, шар-зонд представляет собой не что иное, как радиометеорограф.

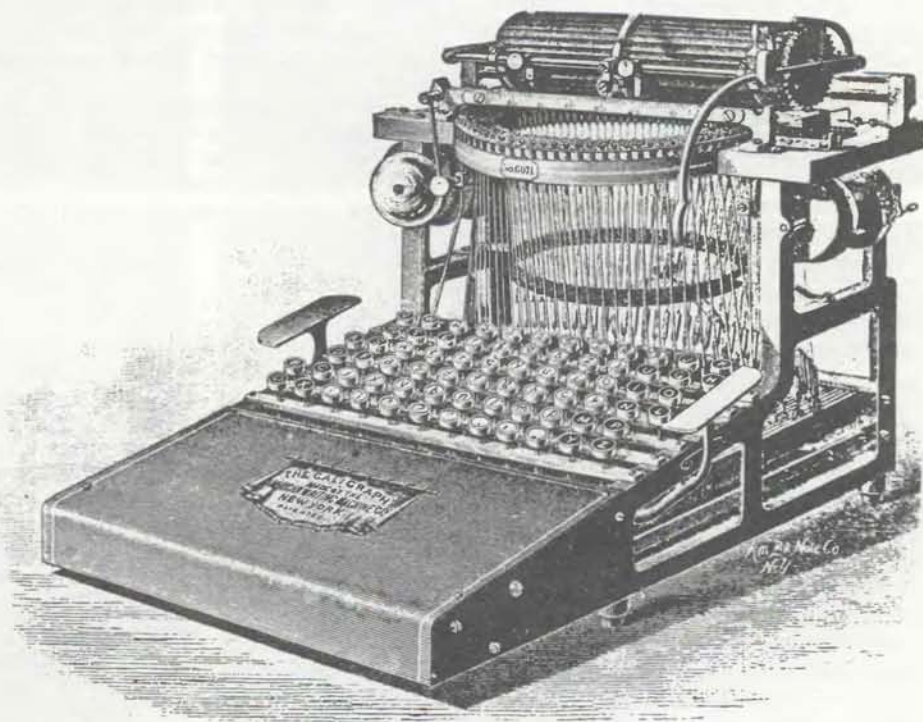
SCIENTIFIC AMERICAN

Март 1886 г. Как отметил в обращении к Королевскому обществу его президент проф. Хаксли, «в последние годы я пришел к поразительному заключению, что те, кто напряженно трудится на поприще науки, вскоре не смогут справиться с реализацией своих идей. Один человек больше не в состоянии следить за всеми достижениями в какой-либо области науки. Похоже, что в будущем ученые будут становиться все более узкими специалистами. Мне думается, единствен-

ный способ противостоять этой тенденции заключается в организации и расширении научной подготовки в таком направлении, чтобы, избегая дилетантства, обеспечить сохранение широкого кругозора и, застраховавшись от ограниченности, добиться глубоких и точных знаний».

Телефон—одно из самых ярких явлений в истории изобретений. По состоянию на август 1877 г. в США насчитывалось всего 780 телефонных аппаратов, а в феврале 1885 г. их уже было 325 574. Число коммутаторов выросло со 100 в 1880 г. до 782 в 1885 г. В январе этого года общая протяженность телефонных линий в стране составляла 137 223 мили.

Десять лет назад пишущие машинки были мало распространены, оставались практически неизвестными подавляющему большинству писателей и находились в пользовании у тех, кто видел в них скорее механические игрушки, чем приспособления, экономящие массу времени и труда, — достоинство, в котором мы уже могли убедиться. До 1881 г., когда фирма American Writing Machine Company в Хартфорде (шт. Коннектикут) выпустила на рынок каллиграф, пишущие машинки с двойной кассой литер были несовершенные: для печатания заглавных букв и цифр оператор должен был каждый раз непроизводительно нажимать клавишу подъема каретки. На каллиграфе любая заглавная и строчная буква печатается одним ударом по клавише.



Каллиграф — новая пишущая машинка

Хвост магнитосферы Земли

*Солнечный ветер вытягивает магнитное поле Земли,
и за ней образуется гигантский магнитный хвост.*

*Он может разрываться, и тогда на Земле генерируются
яркие полярные сияния, а в межпланетное пространство
выталкиваются громадные «куски» замагниченной плазмы*

ЭДВАРД В. ХОУНС-МЛАДШИЙ

ЗЕМЛЯ находится в огромной магнитной полости, которая называется магнитосферой Земли. Ее возникновение связано с тем, что солнечный ветер — непрерывно истекающий из Солнца газ, состоящий из заряженных частиц (ионов и электронов), — не может проникнуть через земное магнитное поле. Солнечный ветер вытягивает силовые линии магнитного поля Земли в более или менее цилиндрическую конфигурацию, простирающуюся на миллионы километров от Земли в межпланетное пространство. Эта конфигурация называется магнитосферным хвостом. Хвост напоминает гигантский воздушный мешок, подобный тому, который применяется на аэродромах для определения направления ветра, только «надувается» он не воздухом, а плазмой солнечного ветра.

Изучение хвоста началось с очень давних и трудных попыток понять, что представляют собой полярные сияния — огни, сверкающие на ночном небе в высокоширотных районах Земли. Список исследователей полярных сияний включает таких прославленных ученых, как Галилей, Галлей, Цельсий, Франклин. Вплоть до начала эпохи прямых космических исследований успехи в понимании природы сияний были, однако, весьма скромны. Примерно 30 лет назад искусственные спутники Земли, оснащенные соответствующей научной аппаратурой, начали исследовать космическое пространство, окружающее Землю. Была открыта и изучена магнитосфера Земли. Эти исследования привели к важному выводу: при взаимодействии плазмы солнечного ветра с магнитосферой на их границе возникает огромный генератор электрического тока, в котором кинетическая энергия солнечного ветра преобразуется в электрическую.

С этой электрической энергией связано множество магнитосферных явлений. От нее, например, получают энергию красочные и загадочные по-

лярные сияния в ночном небе; она питает радиационные пояса, окружающие Землю, в которые захватываются заряженные частицы очень высоких энергий. Несколько лет назад при измерениях с помощью спутников в хвосте было обнаружено еще одно очень важное динамическое явление — громадные, быстро движущиеся замкнутые плазменные конфигурации, называемые плазмоидами. Каждый плазмоид представляет собой сгусток горячей плазмы, как обручами стягиваемый и удерживаемый замкнутыми петлями магнитных силовых линий. Другие силовые линии, которые окружают плазмоиды, называются «натянуты» так, что стремятся, как снаряд из пушки, вытолкнуть плазмоид из хвоста. Скорость, которую при этом приобретает плазмоид, может достигать миллионов километров в час.

Взаимодействие солнечного ветра с магнитосферой начинается на границе магнитосферы, которая называется магнитопаузой*. Точка, в которой

* На самом деле взаимодействие начинается еще раньше, за 20 тыс.—30 тыс. км от магнитопаузы, на головной ударной волне, где сверхзвуковой поток солнечного ветра тормозится до дозвуковых скоростей. — *Прим. перев.*

ЭНЕРГИЯ, ЗАПАСАЕМАЯ В МАГНИТОСФЕРНОМ ХВОСТЕ, частично выделяется в ионосфере на высоте около 100 км над поверхностью Земли в форме авральных свечений (или, как их иногда называют, северных огней). На рисунке (сверху вниз и слева направо) показана серия фотографий, полученных Р. Изером из Бостонского колледжа на станции «Черчилль» в Гудзоновом заливе (пров. Северная Манитоба) мартовским вечером вблизи полуночи по местному времени. Изер оснастил свою камеру специальными линзами «рыбий глаз», так что каждая фотография показывает полную картину ночного неба от горизонта до горизонта (северный горизонт на всех фотографиях находится внизу). Электроны, бомбардирующие атомы в ионосфере, заставляют их светиться. Это свечение и наблюдается как полярное сияние. Электроны движутся к Земле вместе с потоком заряженных частиц, истекающих из солнечной короны (солнечным ветром). Затем они попадают в магнитосферный хвост, где и захватываются вплоть до того момента, когда в хвосте начинается магнитосферная суббура, разрушающая его спокойную магнитную конфигурацию. Во время суббуры электроны движутся к Земле и «высыпаются» в полярную ионосферу. Фотографии охватывают 20-минутный интервал, во время которого происходило изменение магнитной структуры хвоста.

линия Солнце—Земля пересекает магнитопаузу, называется «подсолнечной». Эта точка, в которой земное магнитное поле останавливает поступательный импульс солнечного ветра, лежит на расстоянии примерно 10 радиусов Земли перед планетой. (Радиус Земли $R_3 = 6370$ км обычно используется в магнитосферных исследованиях как характерный пространственный масштаб.) Здесь с дневной (освещенной) стороны магнитное поле Земли сжато из-за давления солнечного ветра; на ночной стороне поток солнечного ветра «тянет» магнитные силовые линии вслед за собой и создает магнитосферный хвост. Диаметр хвоста лежит в диапазоне между 40 и $60R_3$, а его длина превышает $1000R_3$.

Магнитосферный хвост состоит из двух примыкающих половин, называемых «долями» хвоста. Магнитные поля в них имеют противоположные направления (см. рисунки на с. 18, 19). В верхней (северной) доле хвоста магнитные силовые линии направлены к Солнцу и соединяют хвост с северной полярной областью на Земле. В нижней (южной) доле магнитное поле направлено от Солнца, и силовые линии связывают эту область хвоста с южной полярной областью на Земле. Обе доли хвоста разделены слоем токов,



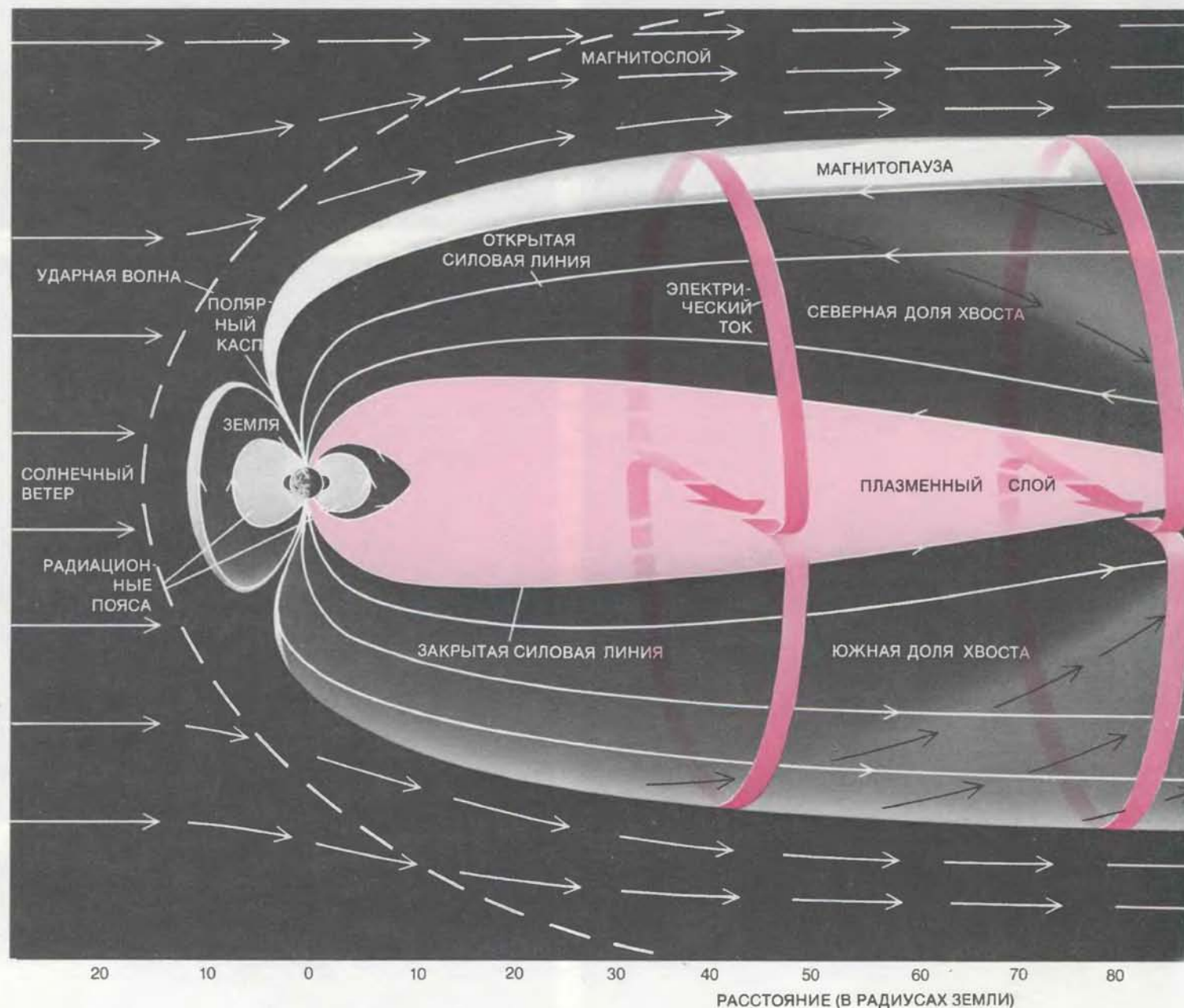
текущих поперек хвоста, вдоль его экваториальной плоскости и затем замыкающихся за счет обтекания вокруг северной и южной долей. Эти токовые петли и создают антипараллельные магнитные поля в долях хвоста.

Магнитное поле не полностью экранирует магнитосферу от попадания плазмы солнечного ветра, неко-

торое количество солнечной плазмы проникает в магнитосферу с дневной стороны и растекается по внешней поверхности хвоста. Из граничных областей плазма течет через доли к экваториальной плоскости хвоста, где она концентрируется, образуя вокруг экваториальной плоскости слой относительно плотной плазмы, называемый плазменным слоем. Частицы

плазменного слоя и переносят поперечный ток, разделяющий доли хвоста.

ДИНАМИКА магнитосферного хвоста определяется различными взаимодействиями заряженных частиц, электрических токов, электрических и магнитных полей друг с другом. Поэтому физика плазменных



СХЕМАТИЧЕСКОЕ ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ МАГНИТОСФЕРЫ показывает основные особенности ее электрической и магнитной конфигурации. Солнечный ветер тормозится на головной ударной волне. Область между ударной волной и границей магнитосферы, где течет заторможенный и нагретый солнечный ветер, называется магнитослоем. Магнитосферный хвост представляет собой часть магнитосферы вниз по потоку от Земли, его граница называется магнитопаузой. В верхней (северной) доле хвоста магнитные силовые линии направлены к Солнцу, в нижней (южной) доле — от Солнца. Между северной и южной долями находится слой плазмы (газа, состоящего из положительно и отрицательно заряженных частиц), проходящий поперек всего хвоста. Частицы, находящиеся в этом слое,

переносят электрический ток (показан красным цветом), который затем замыкается, обтекая доли хвоста вдоль магнитопаузы. Магнитная нейтральная линия находится в хвосте на расстоянии около 100 радиусов Земли (R_E) от самой планеты. Она также пересекает весь хвост (на рисунке показана только ее центральная точка). Электромагнитные силы, действующие на плазму в хвосте, вынуждают антипараллельные магнитные силовые линии двигаться по направлению к нейтральной линии, где они встречаются и пересоединяются друг с другом. За счет пересоединения вместо противоположно направленных магнитных полей, находившихся в северной и южной долях, в хвосте возникают закрытые силовые линии (магнитные петли, оба конца которых связаны с Землей)

процессов в хвосте весьма сложна, хотя в характере каждого из этих взаимодействий по отдельности можно разобраться достаточно быстро. Поняв их природу, можно объяснить сложную картину, которая возникает в результате их взаимодействия.

Сила, с которой магнитное поле действует на заряженные частицы, называется силой Лоренца; она



и открытые силовые линии, выходящие из хвоста, концы которых находятся в солнечном ветре. Плазма из магнитослоя может втекать в магнитосферу через полярные каспы и затем растекаться вдоль хвостовой магнитопаузы, образуя плазменную мантию. Из мантии плазма «дрейфует» по направлению к плазменному слою и инжектируется в слой благодаря процессу пересоединения. Хвост магнитосферы вытянут в межпланетное пространство по крайней мере на $1000 R_3$.

пропорциональна напряженности магнитного поля и поперечной магнитному полю компоненте скорости частицы. Сила Лоренца направлена под прямым углом к векторам магнитного поля и скорости (см. рисунок вверху на с. 20). В однородном магнитном поле сила Лоренца заставляет электроны и протоны вращаться по круговым орбитам (но в противоположных направлениях). Если начальная скорость частиц имела компоненту, параллельную или антипараллельную магнитному полю, то под действием силы Лоренца частица начнет двигаться по спирали. При движении частицы центр спирали движется вдоль магнитной силовой линии. Фактически частицы оказываются как бы «привязаны» к силовым линиям, вокруг которых наматывается спиральная траектория частиц.

Другое характерное взаимодействие, важное для физики хвоста, — так называемый дрейф в скрещенных электрическом E и магнитном B полях. Если поперек магнитного поля наложить электрическое (см. рисунок в середине на с. 20), частицы, «привязанные» к магнитным силовым линиям, т. е. движущиеся вокруг них по спиральным орбитам, начинают дрейфовать в направлении, поперечном одновременно направлениям E и B . Положительные (протоны) и отрицательные (электроны) частицы дрейфуют в одном направлении и с одинаковой скоростью. В результате все частицы плазмы (т. е. газа с равным количеством положительно и отрицательно заряженных частиц) дрейфуют вместе, как единый ансамбль. Вместе с плазмой движутся и магнитные силовые линии: их скорость равна скорости дрейфа частиц в скрещенных полях, так что магнитное поле оказывается как бы «вмороженным» в плазму.

В некоторых случаях магнитное поле может оказаться очень слабым или начать быстро меняться во времени или в пространстве. В таких ситуациях «тандем», в котором происходило движение плазмы и магнитного поля, разваливается. Вместо совместного движения с плазмой магнитное поле начинает диффундировать сквозь нее. При этом магнитные силовые линии противоположных направлений могут сблизиться друг с другом, разорваться и вновь соединиться уже в новой комбинации. Этот процесс, называемый магнитным пересоединением, играет ключевую роль в магнитосфере как в те периоды, когда в ней накапливается энергия, поступающая из солнечного ветра (более или менее непрерывный процесс), так и тогда, когда в хвосте накопленная энергия

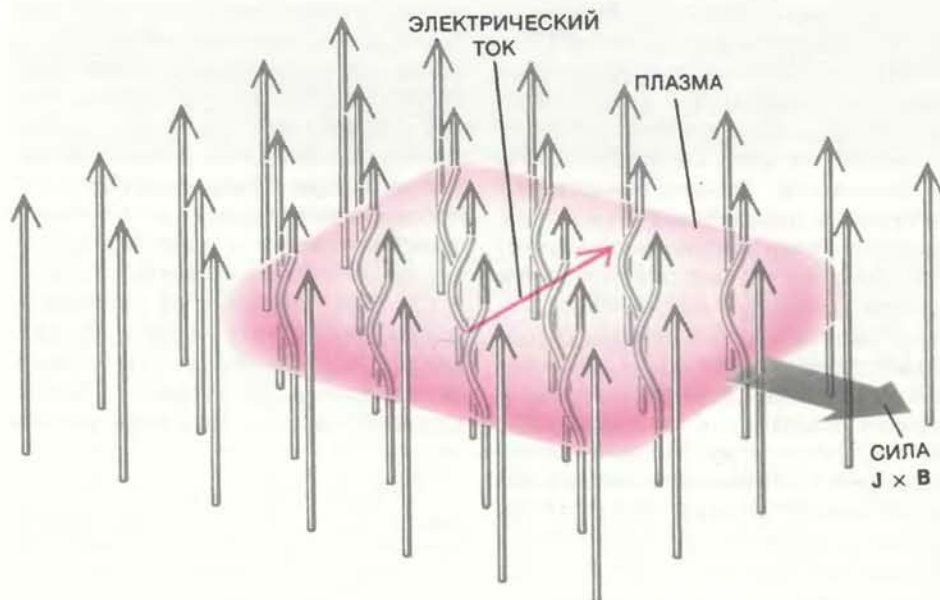
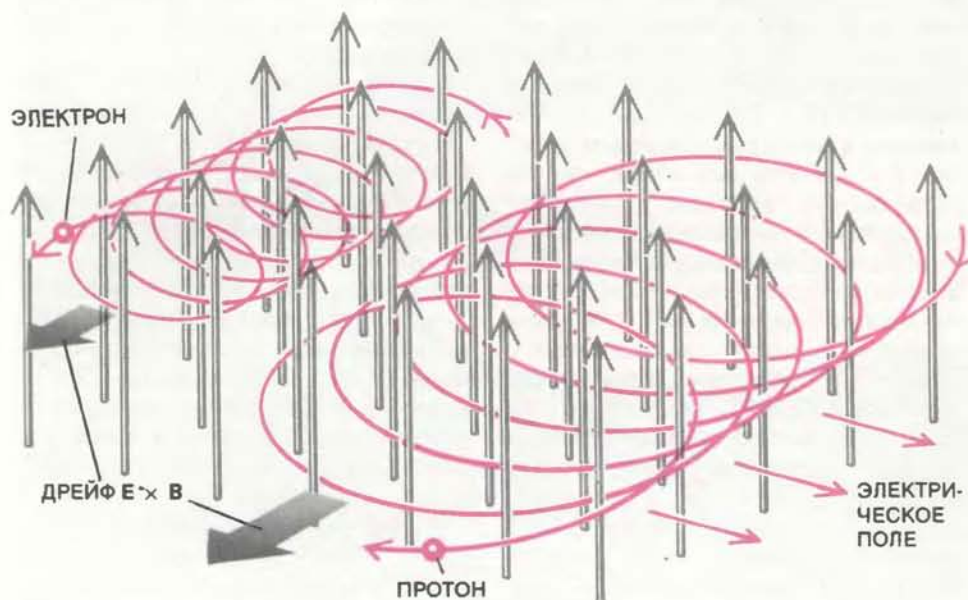
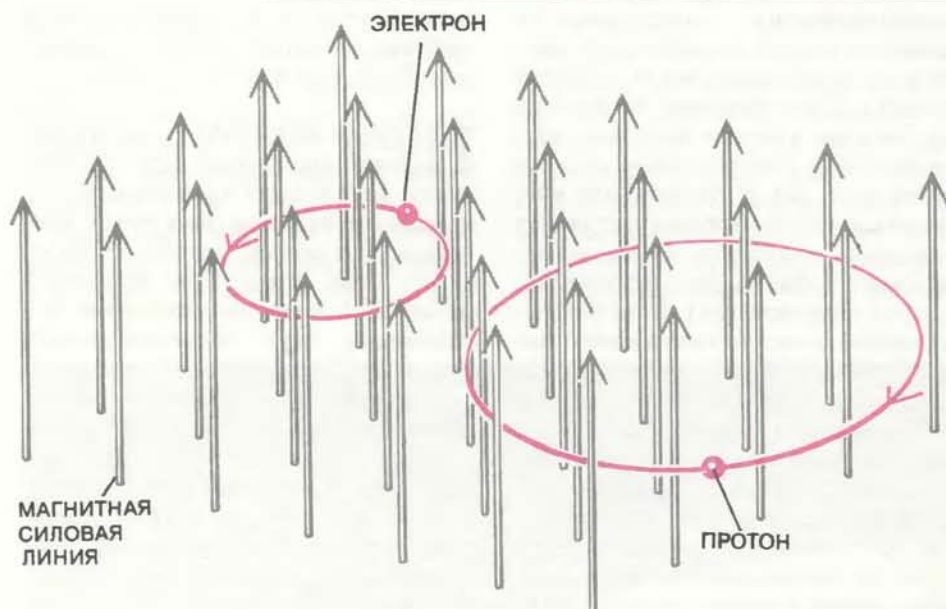
высвобождается и преобразуется в энергию полярных сияний и движущихся плазмоидов.

ПЕРЕСОЕДИНЕНИЕ магнитных полей происходит при приближении друг к другу противоположно направленных магнитных полей. Зрительно этот процесс легче всего вообразить себе, представив изменения магнитного поля, происходящие при сближении двух подковообразных магнитов, одинаковых по размеру и силе. При этом магниты должны сближаться так, чтобы их противоположные полюса двигались навстречу друг другу (северный полюс одного должен оказаться напротив южного полюса другого). Магнитное поле при сближении магнитов меняется таким образом, что некоторые силовые линии, первоначально соединявшие северный и южный полюсы каждого из магнитов, в какой-то момент пересоединяются и начинают проходить уже от северного полюса одного из магнитов к южному полюсу другого.

Магнитное пересоединение в магнитосфере Земли является гораздо более сложным процессом, и его уже не удастся представить таким простым способом. Основная сложность связана с тем, что магнитосфера заполнена плазмой, т. е. «жидкой» средой, которая проводящей электрический ток. Токи создают магнитное поле, которое в свою очередь «давит» на плазму и заставляет ее перемешаться. Тем не менее принципиальные особенности пересоединения остаются теми же, что в вакууме: магнитное пересоединение происходит в тех областях магнитосферы Земли, где контактируют друг с другом плазменные области, замагниченные противоположно направленными магнитными полями*.

Плазменный слой является одной из магнитосферных областей, где возможно пересоединение магнитных полей. Фактически за счет пересоединения постоянно происходит процесс обновления плазменного слоя. Этот процесс начинается там, где плазма солнечного ветра проникает внутрь магнитосферы. Главным образом это проникновение происходит в дневных полярных каспах — своеобразных узких щелях на магнитопаузе (см. рисунок слева), лежащих на высокоширотных магнитных силовых линиях, входящих в ионосферу и выходящих из нее вблизи магнитных полюсов. Солнечная плазма, проникшая внутрь

* В более общем случае могут пересоединяться не только антипараллельные поля, но и просто магнитные поля, направленные под конечным углом друг к другу. — Прим. перев.



магнитосферы, течет от Земли по магнитным силовым линиям вдоль внешней границы долей хвоста, формируя нечто вроде плазменного шлейфа, окутывающего хвост. Этот шлейф получил название плазменной мантии. Частицы плазменной мантии помимо движения вдоль хвоста перемещаются и поперек него за счет дрейфа в скрещенных полях. В результате частицы начинают скапливаться в плазменном слое вокруг экваториальной плоскости хвоста. Дрейфующая плазма переносит с собой и противоположно направленные «вмороженные» магнитные поля. В некоторой области на границе, разделяющей доли хвоста, условие «вмороженности» магнитного поля в плазму нарушается и образуется диффузионная область, где силовые линии магнитного поля могут двигаться через плазму.

Внутри диффузионной области противоположно направленные магнитные силовые линии начинают соприкасаться и пересоединяться друг с другом через плазменный слой (силовые линии, направленные к Солнцу, приходят из северной доли хвоста, а линии, направленные от Солнца, —

ТРИ СИЛЫ, участвующие в образовании и эволюции магнитосферного хвоста. В однородном магнитном поле (вверху) сила Лоренца заставляет электроны и протоны двигаться в противоположных направлениях по круговым орбитам. Сила Лоренца «привязывает» заряженные частицы к магнитным силовым линиям. Если поперек магнитного поля B приложено электрическое E , то у заряженных частиц появляется еще один тип движения, называемый дрейфом в скрещенных полях E и B (в середине). За счет этого дрейфа центры, вокруг которых вращаются частицы, смещаются поперек как электрического, так и магнитного поля. В скрещенных полях, например, «дрейфуют» по направлению к плазменному слою частицы плазменной мантии. На плазму, в которой течет ток J , поперечный магнитному полю, действует еще сила $J \times B$ (сила Ампера), показанная в нижней части рисунка. Эта сила ускоряет плазму в направлении, перпендикулярном направлению тока J и магнитного поля B . Ток сам по себе служит источником магнитного поля, которое возмущает исходное поле, искривляя его силовые линии в направлении, противоположном действию силы $J \times B$. Именно эта сила останавливает перед магнитосферой поток плазмы солнечного ветра и, одновременно действуя на дипольное магнитное поле Земли, «вытягивает» из него протяженный магнитный хвост.

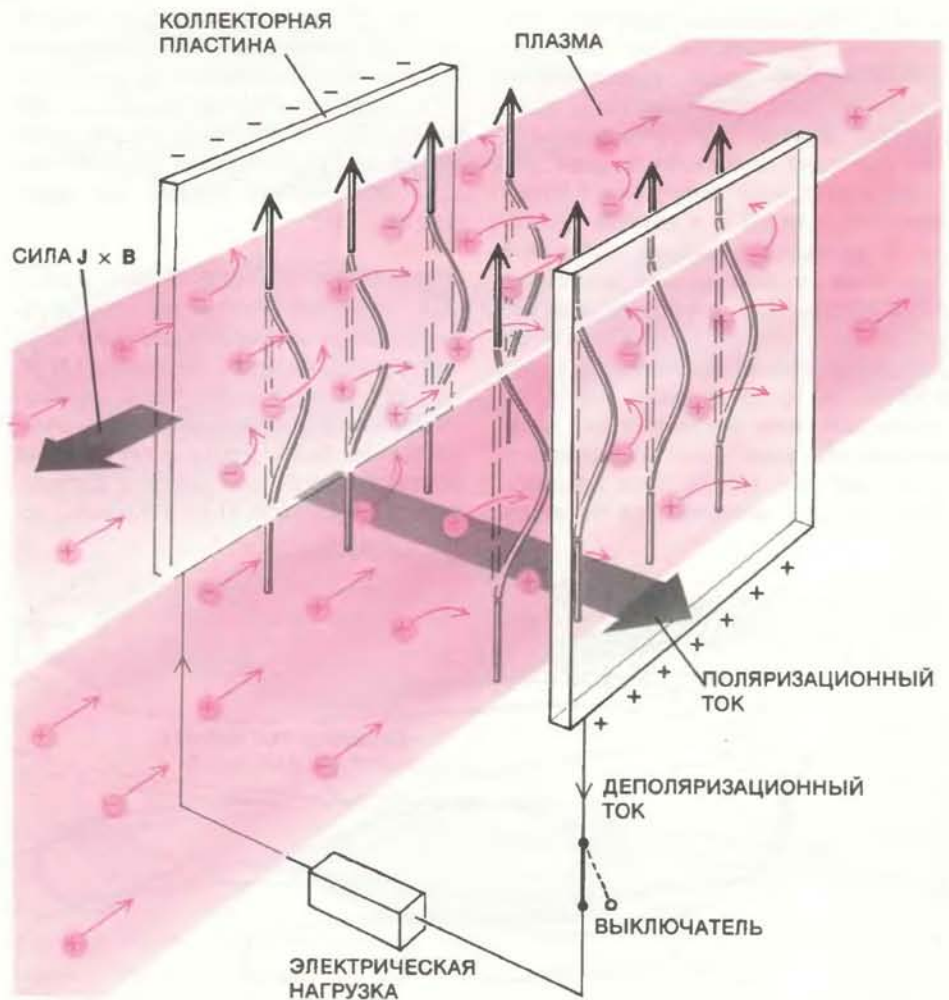
из южной). В области, где противоположно направленные магнитные поля соприкасаются, происходит их наложение и результирующая напряженность магнитного поля оказывается равной нулю. Поэтому область, где происходит пересоединение, называется магнитной нейтральной линией. В обычных условиях она располагается в плазменном слое хвоста на расстоянии примерно $100R_3$ от Земли. Плазма может эжектироваться из диффузионной области вдоль экваториальной области хвоста. При эжекции в обе стороны от нейтральной линии выбрасываются узкие клиновидные струи ускоренной плазмы. Струя, направленная к Земле, обновляет плазму в плазменном слое; струя, направленная от Земли, уходит вниз по потоку вместе с плазмой солнечного ветра.

В результате пересоединения в магнитосферном хвосте могут возникнуть три группы магнитных силовых линий (четвертая группа, которая связана с образованием плазмоидов и возникает в хвосте только временно, будет обсуждена ниже). Каждая группа силовых линий занимает в пространстве особое место. Силовые линии относятся к той или иной группе в зависимости от того, как они связаны с Землей. Силовые линии в долях хвоста составляют первую группу. Один конец каждой из этих линий связан с Землей, другой находится в солнечном ветре. Такие силовые линии называются открытыми.

Вторая группа — это силовые линии плазменного слоя, занимающие область между нейтральной линией и Землей. Каждая силовая линия представляет собой магнитную петлю, оба конца которой связаны с Землей. Такие петли возникают после пересоединения антипараллельных силовых линий, находившихся в долях хвоста. Силовые линии этой группы называются закрытыми.

Третья группа силовых линий находится в плазменном слое вниз по потоку от нейтральной линии. Эти силовые линии также представляют собой петли, но уже не связанные с Землей. Они, так же как и силовые линии предыдущей группы, образованы из антипараллельных магнитных полей, пересоединившихся на нейтральной линии. Концы этих силовых линий вытянуты от Солнца и находятся в межпланетном пространстве, поэтому они носят название межпланетных силовых линий.

МАГНИТОСФЕРНЫЙ хвост не всегда состоит из этих трех простых групп силовых линий. Иногда взаимодействие солнечного ветра с



МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ электрической энергии из кинетической энергии движущейся плазмы представляет механизм передачи энергии солнечного ветра магнитосферному хвосту. В магнитогиродинамическом генераторе плазма (показана красным цветом) сталкивается с магнитным полем. За счет силы Лоренца частицы с зарядами разных знаков движутся к противоположным пластинам. Движение зарядов приводит к возникновению электрического тока, текущего поперек магнитного поля и называемого поляризационным. Если выключатель (внизу) замыкает цепь, то ток будет течь непрерывно. Сила $J \times B$ противодействует движению плазмы. Магнитное поле, создаваемое поляризационным током, искривляет магнитное поле установки.

геомагнитным полем приводит к «переполнению» хвоста магнитной энергией. В результате в хвосте начинается процесс, называемый магнитосферной суббури, который разрушает простую картину магнитного поля, описанную выше. Суббуря представляет собой механизм, посредством которого магнитосфера высвобождает большие запасы магнитной энергии, накапливающейся в хвосте. Часть этой энергии затрачивается на создание полярных сияний вблизи Земли, другая уносится в солнечный ветер вместе с плазмоидами. (Следует отличать магнитосферную суббурю, продолжающуюся час или несколько больше, от магнитной бури, которая длится более суток и возникает тогда, когда в результате солнечной вспышки в солнечном ветре генерируется ударная волна.)

Чтобы понять природу суббури, полярных сияний и плазмоидов, необходимо уяснить детали того, как солнечный ветер передает энергию геомагнитному полю и как эта энергия растягивает (а в конце концов и разрывает) магнитные силовые линии. Ключевой момент здесь связан с тем, что столкновение солнечного ветра с магнитным полем Земли приводит к возбуждению электрических полей и токов, потому что, если их рассматривать вместе, магнитосфера и солнечный ветер представляют собой магнитогиродинамический (МГД) генератор.

В обычном МГД-генераторе, построенном на заводе, электромагнит создает сильное магнитное поле между двумя металлическими пластинами, а плазма течет между ними поперек магнитного поля (см. рисунок на

с. 21). Мощность, создаваемая генератором, выделяется во внешней электрической цепи, соединяющей пластины. Как только частицы плазмы попадают в магнитное поле, на них начинает действовать сила Лоренца и отклоняет электроны к одной пластине, а ионы — к другой. Частицы с разными зарядами начинают двигаться в плазме относительно друг друга. Это движение создает между пластинами так называемый поляризационный ток. Если бы в устройстве было достаточно места, то магнитное поле заставило бы заряженные частицы двигаться по круговым орбитам. Но на пути вращающихся частиц оказываются металли-

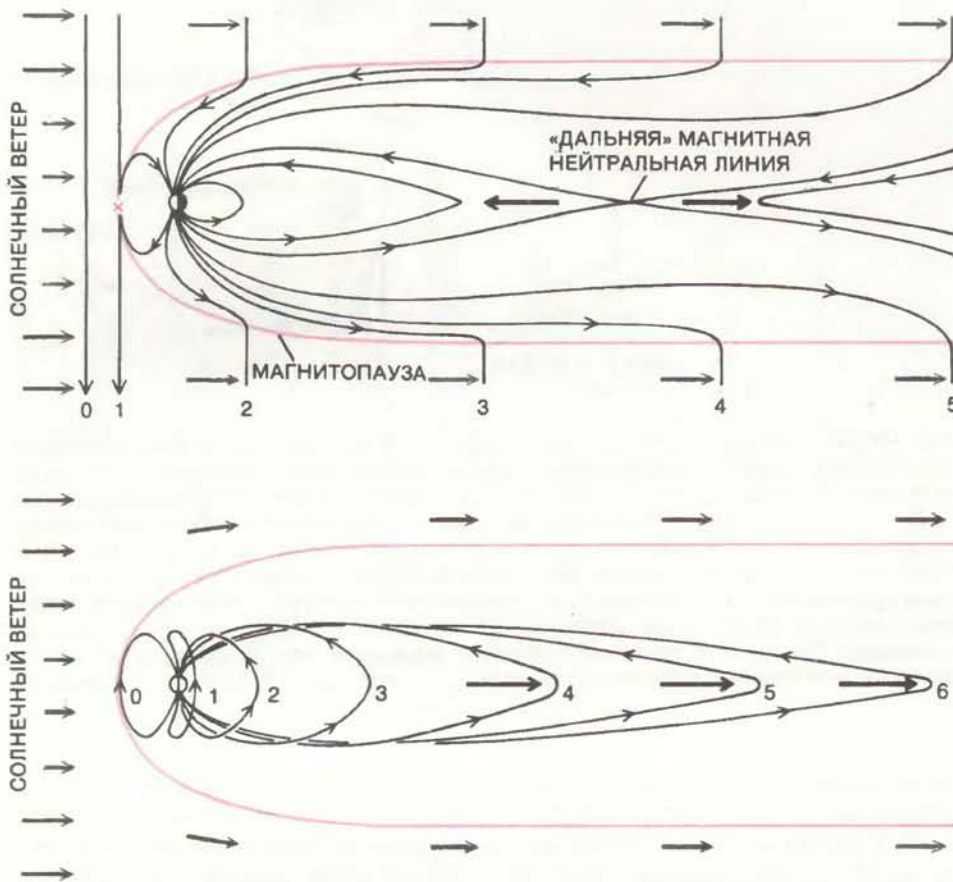
ческие (электропроводящие) пластины. На одной пластине собираются отрицательные заряды, а на другой — положительные. Затем заряды стекают с пластин и движутся по внешней цепи. Этот внешний ток называется деполяризационным (см. рисунок на с. 21).

В МАГНИТОСФЕРЕ Земли магнитогидродинамические генераторы создают электрический ток в двух различных областях. Основной МГД-процесс связан с магнитным пересоединением в лобовой области магнитосферы. Здесь происходит первый контакт солнечного ветра с магнитным полем Земли. Поток плазмы, ис-

текающий из Солнца (солнечный ветер), вытягивает и уносит солнечное магнитное поле, «вмораживающееся» в этот поток. Направление силовых линий собственного магнитного поля в солнечном ветре может довольно беспорядочно меняться со временем. Когда эти силовые линии направлены к югу, т. е. противоположно направлению геомагнитных силовых линий в лобовой области магнитосферы, межпланетное и земное магнитные поля могут пересоединиться в магнитосферной подсолнечной точке. В результате некоторые магнитные силовые линии солнечного ветра окажутся напрямую связаны с Землей (см. рисунок внизу). Плазма солнечного ветра, текущая через эти открытые силовые линии, представляет собой основной движущий элемент «конструкции» МГД-генератора в лобовой магнитосфере. Поляризационные заряды, образующиеся в солнечном ветре, текут по внешней цепи, обладающей довольно низким сопротивлением и включающей ионосферу Земли (ионизированный проводящий слой атмосферы на высоте около 100 км над Землей).

В периоды, когда магнитное поле в солнечном ветре направлено к северу (а так бывает примерно в 50% случаев), пересоединение в лобовой области магнитопаузы резко замедляется и уменьшается поток энергии, поступающей в магнитосферу. Но даже тогда второй, менее мощный МГД-генератор продолжает свою работу. Конфигурация магнитного поля в магнитосфере оказывается такова, что на низких широтах некоторое количество плазмы солнечного ветра движется поперек замкнутых геомагнитных силовых линий. Каким образом эта плазма проникает внутрь магнитосферы, сейчас еще до конца не ясно, но, по-видимому, эффективность этого механизма слабо зависит от направления магнитного поля в солнечном ветре. Вторжение плазмы и ее движение под прямым углом к магнитному полю создают на низких широтах условия для магнитогидродинамической генерации электрического тока. Внешняя электрическая цепь, по которой затем текут поляризационные заряды, также проходит через ионосферу.

В те периоды времени, когда эти МГД-генераторы работают, электромагнитная энергия поступает из солнечного ветра в магнитосферу, где генерируются электрические токи, которые в свою очередь «растягивают» геомагнитные силовые линии. Растягивание магнитосферной конфигурации связано с электромагнитной силой, действующей на ток, помещен-

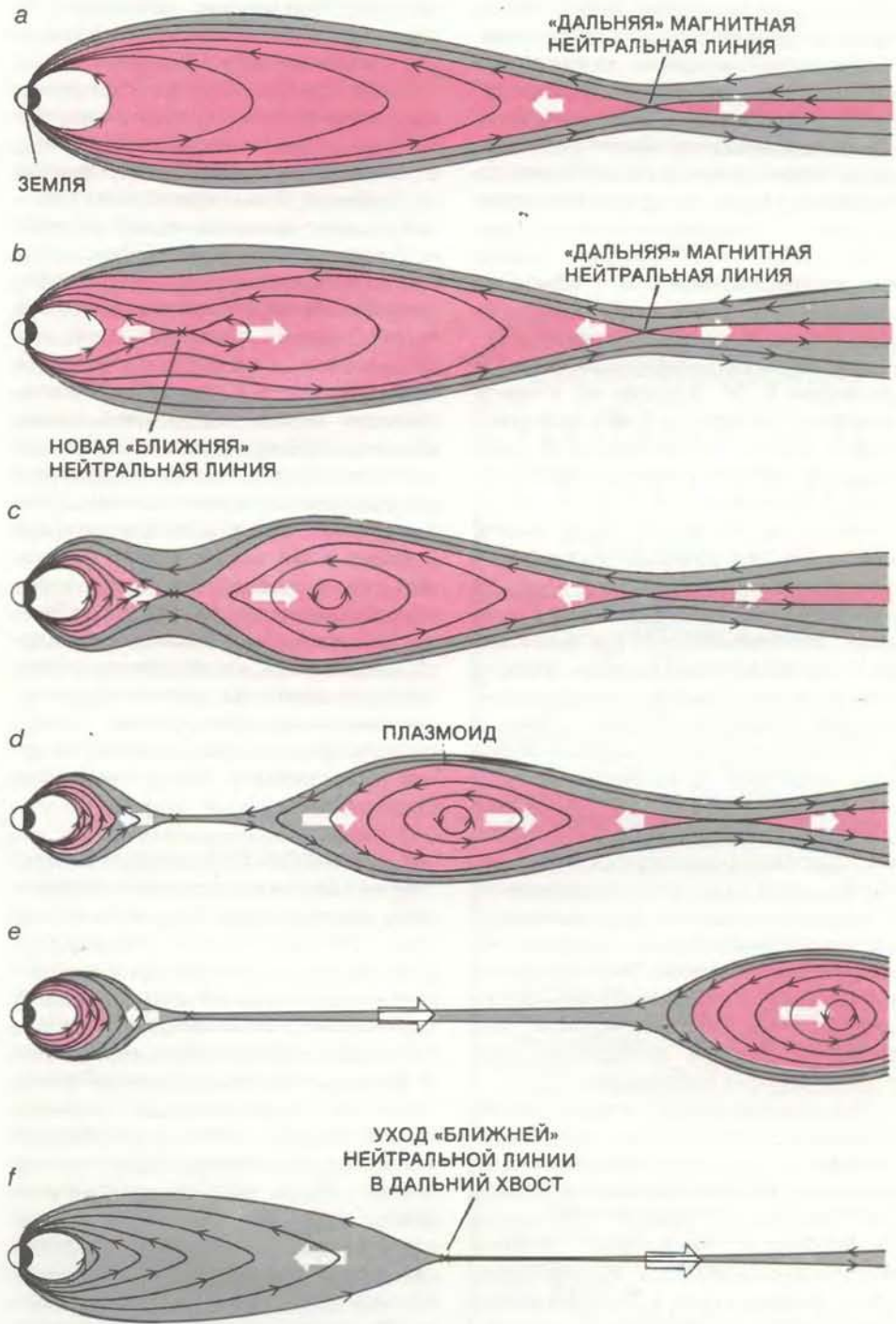


ДВЕ ОБЛАСТИ магнитогидродинамической (МГД) генерации энергии, возникающие при взаимодействии солнечного ветра с магнитным полем Земли. На обеих диаграммах показаны последовательные положения для данной магнитной силовой линии. *Вверху* изображен вертикальный разрез магнитосферы. Солнечный ветер приносит к магнитосфере солнечное магнитное поле (направленная на юг силовая линия 0). В подсолнечной точке магнитопаузы (показана красным цветом) линия 0 встречается с одной из силовых линий магнитного поля Земли, они пересоединяются друг с другом (линия 1), и межпланетная силовая линия оказывается связанной с Землей. Внешняя часть силовой линии «переносится» в хвост вместе с потоком плазмы солнечного ветра (линии 2—5). Ее внутренняя часть связывает магнитопаузу с ионосферой, вдоль которой текут поляризационные токи, генерируемые при МГД-взаимодействии на границе магнитосферы. *Внизу* изображен вид на магнитосферу сбоку. Силовая линия 0, находившаяся сбоку от магнитосферы, «переносится» в хвост (линии 1—6) вместе с плазмой солнечного ветра, проникшей внутрь через переднюю границу магнитосферы. Проникшая плазма пересекает магнитные силовые линии, как, например, ту, которая показана на рисунке. В боковой части магнитосферы также образуется МГД-генератор. Возбуждаемые в нем поляризационные токи могут замыкаться через ионосферу.

ный в магнитное поле \mathbf{V} (сила $\mathbf{J} \times \mathbf{V}$, показанная на нижней диаграмме на с. 20 и называемая силой Ампера*). Электрические токи, поддерживаемые МГД-процессами на границе магнитосферы, текут в плазме поперек магнитного поля. В результате на плазму действует сила в направлении, перпендикулярном как току \mathbf{J} , так и магнитному полю \mathbf{V} . В то же время магнитное поле самого тока изгибает магнитные силовые линии в направлении, противоположном действию этой силы.

Степень, с которой магнитогидродинамический процесс искривляет магнитные силовые линии, зависит от напряженности магнитного поля, интенсивности поляризационных токов и размеров самого МГД-генератора. Эффект искривления, например, практически не имеет значения в МГД-генераторах, работающих на земных электростанциях, а в магнитосфере играет принципиально важную роль. Если бы солнечный ветер вдруг остановился и его энергия прекратила поступать в магнитосферу, то геомагнитное поле сразу вернулось бы к привычной геометрии — простой симметричной картине, сходной с той, которую создает намагниченный железный брусок (магнитный диполь). Однако благодаря тому, что солнечный ветер движется и действует на магнитосферу с силой $\mathbf{J} \times \mathbf{V}$, силовые линии магнитного поля на ночной стороне очень сильно вытягиваются в направлении от Солнца и образуют магнитосферный хвост. Как мы уже говорили, хвост представляет собой гигантскую магнитную конфигурацию, в которой могут запасаться очень большие количества энергии. Оценка показывает, что накапливаемая величина достигает 10^{11} МДж (этой энергии достаточно, чтобы в течение нескольких суток обеспечивать электроэнергией все Соединенные Штаты). Полная мощность обоих МГД-генераторов, поставляющих энергию в магнитосферу, составляет 10^5 – 10^6 МВт; примерно такова полная мощность потребляемой электрической энергии в США.

ЧАСТЬ этой энергии передается во внутренние области магнитосферы, находящиеся вблизи Земли. С ней связано образование интенсивных полярных сияний и инжекция энергичных ионов и электронов на силовые линии, проходящие в экваториальной плоскости на расстояниях 1–6 ради-



ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАЗМОИДА — один из способов высвобождения энергии, запасаемой в магнитосферном хвосте. Процесс предсказан теорией и экспериментально подтвержден исследованиями с помощью спутников, выполненными в 1983 г. На диаграмме а показан примерный вид хвоста за 1 ч до начала магнитосферной суббури. «Дальняя» нейтральная линия удалена от Земли на расстояние около $100R_E$. Суббурия начинается из-за того, что магнитные силовые линии хвоста слишком сильно «растягиваются» при накоплении в хвосте энергии, поступающей из солнечного ветра. В плазменном слое на расстоянии около $15R_E$ от Земли формируется новая «ближняя» нейтральная линия (показана красным цветом) (b). Магнитные силовые линии пересоединяются в окрестности новой области пересоединения (c), пока не образуется плазмоид — громадный сгусток горячей плазмы, удерживаемый замкнутыми магнитными силовыми линиями, уже не связанными с Землей (d). Затем начинают пересоединяться магнитные силовые линии, находившиеся в долях хвоста (показаны серым цветом). Эти силовые линии образуют вокруг плазмоида своеобразную «рогатку», выбрасывающую его в направлении от Солнца (e). При пересоединении образуются также замкнутые силовые линии, которые, сокращаясь, приближаются к Земле. Захваченные ими частицы инжектируются в радиационные пояса и «высыпаются» в верхнюю атмосферу. Энергия, переносимая ими к Земле, диссипируется на высоте около 100 км, вызывая резкое повышение яркости полярных сияний. Новая нейтральная линия в конце концов «уходит» в дальний хвост (f), и магнитосфера возвращается к исходному «спокойному» состоянию.

* Фактически сила Ампера представляет собой ту же силу Лоренца, умноженную на число частиц, переносящих ток. — Прим. перев.

усов Земли от планеты. Значительная часть энергии (и плазмы), накапливаемая в магнитосферном хвосте, в конечном счете возвращается в солнечный ветер в форме плазмоидов.

«Земной конец» этой сложной цепи событий изучался на Арктической сети обсерваторий во время Международного геофизического года (1957—1958 гг.). Полярные сияния фотографировались с помощью специальных фотокамер, позволяющих получить полную картину неба. Снимки делались каждую минуту. На их основе С.-И. Акасофу из Университета шт. Аляска в Фэрбанксе предложил модель так называемой авроральной суббури. Авроральная суббуря рассматривалась им как одна из составных частей общей магнитосферной суббури, которая проявляется при наземных наблюдениях в полярных областях. По наблюдениям Акасофу, авроральная суббуря начинается с внезапного повышения яркости дуг полярных сияний. Сияния затем распространяются к востоку, западу и в сторону северного и южного полюсов, примерно за полчаса достигая магнитных широт 75° — 80° . Затем следует восстановительная фаза суббури, которая продолжается около часа. Во время фазы восстановления интенсивность свечения дуг уменьшается, и они движутся назад в сторону экватора. Наблюдения, проводившиеся одновременно в северной и южной полярных областях, подтвердили, что развитие суббури происходит синхронно в обоих полушариях.

В настоящее время ученые в какой-то степени представляют себе магнитосферные процессы, наземным проявлением которых являются полярные сияния. В начале 70-х годов Ф. Коронити, Ч. Кеннел, Р. МакФеррон и К. Расселл из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе разработали теоретическую модель, объясняющую причину возникновения магнитосферных суббурь, которая сохраняет свое значение и широко используется до сих пор. Основным ее элементом служит предположение о формировании в хвосте новой нейтральной линии. Эта идея восходит к работам Дж. Данжи из Кембриджского университета, опубликованным в начале 60-х годов. Исследования автора настоящей статьи связаны с углублением и развитием этой модели. В них широко использовались данные спутниковых измерений в хвосте, полученные с помощью приборов, разработанных С. Беймом, С. Сингером и другими коллегами автора по работе в Лос-Аламосской национальной лаборатории. Очень важно, что в разрабатываемой модели предска-

зываются образование плазмоида в хвосте и его последующее выталкивание в межпланетное пространство.

В тот момент, когда на Земле начинается авроральная суббуря, в магнитосферном хвосте на расстоянии $15R_3$ от планеты (примерно 1/4 расстояния от Земли до Луны) происходит спонтанное формирование новой магнитной нейтральной линии. Эта линия иногда называется околоземной нейтральной линией и представляет собой новую область пересоединения, образующуюся в хвосте в начале суббури (см. рисунок на с. 23). Формированию новой нейтральной линии обычно предшествует очень сильное вытягивание силовых линий хвоста в «антисолнечном» направлении. Это растяжение продолжается около часа и становится заметным уже для силовых линий, проходящих в экваториальной плоскости дальше $7R_3$ от Земли. Вытягивание силовых линий хвоста объясняется возрастанием темпа пересоединения на магнитопаузе и, следовательно, увеличением магнитогидродинамической передачи энергии из солнечного ветра в магнитосферный хвост.

ФОРМИРОВАНИЕ новой нейтральной линии в свою очередь прерывает электрический ток, который до этого протекал поперек плазменного слоя. В результате в околоземной области хвоста происходит внезапное уменьшение интенсивности поперечного тока. «Натяжение» магнитных силовых линий там резко ослабевает, и они как бы «коллапсируют», быстро стягиваясь к Земле и приобретая все менее возмущенную (дипольную) форму. Из-за резкого сокращения длины силовых линий захваченные ими электроны начинают «высыпаться» в верхнюю атмосферу. Свечение атмосферных атомов, сталкивающихся с этими электронами на высоте около 100 км над поверхностью Земли, и дает те величественные картины полярных сияний, которые можно наблюдать в авроральных областях.

Тем временем в хвосте начинаются события, которые приводят к формированию плазмоида. Растянутые антипараллельные силовые линии хвоста начинают взаимодействовать в окрестности новой нейтральной линии и пересоединяются там. В результате с левой стороны нейтральной линии формируется укорачивающаяся петля закрытых силовых линий, оба конца которых связаны с Землей. Мы только что обсуждали процесс «коллапсирования» этой петли к дипольному полю. С правой стороны от нейтральной линии образуются замкнутые петли магнитных силовых линий.

Замкнутые петли занимают всю область от новой (околоземной) нейтральной линии до «старой» (дальней) нейтральной линии, существовавшей в хвосте еще до начала суббури (см. рисунок на с. 23). Из области пересоединения выбрасываются две мощные плазменные струи: одна направлена от Земли и «уносит» в межпланетное пространство замкнутые магнитные петли, другая направлена в сторону Земли и «несет» «коллапсирующие» магнитные силовые линии. Скорость плазменных струй может достигать нескольких сотен километров в секунду.

Когда пересоединятся все закрытые магнитные силовые линии, содержащиеся в плазменном слое, в хвосте образуется система замкнутых магнитных петель, охватывающих друг друга и в то же время никак не связанных с Землей. Длина этой системы (в момент ее образования) составляет от 70 до 80 радиусов Земли. Ширина может достигать половины ширины хвоста, т. е. лежать в пределах от 20 до 25 радиусов Земли. И наконец, высота должна быть равна толщине плазменного слоя, т. е. примерно 10—12 радиусам Земли. Замкнутая магнитная конфигурация, созданная этими петлями, вместе с удерживаемой ими горячей плазмой составляет плазмоид. После того как произошло образование плазмоида, дальнейшее пересоединение открытых силовых линий из долей хвоста приводит к тому, что плазмоид оказывается как бы вложенным в гигантскую «рогатку» из окружающих его «натянутых» силовых линий межпланетного магнитного поля. Силовые линии стремятся сократиться и вытолкнуть плазмоид из хвоста в направлении от Солнца. Скорость, которую приобретает плазмоид при «выстреле» из такой «магнитной рогатки», достигает 500—1000 км/с (или 10 радиусов Земли в минуту). Между нейтральной линией и уходящим в хвост плазмоидом остается только очень тонкий плазменный слой, пронизанный межпланетными магнитными силовыми линиями.

До сих пор с момента начала суббури прошло только около 10 мин. За этот короткий период и разыгрываются все описанные выше события. Во время следующей стадии, которая длится от 30 мин до 1—2 ч, «новая» нейтральная линия остается в околоземной области на своем месте и процесс пересоединения магнитных полей на ней продолжается. Соответственно возрастает число закрытых магнитных силовых линий на ночной стороне и продолжает действовать механизм, поддерживающий высыпа-

ние электронов и создающий яркие авроральные свечения в полярных областях. Эта стадия заканчивается внезапным быстрым «уходом» нейтральной линии от Земли. Плазменная струя, бьющая по направлению к Земле из удаляющейся в хвост нейтральной линии, восполняет потери плазменного слоя и возвращает его к обычному «среднему» состоянию, которое существовало до начала суббури.

Описанная выше модель магнитосферных явлений, происходящих во время суббури, основывалась вначале лишь на спутниковых измерениях плазмы, магнитных полей и отдельных высокоэнергичных частиц, проведшихся в ближайшей к Земле области хвоста ($7-35R_E$). Фактически модель, использующая представление о формировании в хвосте новой нейтральной линии, развивалась для того, чтобы объяснить эти измерения. В 1983 г. космический аппарат ISEE 3 (International Sun-Earth Explorer 3 — третий международный космический зонд для исследования солнечно-земных связей), запущенный НАСА, исследовал и дальние области хвоста вплоть до расстояний примерно 230 радиусов Земли. Модель нейтральной линии получила яркое и убедительное подтверждение. При измерениях в дальнем хвосте было обнаружено, что мимо космического аппарата с большими скоростями (около 1000 км/с) проносятся крупномасштабные магнитные структуры — плазмоиды, существование которых было предсказано теорией еще задолго до 1983 г.

ИЗУЧЕНИЕ магнитосферного хвоста — это не только попытка разобраться в том, какие электромагнитные явления происходят в околоземном космическом пространстве. Хвост магнитосферы Земли представляет собой уникальную плазменную лабораторию. Доступность различных областей хвоста непосредственным спутниковым измерениям позволяет изучать отдельные важные детали многих астрофизических плазменных процессов. Одним из таких процессов служит пересоединение магнитных полей, играющее принципиальную роль во многих космических явлениях. Последние годы большой интерес вызывают космические струи (выбросы) — гигантские, узкоколлимированные потоки горячей плазмы, выбрасываемые из звезд и даже галактик. До сих пор нет большой ясности в понимании их природы и динамики. Тем не менее уже известно, что в таких струях имеются магнитные поля, а некоторые, кроме того, содер-

жат и более мелкие когерентные структуры. Плазма, находящаяся внутри этих субструктур, по-видимому, магнитоизолирована от остальной струи, так что они представляют собой астрофизический аналог магнитосферных плазмоидов.

Магнитные хвосты часто наблюдаются у тел Солнечной системы. Они возникают в тех случаях, когда небесное тело, имеющее собственное магнитное поле (как у Меркурия, Земли, Юпитера и Сатурна) или электропроводящую атмосферу (как у Венеры и комет), взаимодействует с потоком движущейся замагниченной плазмы. При этих условиях на обтекающий плазменный поток действуют электромагнитные силы, обсуждавшиеся выше в этой статье. За счет такого взаимодействия поток «вытягивает» вслед за собой магнитные силовые линии. При этом в пространстве, расположенном за телом, может накапливаться магнитная энергия. Импульсивное высвобождение этой энергии, как и в магнитосферном хвосте, достигается благодаря пересоединению магнитных полей. Именно так удалось объяснить явление отсоединения, часто наблюдаемое в кометных хвостах, когда весь хвост кометы или отдельные его части внезапно отрываются и уходят в межпланетное пространство.

Следующий этап изучения магнитосферного хвоста, в осуществлении которого участвует и автор этой статьи, связан с международным проектом изучения полярных областей и внешней магнитосферы PROMIS (Polar Region and Outer Magnetosphere International Study). Работа по проекту начнется в середине марта и будет продолжаться до середины июня 1986 г. Основная цель проекта — координация измерений на европейских и американских искусственных спутниках, уже находящихся в космосе, для того, чтобы данные, полученные в различных областях хвоста, можно было сопоставить с синхронными наблюдениями полярных сияний в северной и южной авроральных областях.

В заключение следует отметить, что процессы пересоединения и образования плазмоидов происходят не только в космосе, но и в лабораторной плазме. Во многих странах сейчас ведутся работы, направленные на то, чтобы обуздать энергию термоядерного синтеза. Лабораторные установки для исследования этой проблемы представляют собой устройства, в которых сильное магнитное поле удерживает очень горячую плазму, содержащую взаимодействующие между собой атомные ядра. В некоторых не-

давно проведенных экспериментах магнитные силовые линии, проходящие через удерживаемый плазменный сгусток, за счет пересоединения «отрывались» от своих источников. В результате плазма оказывалась внутри замкнутой магнитной петли и очень напоминала плазмоид, возникающий в магнитосферном хвосте.

Издательство ФИНАНСЫ И СТАТИСТИКА предлагает:

**Б. Леонг-Хонг,
Б. Плагман**

СИСТЕМЫ СЛОВАРЕЙ- СПРАВОЧНИКОВ ДАННЫХ

Перевод с английского

Книга знакомит читателей с концепцией, реализацией и внедрением словарей-справочников данных — центральной части современных информационных систем (ИС). Приведены языковые средства взаимодействия со словарем-справочником. Описана организация взаимодействия участников проекта ИС. Приведен комплексный пример разработки ИС с использованием СУБД сетевой структуры (разработанной по предложению КОДАСИЛ) и интегрированного словаря-справочника, включенного в состав этой СУБД.

Для специалистов, работающих с базами данных, проектировщиков ИС и администраторов баз данных.

1986, 21 л. Цена 1 р. 60 к.

Книги издательства «Финансы и статистика» можно приобрести в книжных магазинах, распространяющих общественно-политическую литературу, и в магазинах — опорных пунктах. Там же можно ознакомиться с планом выпуска литературы издательства на 1986 г. Прием предварительных заказов на эти издания будет производиться в пределах плановых тиражей, указанных в аннотированном плане.



Молекулярная генетика гемофилии

Причина гемофилии — дефект гена,

кодирующего ключевой белок системы свертывания крови.

Этот белок удалось получить искусственно, выделив нормальный ген и введя его в клетки, растущие в культуре

РИЧАРД М. ЛОН, ГОРДОН А. ВИХАР

НЕБОЛЬШОЙ дефект в одном из генов, ведущий к отсутствию или недостатку кодируемого этим геном белка, может быть причиной изнурительной болезни. К таким болезням относится гемофилия. У гемофиликов отсутствует важный белок крови, участвующий в каскаде ферментативных реакций, обеспечивающих свертывание крови в месте повреждения сосуда. Больные тяжелой формой гемофилии, если не принимаются никаких лечебных мер, страдают от внутренних кровотечений, которые возникают даже после незначительного удара. Очень часто такие больные умирают из-за кровотечений в раннем возрасте.

К счастью, регулярные вливания в кровь концентратов недостающего белка оказывают благотворное терапевтическое действие на больных гемофилией. После того как в начале 1960-х годов эта форма лечения стала доступной, в развитых странах продолжительность жизни гемофиликов существенно увеличилась: если раньше она составляла 20 лет, то теперь почти достигла нормальной величины. Но белковые концентраты дороги — для их получения нужно большое количество донорской крови. В США стоимость крови, требующейся для лечения одного гемофилика, оценивается в 6000—10000 долл. в год. В развивающихся странах концентрат, как правило, недоступен. Кроме того, при использовании изготавливаемых из донорской крови препаратов возникает проблема распространения вирусных заболеваний. Большинство гемофиликов постоянно заражены вирусом гепатита и рискуют заболеть синдромом приобретенного иммунного дефицита.

Всем вышесказанным и обусловлен поиск путей производства антигемофильного белка методами генетической инженерии. В большинстве случаев гемофилия возникает вследствие дефекта в последовательности ДНК,

кодирующей белок системы свертывания крови, называемый фактором VIII. Исследовательским группам двух биотехнологических компаний, включая нашу группу, работающую в лаборатории фирмы Genentech, Inc. в Южном Сан-Франциско, недавно удалось выделить ген фактора VIII из клеток здоровых людей и встроить его в ДНК культивируемых клеток. Рекомбинантные клетки делятся, и в результате образуется много копий гена фактора VIII. В каждой рекомбинантной клетке синтезируется кодируемый этим геном белок и суммарная продукция фактора VIII оказывается весьма значительной.

Получаемый таким путем белок обладает активностью, специфичной для естественного фактора VIII: в условиях лабораторного эксперимента он индуцирует свертывание крови, взятой у гемофиликов, и эффективно действует при лечении гемофилии у собак. Genentech и Институт генетики в Кембридже сейчас разрабатывают методы производства фактора VIII в коммерческих масштабах. Хотя этому препарату предстоит пройти дальнейшие испытания на животных и на людях, все идет к тому, что в ближайшие годы в продаже появится в достаточном количестве чистый, не загрязненный вирусами фактор VIII.

Доступность клонированного гена уже повлияла на ход исследований гемофилии, которые прежде были ограничены чрезвычайно трудоемкими процессами выделения и очистки фактора VIII. Концентрация этого белка в крови невелика, притом он имеет необычайно большие молекулярные размеры и нестабилен. Начиная работу, мы не знали ни его структуру, ни место синтеза в организме. Сейчас, получая фактор VIII в лаборатории, мы имеем возможность полноценно изучать весь комплекс проблем. По структуре гена установлена структура белка. В нескольких случаях нам и другим исследователям удалось обна-

ружить в гене фактора VIII мутации, определяющие развитие гемофилии и передающиеся по наследству.

ОТом, что гемофилия передается по наследству, было известно еще во времена написания Талмуда. Его авторы предписывали не подвергать обрезанию мальчиков, чьи старшие или двоюродные братья умерли от кровотечения после исполнения этого обряда. Четкая схема наследования заболевания — страдают гемофилией только мужчины, а женщины являются лишь ее носителями — была впервые описана в начале XIX в. Среди носителей гемофилии наиболее известна королева Виктория. Гемофиликом был один из ее сыновей, и по крайней мере две дочери оказались носителями. После замужества этих дочерей мутантный ген распространился в королевских фамилиях Германии, России и Испании.

Сейчас известно, что гемофилия сцеплена с полом, так как ген фактора VIII находится в половой X-хромосоме. Поскольку у мужчин одна X-хромосома и, стало быть, лишь один ген фактора VIII, унаследованный от матери, проявление гемофилии неизбежно, если этот ген дефектен. У женщин две X-хромосомы и соответственно два гена фактора VIII, по одному от каждого из родителей. Таким образом, женщина, имеющая дефектный ген, не будет страдать от проявлений болезни, потому что нормальный ген во второй X-хромосоме обеспечит свертывание крови. Вероятность того, что обе X-хромосомы несут дефектный ген, мала, поэтому среди женщин случаи гемофилии крайне редки. В среднем женщины-носители передают мутантный ген половине своих дочерей, которые в свою очередь становятся носителями, и половине своих сыновей, у которых развивается гемофилия.

Процесс свертывания крови понятен лишь в общих чертах. Инициру-

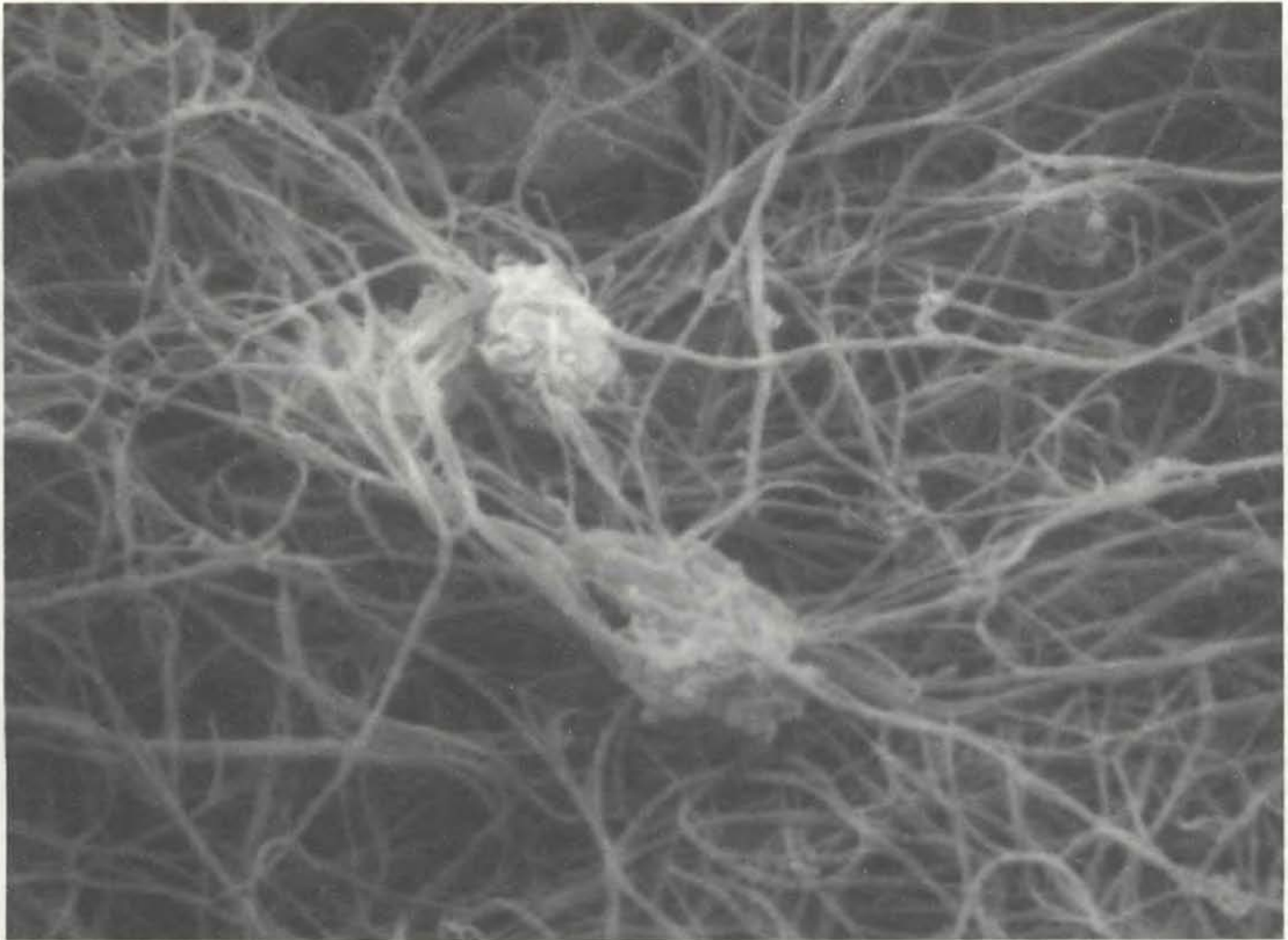
ется он адгезией клеток крови, называемых тромбоцитами (или кровяными пластинками) на месте повреждения сосуда. Тромбоциты закрепляются на пораженном участке нитями нерастворимого белка фибрина; в противном случае они легко смывались бы током крови. Образование сети фибрина из его растворимого предшественника фибриногена — ключевой момент в процессе свертывания. Это итог сложного каскада взаимодействий между белками, который каким-то образом приводится в действие повреждением кровеносного сосуда. На каждом этапе каскада происходит расщепление белка-предшественника с образованием активного фермента, являющегося протеиназой. (Протеиназы — это ферменты, расщепляющие белки.) В большинстве этапов участвуют кофакторы; в некоторых случаях кофакторы сами представляют собой белки, су-

ществующие в двух формах — активной и неактивной. Вопреки своему названию фактор VIII — это кофактор: он участвует в одной из реакций в середине каскада, а именно помогает фактору IX активировать фактор X.

Каскад реакций свертывания регулируется механизмами положительной обратной связи, усиливающими процесс свертывания, и механизмами отрицательной обратной связи, ингибирующими его. Так, например, тромбин — протеиназа, превращающая фибриноген в фибрин, — активирует фактор VIII и в то же время протеиназу, называемую протеином С, которая подавляет активность фактора VIII. Поскольку в норме концентрация фактора VIII в крови очень мала (на одну молекулу фактора VIII приходится миллион молекул альбумина, основного белка крови), его активность вполне может быть лимитирующим фактором. Другими сло-

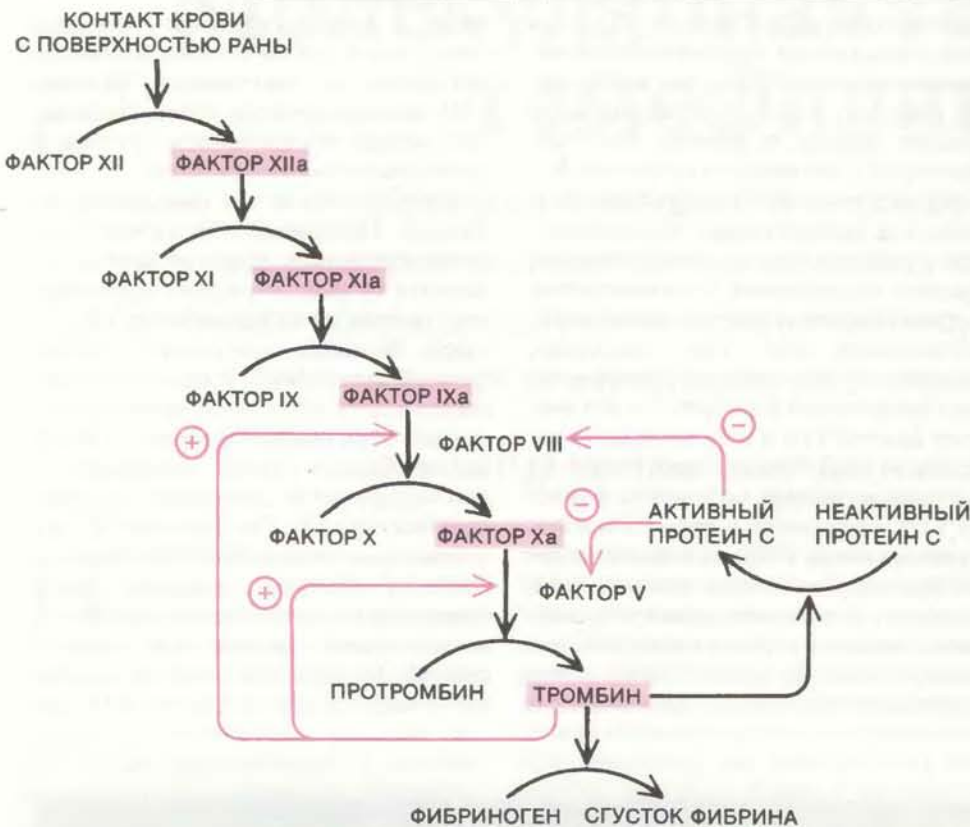
вами, у здоровых людей благодаря тому, что в любой момент возможна активация и инактивация фактора VIII, поддерживается тонкое равновесие между образованием сгустка и свободным течением крови.

У гемофиликов это равновесие нарушено. Примерно 85% из них, т. е. приблизительно один мужчина из каждых 10 тыс., страдают классической гемофилией (гемофилией А). У таких больных отсутствует полноценный фактор VIII, и каскад реакций свертывания останавливается еще до стадии образования фибрина. Почти все остальные случаи гемофилии — это гемофилия В, связанная с дефицитом фактора IX. Ген фактора IX уже клонирован, и несколько биотехнологических компаний разрабатывают получение белка — продукта этого гена методами генетической инженерии. Но более важно научиться получать таким способом фактор VIII, так



НИТИ ФИБРИНА фиксируют сгусток крови в месте повреждения сосуда. Они опутывают тромбоциты (кровяные пластинки), которые формируют тромбоцитарную пробку. На этой электронной микрофотографии, сделанной Дж. Льюисом, виден сгусток, образовавшийся в суспензии тромбоцитов и фибрина. Образование сгустка в кровяном

русле является результатом сложного каскада ферментативных реакций, который завершается превращением растворимого белка фибриногена в нерастворимые нити фибрина. У больных гемофилией этот каскад нарушен из-за отсутствия или неполноценности одного из важнейших участвующих в нем белков.



КАСКАД РЕАКЦИЙ, ведущих к свертыванию крови, начинается с того, что повреждение сосуда вызывает активацию фермента, называемого фактором XII. Заканчивается он превращением фибриногена в фибрин под действием тромбина. На каждом этапе каскада определенный белок переходит из неактивной формы в активную, превращаясь в протеиназу, т. е. в фермент, расщепляющий белки (протеиназы *выделены цветом*), и в свою очередь активирует следующий белок. На некоторых этапах необходимы «помощники» — кофакторы; таковы факторы VIII и V. Регуляция свертывания осуществляется по принципу обратной связи (*красные стрелки*; положительные обратные связи обозначены знаком «+», а отрицательные — знаком «-»). Тромбин активирует факторы VIII и V. В то же время, активируя протеин С, он инактивирует их и таким образом способствует прекращению процесса свертывания. У 85% больных гемофилией отсутствует функциональный фактор VIII, а у остальных — фактор IX.

как больных гемофилией А намного больше.

ПОЛУЧЕНИЕ фактора VIII — большого по размерам белка, содержащегося в организме в очень малом количестве, сопряжено с нетривиальными техническими трудностями. Поэтому мы модифицировали стандартный метод клонирования генов и последующей их экспрессии.

Фактор VIII — это белок, т. е. цепь аминокислот, его ген — это последовательность ДНК, т. е. цепь нуклеотидов. В состав ДНК входят четыре вида нуклеотидов, различающихся своими основаниями: аденин (А), тимин (Т), гуанин (G) и цитозин (С). Последовательность из трех оснований, называемая кодоном, кодирует одну определенную аминокислоту. Структура оснований такова, что они способны образовывать пары, связываясь водородными мостиками, причем аденин спаривается только с тимином, а гуанин — только с цитозином.

Благодаря этому две цепи двойной спирали ДНК удерживаются вместе. Комплементарные взаимодействия оснований определяют также транскрипцию гена в матричную РНК (мРНК) и последующую ее трансляцию с образованием белка.

При получении белка методами генетической инженерии основной проблемой является обнаружение нужного гена среди тысяч других, входящих в состав генома. Решить эту проблему помогает способность комплементарных оснований к образованию пар. Небольшие ДНК или РНК, последовательности оснований которых комплементарны части разыскиваемого гена, служат зондами. ДНК-зонд синтезируют, осуществив «обратную трансляцию» аминокислотной последовательности нужного белка, т. е. согласно генетическому коду определив последовательность оснований, могущую кодировать данный белок. Синтетический зонд метят радиоактивным нуклеотидом. Всю ДНК клетки расщепляют на

фрагменты и клонируют их; в результате получается «библиотека» генов организма. Эту библиотеку проверяют ДНК-зондом. Зонд гибридизуется (связывается) только с геном, имеющим комплементарный зонду участок, и тем самым метит искомым ген, так что его можно выявить.

Чем меньше библиотека генов, тем легче отобрать специфический ген. Наиболее широко используемый метод клонирования, называемый клонированием кДНК, дает возможность сократить размеры библиотеки, опираясь на тот факт, что в клетке активны не все гены. Во всякой клетке лишь некоторые гены экспрессируются, т. е. происходят их транскрипция (образование мРНК) и трансляция (синтез соответствующего белка). Если известно, в каких клетках синтезируется нужный белок, можно проанализировать молекулы мРНК из этих клеток, так как среди них непременно должны быть транскрипты искомого гена.

Из клеток данного типа выделяют суммарную мРНК и на ней как на матрице синтезируют молекулы ДНК с помощью фермента обратной транскриптазы. Полученные ДНК-копии, или кДНК, «сшивают» (также при помощи ферментов) с генетическим материалом вектора, которым обычно служит бактериофаг λ. Вектор вводят в бактериальные клетки, причем множественность заражения бактерии фагом подбирают таким образом, что каждая фаговая частица размножается на отдельном участке бактериального газона в чашке Петри. В этих местах образуются отчетливые бляшки. Совокупность содержащейся в бляшках ДНК и является библиотекой кДНК. По крайней мере одна из бляшек содержит нужный фрагмент кДНК. Идентифицируется эта бляшка путем гибридизации с ДНК-зондом.

Но метод клонирования кДНК можно применить, лишь зная, какие клетки организма производят нужный белок. Притом наиболее успешен он тогда, когда белок продуцируется в значительном количестве: в этом случае в клетках содержится много копий мРНК нужного белка и соответственно во многих бляшках есть копии разыскиваемого гена. Ни то, ни другое условие не выполнимо при клонировании фактора VIII. Фактор VIII присутствует в организме в очень малом количестве. Когда мы начинали работу, не было известно даже место его синтеза в организме. А ошибка в выборе клеток привела бы к получению библиотеки кДНК, вообще не содержащей гена фактора VIII.

Желая действовать наверняка, мы

решили пойти по более сложному пути. Объектом наших исследований стала библиотека, полученная из полнотного генома (всего набора генов) клетки. Для получения геномной библиотеки из клеток выделяют хромосомы, с помощью ферментов расщепляют их на фрагменты и сшивают эти фрагменты с ДНК фага λ . Поскольку геномная библиотека содержит в сотни раз большее количество ДНК, чем библиотека кДНК, процедура анализа ее с помощью ДНК-зонда значительно более трудоемка.

ЧТОБЫ синтезировать ДНК-зонд, необходимо было знать аминокислотную последовательность хотя бы части фактора VIII. Определение даже малого сегмента такой последовательности оказалось на редкость не простым делом. Долгое время белок не удавалось получить в чистом виде. Лишь в 1980 г. в лаборатории Э. Дэви в Вашингтонском университете один из авторов статьи (Вихар), переработав 25 тыс. л бычьей крови, выделил несколько миллиграммов чистого фактора VIII. Впоследствии группа ученых из Королевской больницы в Лондоне, возглавляемая Э. Тадденхемом, получила человеческий фактор VIII в количестве, достаточном для определения небольшой части его аминокислотной последовательности, что было осуществлено сотрудниками фирмы Genentech. Группа из Института генетики установила частичную последовательность фактора VIII свиньи, очищенного Д. Фасом из Клиники братьев Мэйо.

Следующим шагом на этом трудном пути была «обратная трансляция» — установление последовательности оснований ДНК по аминокислотной последовательности белка. При решении такой задачи исследователь сталкивается с проблемой неоднозначности, возникающей из-за вырожденности генетического кода. Одна и та же аминокислота может кодироваться несколькими (вплоть до шести) различными кодонами. Существует 64 возможных сочетания из трех оснований, а им соответствует лишь 20 аминокислот. В этой ситуации разумно, например, синтезировать набор коротких (длиной около 17 оснований) ДНК-зондов, который охватывал бы все возможные варианты кодирования. Но чем короче ДНК, тем больше вероятность случайной гибридизации ее с не интересующей нас последовательностью ДНК. А это значит, что при анализе большой геномной библиотеки положительный ответ часто будет получаться без истинных на то оснований.

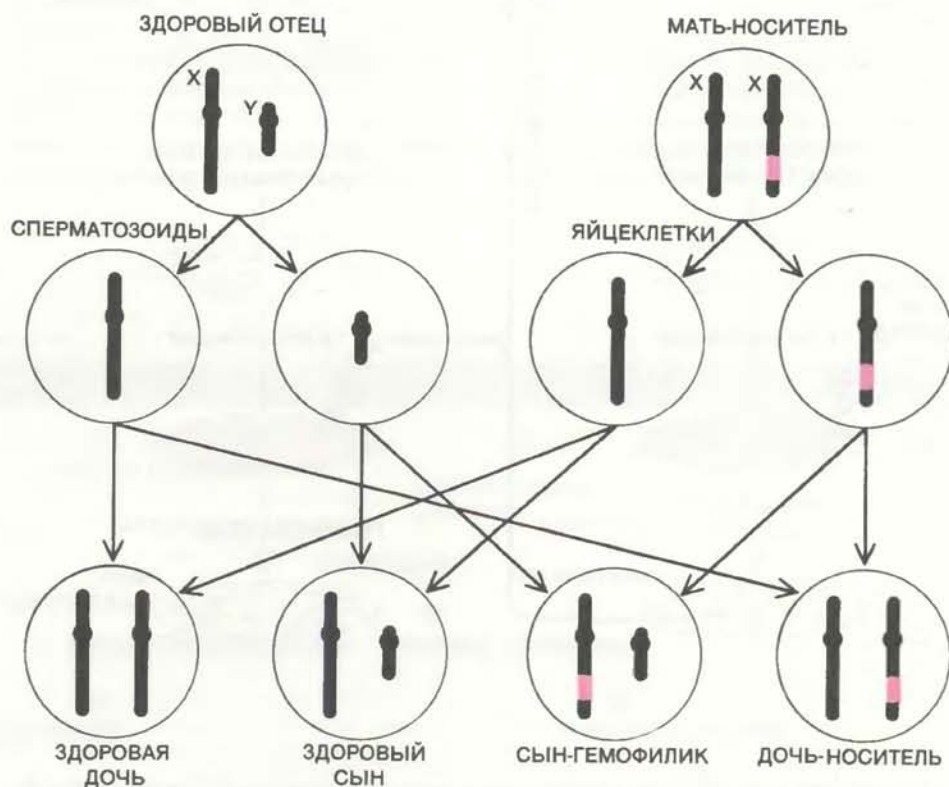
Во избежание этих неприятностей

мы действовали иначе. Был взят один сравнительно длинный (36 оснований) ДНК-зонд, соответствующий последовательности из 12 аминокислот фактора VIII. Пришлось делать выбор из 147 456 вариантов кодирования данной конкретной последовательности. К счастью, благодаря тому, что известно, какие из кодонов преимущественно встречаются в геномах млекопитающих, нам удалось довольно точно угадать структуру зонда. Как выяснилось впоследствии, мы верно подобрали 30 оснований из 36. Такая степень гомологии зонда и разыскиваемого фрагмента достаточна для гибридизации. При проверке геномной библиотеки синтезированный зонд гибридизовался с перекрывающимися фрагментами ДНК фактора VIII, выявляя бляшки, содержащие части гена.

Ген фактора VIII слишком велик для клонирования целиком в одной фаговой частице. Чтобы выявить недостающие части гена, сотрудники нашей лаборатории У. Вуд, Дж. Гитчир и др. провели анализ библиотеки, используя в качестве зондов фраг-

менты уже идентифицированного участка гена. Повторив эту процедуру «прогулки по хромосоме», они получили набор перекрывающихся фрагментов, в совокупности дающих полную последовательность гена.

Длина гена фактора VIII — 186 тыс. оснований. Информация об аминокислотной последовательности белка распределена по 26 экзонам (кодирующим последовательностям), которые в сумме занимают менее двадцатой части полной длины гена, так как разделены 25 интронами (не кодирующими последовательностями). После того как завершается транскрипция всего гена, образовавшийся транскрипт подвергается сплайсингу: интроны вырезаются, а экзоны соединяются. В результате образуется мРНК, направляющая синтез белка. Для получения культуры клеток, продуцирующей фактор VIII, нужен был ген, не содержащий интронов. Другими словами, перед нами стояла задача выделить уже сплайсированную мРНК фактора VIII и синтезировать по этой матрице кДНК.



СЦЕПЛЕННОЕ С ПОЛОМ НАСЛЕДОВАНИЕ гемофилии обусловлено тем, что ген фактора VIII находится в половой X-хромосоме. У мужчины, несущего мутантный ген фактора VIII, отсутствует нормальный белок — продукт этого гена, вследствие чего развивается гемофилия. У женщин две X-хромосомы и, если в одной из них имеется дефектный ген, нормальный ген во второй X-хромосоме обеспечит свертывание крови, так что сама женщина-носитель не страдает гемофилией. Однако она передаст дефектный ген своим детям: половина ее дочерей будут носителями дефектного гена, а половина сыновей — гемофиликами. Если гемофилией болен отец (не показано), все его сыновья здоровы, так как они получают от него лишь Y-хромосому, а все дочери — носители.

КЛОНИРОВАНИЕ ГЕНОМА



КЛОНИРОВАНИЕ кДНК



ИДЕНТИФИКАЦИЯ КЛЕТОК, СИНТЕЗИРУЮЩИХ мРНК ФАКТОРА VIII

КЛОНИРОВАНИЕ позволяет обнаружить один определенный ген среди тысяч других в геноме. Если известно, в каких клетках синтезируется нужный белок, то достаточно анализировать не весь геном, а гораздо меньшую библиотеку ДНК-копий (кДНК), полученных путем обратной транскрипции матричной РНК, выделенной из этих клеток (справа). В случае фактора VIII не было известно, в каких клетках он образуется. Поэтому вначале пришлось проверять библиотеку, полученную из всего генома (слева). Ее анализировали ДНК-зондом (короткой синтетической последовательностью ДНК, кодирующей часть гена фактора VIII), меченной радиоактивным изотопом. Таким путем были найдены участки гена фактора VIII. Теперь с помощью полученных фрагментов гена можно было, проводя гибридизацию с мРНК, надежно идентифицировать клетки, синтезирующие фактор VIII, проанализировать библиотеку кДНК этих клеток и «выудить» всю последовательность полного гена фактора VIII.

Имея фрагменты природного гена, мы могли, используя их в качестве зонда, выяснить, в каких клетках синтезируется фактор VIII и его мРНК. При этом в отличие от работы с синтетическим зондом можно с уверенностью положиться на получаемые результаты: гибридизация фрагментов природного гена с мРНК достоверно означает, что в исследуемых клетках данный ген экспрессируется. Группе ученых из фирмы Genentech, возглавляемой Д. Кэпоном, удалось обнаружить небольшое количество гибридирующей мРНК в линии культивируемых клеток, а Дж. Тул с сотрудниками (Институт генетики) показали, что источником искомого белка являются клетки печени. Впоследствии фактор VIII был обнаружен и в других тканях (почках, селезенке, клетках лимфы), но все же главным источником является, по-видимому, печень. По современным представлениям, у здоровых людей основная масса фактора VIII синтезируется в печени, откуда и попадает в кровяное русло.

Как только нашелся источник мРНК фактора VIII, в обеих исследовательских группах были созданы библиотеки кДНК. Фрагменты клонированного гена опять служили зондами — на этот раз чтобы обнаружить среди миллиона бляшек те немногие, которые содержат нужные клоны фаговых частиц, несущих кДНК фактора VIII. Собственно, кДНК фактора VIII приходится составлять из нескольких перекрывающихся фрагментов, так как длина искомого мРНК — 9000 оснований, а современные методики не позволяют проклонировать столь длинную последовательность целиком. Кроме того, к кДНК нужно пришивать дополнительные последовательности, которые необходимы для регуляции транскрипции гена в рекомбинантной клетке.

Для производства первых полученных методами генетической инженерии белков — инсулина и интерферона, которые невелики по размеру, — вполне подходили рекомбинантные бактерии, сконструированные на основе *Escherichia coli*. Но бактерии обычно не способны продуцировать такие большие и сложные белки, как фактор VIII. Кроме того, они не всегда обладают ферментами, нужными для правильной посттрансляционной модификации вновь синтезированной крупной полипептидной цепи, что может быть необходимо для образования полноценного функционального белка.

По этим причинам мы для введения клонированного гена фактора VIII выбрали легко культивируемые в ла-

боратории клетки хомяка. Полученные рекомбинантные клетки синтезировали человеческий фактор VIII и секретировали его в культуральную жидкость. Точнее, мы надеялись, что это был фактор VIII. Подтвердить функциональную активность белка могла лишь его способность инициировать нормальное свертывание крови у гемофиликов. Для неуверенности имелись основания. Полученный нами белок мог оказаться лишь частью отсутствующего у гемофиликов белкового комплекса. Кроме того, сложность очистки фактора VIII будила мучительные сомнения — не проклонировали ли мы ген, кодирующий какую-либо примесь в негомогенном препарате. К счастью, ни одно из этих предположений не подтвердилось — полученный методом генетической инженерии фактор VIII инициировал свертывание крови гемофиликов и по всем параметрам соответствовал белку, выделяемому из крови.

КАКОВА структура фактора VIII? Развитие методов клонирования сделало возможным не прямое определение структуры белка — по последовательности ДНК кодирующего этот белок гена. Так было и в случае фактора VIII, размеры которого и трудность получения в чистом виде делали невозможным прямое определение аминокислотной последовательности методами химии белков. До того как был проклонирован ген

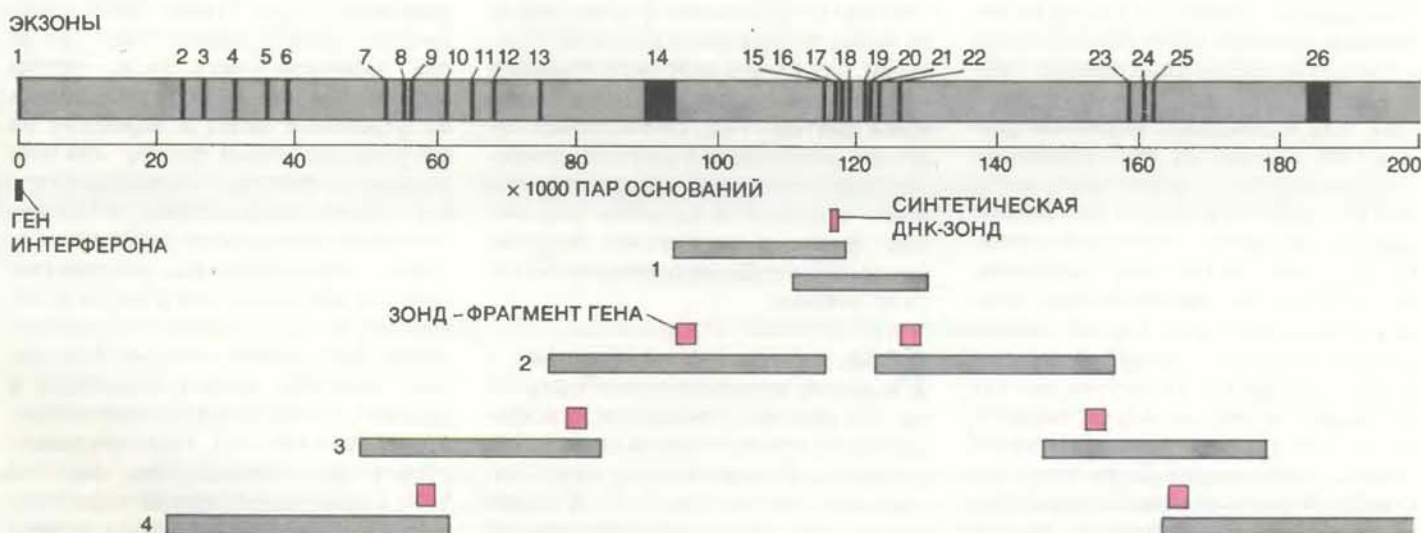
фактора VIII, не было единого мнения даже относительно его размеров: приблизительные оценки различались почти в 100 раз.

Сейчас установлено, что кДНК фактора VIII длиной 9000 оснований кодирует полипептидную цепь длиной 2351 аминокислота. (Примерно 2000 оснований на концах гена транскрибируются, но не транслируются.) Первые 19 аминокислот образуют гидрофобный сегмент, типичный для секретируемых белков. Этот «сигнальный» пептид обычно отрезается от белка в процессе секреции, и в зрелой молекуле фактора VIII остается 2332 аминокислоты, что соответствует молекулярной массе 330 тыс. дальтон. (Один дальтон равен $1,66 \cdot 10^{-24}$ г.) Для сравнения можно вспомнить об интерфероне, молекула которого состоит из 166 аминокислот и имеет массу 19 тыс. дальтон. В настоящий момент ген фактора VIII — самый крупный среди всех клонированных генов, экспрессию которых удалось осуществить в чужеродных клетках.

При анализе аминокислотной последовательности фактора VIII выяснилось, что его молекула составлена из повторяющихся сходных между собой сегментов. Три из них названы А-сегментами; в каждом приблизительно 350 аминокислот, из которых примерно треть одна и та же во всех трех сегментах. Сравнимая с этим степень гомологии имеется и между двумя по-

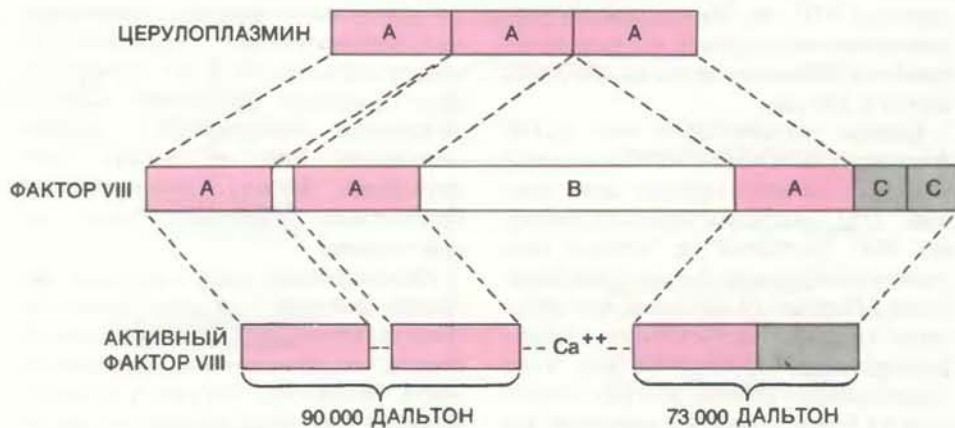
следовательностями из 150 аминокислот, называемыми С-сегментами. Но между сегментами А и С гомологии нет. Поскольку существует всего 20 различных аминокислот, степень гомологии 30% не может быть случайной. Между гомологичными сегментами наверняка есть какая-то связь.

Неожиданный ключ к истории эволюции фактора VIII дало сравнение его структуры со структурой других белков, осуществленное с помощью ЭВМ. Оказалось, что три А-сегмента фактора VIII очень похожи на три домена церулоплазмينا — белка, служащего переносчиком меди в кровяном русле. Ранее не было никаких оснований предполагать, что есть филогенетическая связь между фактором VIII и церулоплазмином, но гомология их доменов указывает на то, что они имеют общего предка. Предковый белок, должно быть, состоял из трех идентичных доменов — предшественников современных А-доменов. В молекуле церулоплазмينا три А-домена расположены вплотную друг к другу. В молекуле фактора VIII второй и третий А-сегменты разделены последовательностью длиной примерно в 1000 аминокислот. В гене фактора VIII этот промежуточный район представлен одним большим экзоном, который, возможно, когда-то вошел в предковый ген. Последовательности, кодирующие С-сегменты фактора VIII, находятся на



ГЕН ФАКТОРА VIII очень велик — это самый крупный из клонированных на сегодняшний день генов. Для его клонирования пришлось применить методику, называемую «прогулкой по хромосоме». Длина гена фактора VIII — 186 тыс. оснований. (Слева для сравнения изображен ген интерферона, длина которого 600 оснований.) Встроить всю эту последовательность в одну фаговую частицу невозможно, поэтому к фаговой ДНК «пришивали» фрагменты гена. Их клонировали (см. предыдущий рисунок) и полученную библиотеку проверяли синтетической ДНК-зондом. Она гибридизовалась с перекрывающимися фрагментами (1). Части этих фрагментов затем служили зондами для анализа той же библиотеки. Так идентифицировали оставшиеся фрагменты (2). В результате многократного повторения этой процедуры (3, 4) удалось «выудить» из библиотеки почти весь ген. (Начальная часть гена была обнаружена с помощью кДНК-зонда.) Ген фактора VIII организован сложно. В нем 26 экзонов (черные), которые в совокупности составляют менее 1/20 длины гена, и 25 интронов.

дизовалась с перекрывающимися фрагментами (1). Части этих фрагментов затем служили зондами для анализа той же библиотеки. Так идентифицировали оставшиеся фрагменты (2). В результате многократного повторения этой процедуры (3, 4) удалось «выудить» из библиотеки почти весь ген. (Начальная часть гена была обнаружена с помощью кДНК-зонда.) Ген фактора VIII организован сложно. В нем 26 экзонов (черные), которые в совокупности составляют менее 1/20 длины гена, и 25 интронов.



АМИНОКИСЛОТНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ фактора VIII похожа на последовательность белка крови церулоплазмينا. Три А-сегмента фактора VIII имеют 30%-ную гомологию друг с другом и с тремя доменами церулоплазмينا. Вероятно, эти два белка произошли от одного и того же предкового белка, а затем дивергировали. В исходный ген встроился большой экзон (№ 14 на предыдущем рисунке), кодирующий В-сегмент фактора VIII, а к концу гена присоединились экзоны, кодирующие С-сегменты. Процесс активации фактора VIII состоит в том, что протеиназы вырезают В-сегмент (две образовавшиеся субъединицы удерживаются вместе ионом кальция) и, кроме того, расщепляется последовательность между первым и вторым А-сегментами.

конце гена; они тоже могли быть добавлены к исходному гену.

Фактор VIII, выделяемый из донорской крови, почти никогда не бывает идентичен полной молекуле массой 330 тыс. дальтон, кодируемой геном. Сейчас считается, что в процессе активации в кровяном русле фактор VIII ступенчато расщепляется. На одном из этапов удаляется участок между вторым и третьим А-сегментами (так называемый сегмент В). Доказательства в пользу этой точки зрения были получены в результате прямого определения последовательности небольших фрагментов активного белка и сравнения полученных данных с последовательностью клонированного гена. Как выяснилось, активный фактор VIII состоит из двух связанных субъединиц. Одна имеет мол. массу 90 тыс. дальтон и состоит из первых двух А-сегментов; пептидная связь между этими сегментами разорвана, но они остаются соединенными. Вторая субъединица мол. массой 73 тыс. дальтон включает третий А-сегмент и два С-сегмента. Точно так же, как активация молекулы осуществляется путем расщепления ее в определенных местах, инактивация белка легко достигается при дальнейшем расщеплении субъединиц. Очевидно, именно эти реакции обеспечивают своевременное прекращение тромбообразования.

Как функционирует фактор VIII в каскаде реакций свертывания, в подробностях не известно. Этот белок циркулирует в крови в виде комплекса с белком-носителем, называемым фактором Виллебранда, который,

возможно, способствует связыванию фактора VIII на поверхности тромбоцитов, скопившихся в месте повреждения сосуда. Попав на тромбоцит, фактор VIII, вероятно, отделяется от фактора Виллебранда и образует комплекс с факторами IX и X. Центры его связывания на этих белках пока не найдены. Достоверно известно лишь, что в отсутствие фактора VIII не происходит активации фактора X фактором IX.

Для того чтобы узнать, как конкретно работает белок, полезно исследовать аномальные формы данного белка, возникшие в результате мутаций. Сейчас мы вплотную подошли к применению этого подхода для изучения фактора VIII. Параллельно будут анализироваться мутации, вызывающие гемофилию. Такие исследования приведут к лучшему пониманию причин и механизмов болезни, что подскажет более совершенные пути ее лечения.

КАК и следовало ожидать, мы и другие исследователи обнаружили, что причины гемофилии не исчерпываются какой-то одной уникальной мутацией. Пятьдесят лет назад английский генетик Дж. Б. С. Холдейн указал, что серьезные заболевания, сцепленные с X-хромосомой, должны возникать вновь и вновь в результате случайных спонтанных мутаций: в противном случае болезни исчезли бы со сменой поколений. И действительно, примерно в трети случаев гемофилия появляется в семьях, в которых ранее это заболевание не наблюдалось. В дальнейшем дефектный ген,

разумеется, передается по наследству, но постепенно данная конкретная мутация элиминируется из популяции просто потому, что в семьях с гемофилией выживает меньше детей. Напротив, рецессивные мутации на аутосомах (неполовых хромосомах; их во всех клетках по две копии) распространяются в популяции, фенотипически проявляясь лишь у тех редких индивидуумов, которые унаследовали два дефектных гена.

В принципе возможно идентифицировать мутацию, «виновную» в развитии гемофилии у данного конкретного человека, выделив его ген фактора VIII и определив последовательность ДНК. Но поскольку определение последовательности гена длиной 186 тыс. оснований занимает несколько месяцев, этот путь не представляет практического интереса. К счастью, существует более быстрая процедура. Основана она на методике, называемой блот-гибридизацией по Саузерну. (Правда, такой способ применим не всегда.)

Первая стадия — выделение ДНК из клеток крови гемофилика. Затем ДНК расщепляют на множество фрагментов при помощи ферментов, называемых рестрикционными эндонуклеазами, которые узнают специфические последовательности длиной 4—6 оснований и разрезают ДНК в этих местах. Полученную смесь фрагментов подвергают электрофорезу, в результате чего они разделяются по размеру: чем меньше фрагмент, тем большее расстояние проходит он в агарозном геле под действием электрического поля. Теперь ДНК фрагментов обрабатывают так, чтобы она денатурировала (т. е. чтобы двойная спираль ДНК разъединилась на отдельные цепи) и переносят на нитроцеллюлозный фильтр, для чего делают на фильтре отпечаток с геля (отсюда название метода: to blot по-английски «промокать бумагой»; Саузерн — исследователь, разработавший эту методику). На отпечатке сохраняется то относительное расположение фрагментов, которое было на геле. Наконец, фильтр помещают в раствор, содержащий радиоактивную кДНК фактора VIII. Она гибридизуется с фрагментами гена фактора VIII, и при радиоавтографии фильтра эти фрагменты выявляются в виде темных пятен. Картина расположения рестрикционных фрагментов на фильтре — весьма специфическая характеристика ДНК; по радиоавтографу можно определить и размеры фрагментов.

С целью обнаружить мутации фактора VIII мы и наши коллеги сравнивали радиоавтографы ДНК здоровых

людей и гемофиликов. Этим методом удается выявить два типа генетических изменений. Легче всего обнаружить большие делеции части гена: какие-то из фрагментов исчезают либо изменяется их подвижность, что соответствует изменению размера. Но иногда заметна замена лишь одного основания. Это возможно в тех случаях, когда мутация произошла в пределах последовательности, узнаваемой рестрикционной эндонуклеазой. Такая мутация мешает расщеплению гена ферментом, и на радиоавтографе видно, что вместо двух фрагментов образовался один, больший по величине. Бывает и обратная ситуация: в результате мутации возникает еще одна последовательность, специфичная для рестрикционной эндонуклеазы, и на радиоавтографе появляется дополнительное пятно.

Рассмотрим конкретный пример точечной мутации, чтобы проиллюстрировать сказанное. Анализировали ДНК больного тяжелой формой гемофилии, его родителей и трех братьев. ДНК расщепляли рестриктазой *Taq I*, которая узнает последова-

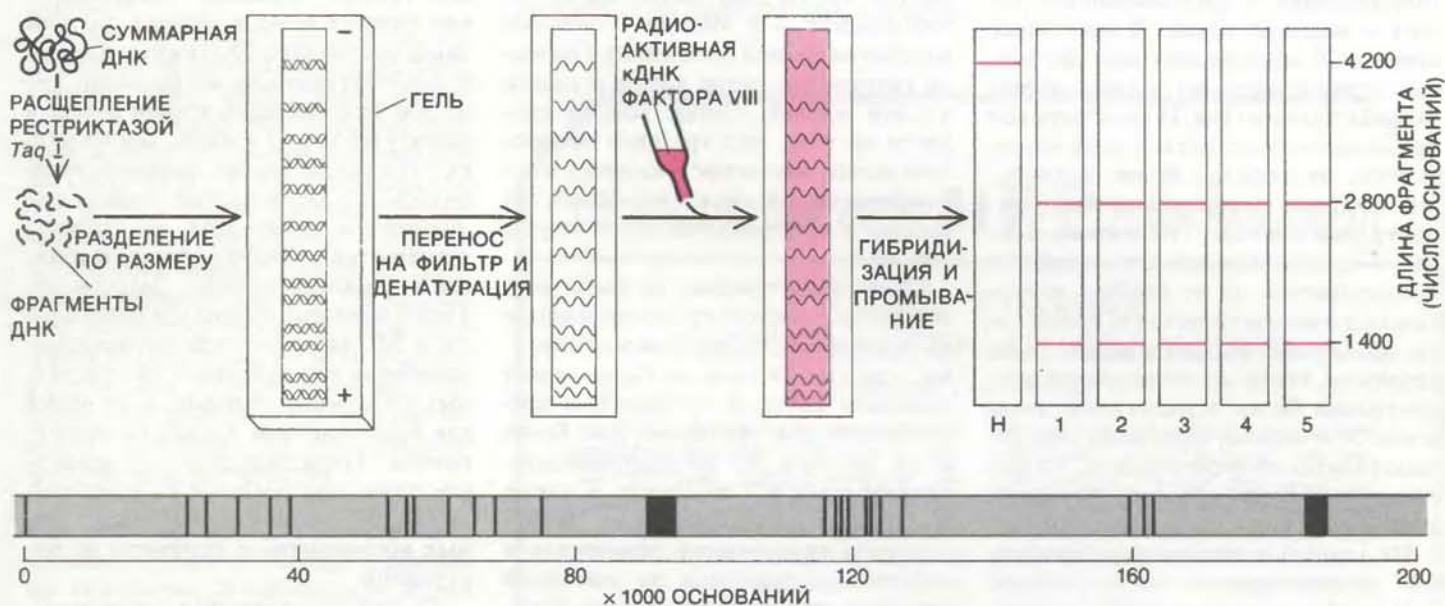
тельность оснований TCGA. На радиоавтографах с ДНК здоровых родственников были видны два гибридизующихся фрагмента длиной 1400 и 2800 оснований. На радиоавтографе больного вместо них имелся один фрагмент длиной 4200 оснований. Зная первичную структуру гена фактора VIII и последовательность, узнаваемую рестриктазой *Taq I*, мы могли установить, в каком месте гена произошла мутация. Когда мы клонировали соответствующий фрагмент и определили его последовательность, оказалось, что последовательность TCGA превратилась в последовательность TTGA, которую рестриктаза *Taq I* не узнает.

Существенно, что эта мутация привела к замене триплета CGA, кодирующего аминокислоту аргинин, на триплет TGA, являющийся терминирующим кодоном. В результате при трансляции синтез каждой молекулы белка преждевременно останавливается. Вероятно, образующийся укороченный белок неактивен или же недостаточно стабилен, чтобы существовать в кровяном русле. В данном

случае гемофилия не «досталась по наследству», а возникла заново из-за мутации, произошедшей, по-видимому, в яйцеклетке, из которой развился организм.

Исследователями нашей лаборатории, Института генетики и Университета Джонса Гопкинса было проанализировано в общей сложности 200 генов фактора VIII с гемофилической аномалией. Идентифицировано семь различных мутаций, причем каждая из них встречалась только в одной семье. Четыре мутации являются точковыми, т. е. в последовательности ДНК заменено лишь одно основание. Вследствие трех из этих мутаций синтезируется укороченный фактор VIII и развивается тяжелая форма гемофилии, а в результате четвертой в белке вместо одной аминокислоты встает другая, что ведет к сравнительно легкому проявлению болезни. Три другие мутации представляют собой делеции сегментов длиной в несколько тысяч оснований и приводят к тяжелой гемофилии.

Возможно, в будущем появятся более эффективные методы обнаруже-



МУТАЦИИ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ ГЕМОФИЛИЮ, обнаруживают с помощью метода, называемого блот-гибридизацией по Саузерну. Это возможно, если мутация сказывается на том, какие фрагменты образуются при расщеплении ДНК рестрикционными эндонуклеазами. ДНК из клеток крови разрезают на миллионы фрагментов, в данном случае ферментом рестрикции *Taq I*. Путем электрофореза фрагменты ДНК разделяют по размерам, проводят их денатурацию (разъединение двойной спирали ДНК на отдельные цепи) и переносят на нитроцеллюлозный фильтр, делая на нем отпечаток с геля. Фильтр инкубируют с раствором, содержащим меченую радиоактивным изотопом кДНК фактора VIII. Она гибридизуется только с фрагмен-

тами гена фактора VIII. Делают радиоавтографию и определяют размеры гибридизующихся фрагментов. В приведенном на рисунке примере точечная мутация изменила последовательность, узнаваемую рестриктазой *Taq I*, и расщепления ДНК в этом месте данной рестриктазой не происходит. На радиоавтографе видно, что вместо двух фрагментов длиной 2800 и 1400 оснований появляется один фрагмент длиной 4200 оснований. В настоящее время известно 7 различных мутаций гена фактора VIII (внизу). Четыре из них являются точковыми, т. е. заменяется лишь одно основание (черные кружки), а три представляют собой большие делеции (серые полосы).

ния точковых мутаций. Анализ большого числа мутаций позволит установить корреляцию между типом мутации и тяжестью течения болезни. В частности, важно понять, почему у 10% гемофиликов развиваются иммунные реакции при введении экзогенного фактора VIII. Лечение этих больных особенно трудно.

В принципе возможно лечить гемофилию путем введения нормального гена фактора VIII в клетки больного. Но генетическая терапия пока дело будущего, и притом отнюдь не ближайшего. Одно из основных препятствий создается серьезной проблемой: как контролировать деятельность «пересаженных» генов? Ведь повышенная концентрация фактора VIII в крови не менее опасна, чем его недостаток.

Клонированный ген фактора VIII уже сейчас используется для разработки более надежной диагностики гемофилии: выявления женщин-носителей дефектного гена и обнаружения наследственной гемофилической аномалии еще до рождения, в период внутриутробного развития организма. Основу ее составляет блот-гибридизация с клонированным геном в качестве зонда. В настоящее время в 70 медицинских центрах разных стран практикуется такая пренатальная диагностика. И хотя широкое применение этого метода пока невозможно, он гораздо более надежен, чем старый метод измерения концентрации фактора VIII в крови плода. У нового метода есть и другие преимущества: он не требует хирургического вмешательства и, кроме того, применим уже на 8-й неделе беременности, тогда как определение концентрации белка осуществимо лишь после 20-й недели. Если родители решают прервать беременность, то чем раньше это будет сделано, тем менее травмирует мать процедура аборта.

Из реальных перспектив применения клонированного гена фактора VIII наиболее важным представляется производство в достаточном количестве препарата фактора VIII, не загрязненного вирусами. В ближайший год—два предполагается начать клинические испытания белка, получаемого методами генетической инженерии. Когда производство такого препарата будет поставлено на промышленную основу, навсегда исчезнет опасность вирусного заражения больных гемофилией при внутривенных вливаниях концентратов фактора VIII. Лечение фактором VIII станет доступно всем больным гемофилией, в том числе в развивающихся странах, где и сейчас еще люди умирают от этого заболевания совсем молодыми.

Разрушительные колебания

У ЗАПАДНОГО побережья Мексики движущаяся на восток плита Кокос — фрагмент внешней оболочки Земли — поддвигается под Северо-Американскую плиту, которая несет на себе часть дна Тихого океана. Плиты движутся со средней скоростью 6 см в год. При их перемещении возникают большие напряжения, сосредоточенные на особо прочных отрезках разломов между плитами. 19 сентября прошлого года в 7 ч. 18 мин. утра на глубине 15 км под прибрежным городом Ласаро-Карденас произошло вспарывание одного из таких участков. В течение нескольких секунд блоки земной коры по обе стороны от разлома сместились примерно на 2 м. За одну минуту возмущение распространилось на 170 км вдоль разлома. Хотя результирующий подземный толчок достиг силы в 8,1 балла по шкале Рихтера, разрушения в зоне вспарывания были сравнительно невелики. Но на расстоянии 360 км от этого места — в Мехико — сильные колебания земной поверхности вызвали разрушение сотен домов и унесли тысячи жизней. Сейчас мнения сходятся на том, что трагедия произошла вследствие непредсказуемого совпадения геологических особенностей района и особенностей архитектуры города.

Само землетрясение не было неожиданным, поскольку оно произошло на том участке границы между плитами, где уже 74 года не было резких подвижек коры. В предвидении землетрясения Дж. Андерсон, Дж. Брюн и их коллеги из Калифорнийского университета в Сан-Диего, а также Х. Принс с сотрудниками из Национального автономного университета в Мехико разместили на указанной площади сеть акселерографов. Ускорение движения земной поверхности вблизи эпицентра землетрясения 19 сентября достигло лишь 15% от ускорения силы тяжести (g). Это удивительно мало: во время гораздо менее сильных землетрясений в Калифорнии ускорения были порядка 1 g.

Наиболее сильные колебания земной поверхности были зарегистрированы не на разломе, а в центре Мехико. Причина заключается, вероятно, в том, что большая часть города покоится на слое глины, оставшемся после высыхания древнего озера. Подобно любой другой физической системе, слой глины начинает резонировать, когда подвергается колебаниям с

определенной частотой. Резонансный период можно вычислить, исходя из толщины слоя и характерной для него сейсмической скорости; согласно расчетам Дж. Бека из Калифорнийского технологического института, этот период равен примерно 2 с. Потому сейсмические волны с двухсекундным периодом резко усиливаются в слое глины. Как правило, колебания земной поверхности, наблюдаемые после землетрясения, характеризуются широким спектром периодов, причем большая часть энергии колебаний приходится на периоды, меньшие 2 с. В отличие от этого колебания земной поверхности в Мехико в сентябре прошлого года были представлены в основном именно двухсекундными модами.

Разрушения, которые вызываются колебаниями земной поверхности, зависят не только от периода, но и от амплитуды колебаний, поскольку здания тоже резонируют. Резонансный период здания можно оценить, положив по 0,1 с на каждый этаж. Такие грубые прикидки показывают, что сильнее всего в Мехико должны были пострадать 20-этажные здания. В действительности же большинство из 300 разрушенных зданий имели в высоту от 6 до 15 этажей. Бек полагает, что когда здание начинает колебаться, его резонансный период увеличивается: благодаря внутренним перекрытиям и перегородкам толчки, испытываемые зданием, смягчаются. Таким образом, здания средней высоты в Мехико испытывали резонансные колебания под действием двухсекундных подземных толчков, в то время как более высокие здания не резонировали. Парадоксально, но невысокие дома, построенные до утверждения в 1957 г. современных строительных нормативов, в основном не пострадали.

Те, кто разрабатывал нормативы, были осведомлены об особенностях слоя глины (вообще, требования к строительству долговременных зданий в Мексике строже, чем в США). Чего нельзя было предвидеть, пишет Бек, так это исключительно большой продолжительности сентябрьского землетрясения. Данные измерений, проанализированные в Калифорнийском технологическом институте Х. Эйслером, Л. Астиз и Х. Канамори, позволяют предположить, что землетрясение было вызвано двумя отдельными подземными толчками, длительностью примерно по 16 с каждый, разделенными интервалом в 25 с. В целом сильные колебания зем-

ной поверхности в Мехико длились свыше минуты. Амплитуда движений в слое глины под городом нарастала со временем за счет резонанса, в результате чего все больше зданий подвергалось их разрушительному воздействию.

Шаткая опора

ХОТЯ десять лет назад выдающегося английского физиолога Сирила Бёрта, умершего в 1971 г. в возрасте 88 лет, выставили обманщиком, жизнь его научного наследия, как ни парадоксально, продолжается. С. Бёрт посвятил большую часть своего научного творчества вопросу о роли наследственности в развитии умственных способностей у человека. Он пытался доказать, что интеллект зависит от генетического багажа. В конце 70-х годов обнаружилось, что Бёрт попросту сфабриковал некоторые из опубликованных им данных, пренебрег данными других исследователей и даже выдумал себе двух соавторов. Неудивительно, что результаты его исследований стали считать недостоверными.

И все же, согласно Д. Пол из Масачусетского университета в Бостоне, работы Бёрта продолжают упоминаться в учебной литературе по генетике и часто без всяких комментариев. Пол считает, что цитирование статей Бёрта и других дискредитированных или устаревших работ — одно из проявлений низкого уровня, на котором в учебниках генетики для колледжей излагается проблема связи генотипа с интеллектом. В таких пособиях утверждения относительно наследования умственных способностей нередко делаются без подкрепления фактическим материалом.

Выводы Пол, опубликованные в одном из последних выпусков «The Quarterly Review of Biology», основаны на изучении 28 учебников по общей генетике и генетике человека, изданных в США в период с января 1978 по март 1984 г. (всего за это время вышла в свет 31 книга такого рода). В 19 из них сравнительно подробно обсуждался вопрос о наследуемости интеллектуальных качеств; в большинстве утверждается, что наследуемость коэффициента интеллекта (КИ) высока, и приводились количественные оценки степени наследуемости. Однако, по мнению Пол, результаты исследований, приводимые в поддержку гипотезы о высокой наследуемости интеллектуальных качеств, либо недостоверные из-за методологических ошибок, либо вообще фальсифицированные. Пример тому — проделан-

ный Бёртом анализ однояйцовых близнецов, воспитывавшихся в разных семьях. Эта работа, которую Бёрт вел в течение многих лет, в 70-х годах, когда всплыла история с подделкой данных, совершенно потеряла доверие.

Тем не менее в 10 из 19 учебников сведения Бёрта об однояйцовых близнецах подаются как доказательство высокой наследуемости умственных способностей. Притом эти данные приводятся даже без четкой ссылки — они включены в большую таблицу, в которой суммированы результаты 52 исследований связи КИ с родственными отношениями. Таблица взята из обзора Л. Эрленмейера-Кимлинга и Л. Ярвик (Колледж терапии и хирургии Колумбийского университета), опубликованного в журнале «Science» в 1963 г. Помимо того, что в обзор вошли фальшивые данные Бёрта, он страдает многими другими методологическими просчетами и, как отмечает Пол, считается специалистами столь же мало имеющим отношение к делу, сколь и устаревшим. И однако же эта статья часто цитируется как надежный и достоверный источник информации; в некото-

рых учебниках она служит единственным фактическим материалом.

Таким образом, учебные пособия способствуют распространению необоснованной гипотезы. Как предлагает Пол, причина этого отчасти в том, что авторы учебников копируют друг друга. Составитель учебного пособия редко является специалистом во всех освещаемых им областях; естественно, он старается руководствоваться материалом, представленным в других аналогичных изданиях, и нередко почти дословно воспроизводит из них куски текста. В результате работа, давно отвергнутая знающими исследователями, продолжает фигурировать в учебниках. Кроме того, идея о том, что генетические задатки определяют умственные способности, вероятно, кажется самим авторам учебников более привлекательной. «Каковы бы ни были причины сложившейся ситуации, последствия очевидны: студентов-генетиков учат, что интеллектуальные качества наследуются, доказывая это данными, которые принадлежат более псевдонауке или в лучшем случае истории науки, нежели самой науке».

Издательство МИР предлагает:

Р. Рэфф, Т. Кофмен

ЭМБРИОНЫ, ГЕНЫ И ЭВОЛЮЦИЯ

Перевод с английского

В книге американских авторов излагаются факты и идеи о связи генетики, эмбриологии и эволюции. С привлечением большого фактического материала обосновывается представление о том, что эволюция идет по преимуществу путем отбора мутаций регуляторных генов, ответственных за морфогенез.

Содержание: классические и современные представления об основных понятиях теории эволюции и эмбриологии и их взаимосвязи; морфологическая и мо-

лекулярная эволюция; роль гетерохронии в эволюции; регуляция эмбриогенеза, значение мутаций регуляторных генов; число генов, необходимое для развития эмбриона; организация генома эукариот; иерархические системы, обеспечивающие организменную интеграцию морфогенеза, и эволюция.

Для специалистов по молекулярной биологии, эмбриологов, генетиков, эволюционистов, для студентов и преподавателей биологических факультетов.

1986, 31 л. Цена 2 р.80 к.



Сверхпроводящий суперколлайдер

К 1995 г. может быть построен ускоритель, который будет в 20 раз мощнее любого из ныне действующих. Тогда у ученых появится возможность исследовать неведомые пока детали строения вещества и воссоздать условия, характерные для начальных стадий образования Вселенной

ДЖ. ДЭВИД ДЖЕКСОН, МОРИ ТИГНЕР,
СТЭНЛИ ВОЙЧИЦКИ

ПРЕДСТАВИМ себе 1995 год. В идиллической сельской местности или прерии почти нет намека на то, что под землей проложен туннель, свернутый в кольцо длиной около 84 км и настолько широкий, что по нему можно прогуливаться. Внутри туннеля проложена небольшая рельсовая дорога для обслуживания двух криогенных трубопроводов, каждый диаметром примерно 60 см. Внутри каждого трубопровода размещена намного более тонкая труба, из которой откачен воздух. По ней движется пучок протонов, удерживаемый на своем пути мощными сверхпроводящими магнитами, расположенными вокруг трубы. Импульс радиоизлучения повышает энергию протонов в пучках с каждым их оборотом по кольцу. Протоны двух пучков вращаются в противоположных направлениях и за время ускорения, составляющее около 15 мин, успевают совершить более 3 млн. оборотов.

Внезапно открываются электромагнитные ворота, и пути пучков пересекаются. Пары протонов сталкиваются. Часть энергии столкновения высвобождается в области пространства размером в 100 000 раз меньшим диаметра протона. Выделяемая при этом мощность намного превосходит мощность всех действующих на Земле электростанций вместе взятых. Поэтому на мгновение перед нами предстает «образ» Вселенной в момент ее рождения. Длительность этого мгновения во столько же раз меньше секунды, во сколько секунда меньше времени существования Вселенной, умноженного на 100 000. Подобная плотность энергии в наше время может быть только у космических лучей, но когда-то, в первые 10^{-16} с после Большого взрыва, такая плотность энергии была характерна для состояния Вселенной. За счет вы-

свободившейся в столкновениях энергии могут родиться новые элементарные частицы, которые помогут понять причины происхождения масс частиц.

Замечательно, что осуществление такой мечты по силам технологии XX в. И туннель, и трубопроводы, и системы обслуживания, и первоначальный комплект компьютеров и детекторов частиц можно создать на базе имеющейся технологии, хотя с проектами подобного масштаба человечество никогда еще не сталкивалось. Его стоимость составляет около 4 млрд. долл. в постоянных ценах 1986 г. Базовая конструкция (прототип) уже проходит испытания на модельной установке, ускоряющей протоны до энергий, в 20 раз меньших проектируемой. Этот модельный ускоритель не что иное, как ускоритель Tevatron в Национальной лаборатории им. Ферми (Fermilab). Более мощный ускоритель позволил бы изучать процессы при энергиях, недоступных не только для любого из действующих ускорителей, но и для тех, проекты которых сейчас рассматриваются в разных странах.

Предложение о сооружении такой установки опирается на более чем 50-летний опыт проектирования и строительства ускорителей. А начиная с 1982 г. усилия ученых, занимающихся физикой высоких энергий, в основном были направлены на создание экономически реального проекта установки, с помощью которой можно будет, по-видимому, ответить на самые актуальные теоретические вопросы о природе фундаментальных составляющих вещества. Проектируемая установка будет работать как коллайдер — ускоритель на встречных пучках. Значительную роль в уменьшении количества энергии, потребляемой установкой, сыграют сверхпро-

водящие магниты. По этим причинам будущий ускоритель называется сверхпроводящим суперколлайдером SSC (Superconducting Supercollider).

Энергия и светимость

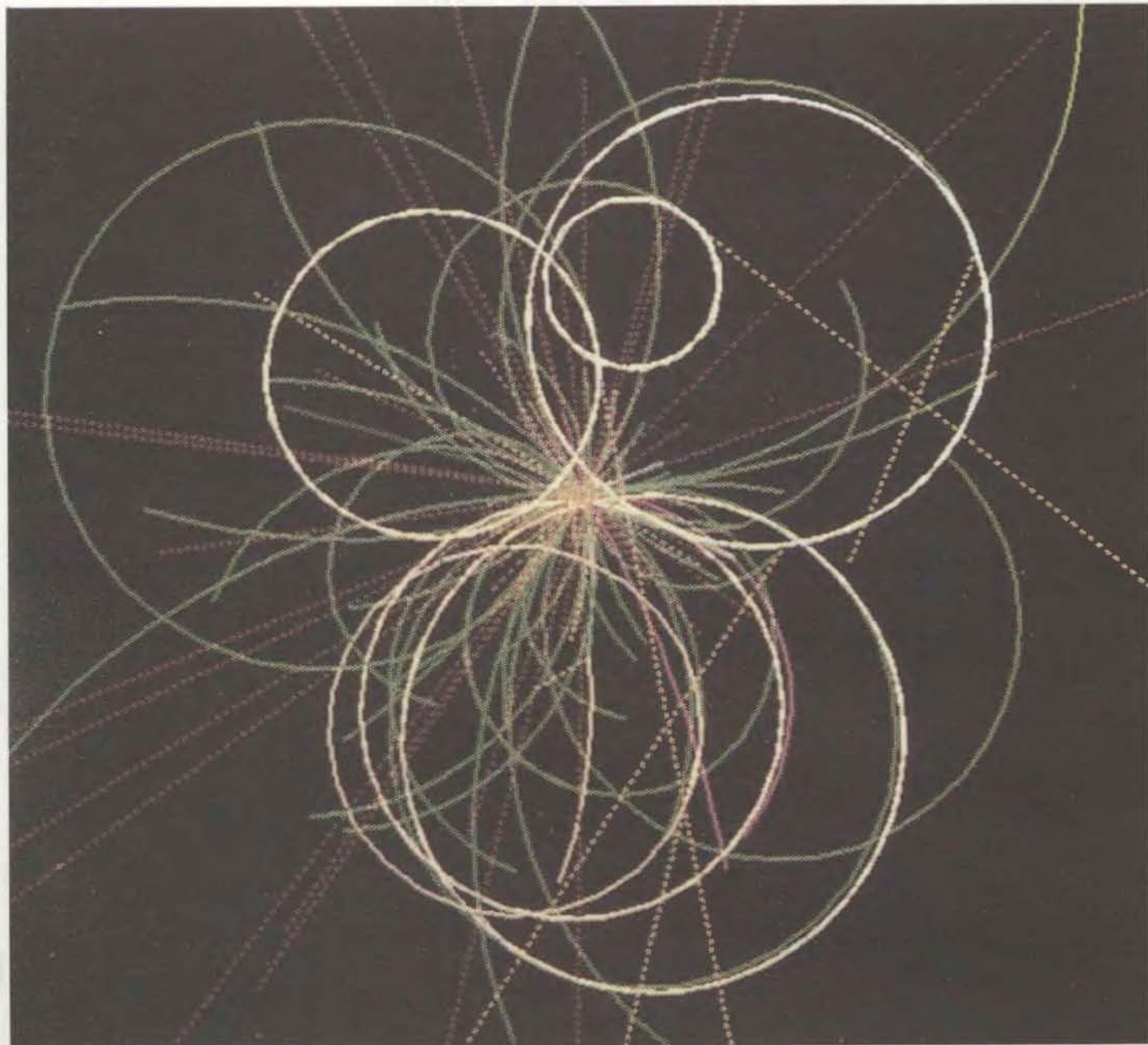
На ускорителях происходят самые высокоэнергетические процессы из всех, которые могут быть осуществлены человеком и протекать под его контролем. Вследствие эквивалентности массы и энергии максимальная энергия процесса определяет максимальную массу материального объекта, который может быть порожден в лабораторных условиях. Поэтому уже в самом проекте ускорителя заложен предел на получение прямых экспериментальных данных о фундаментальном строении вещества. Наибольшие доступные энергии и массы зависят от энергии ускоряемых пучков, способа высвобождения этой энергии и интенсивности пучков.

Наиболее эффективным методом высвобождения энергии с точки зрения возможностей рождения новых частиц является столкновение двух пучков, в которых частицы имеют равные и противоположно направленные импульсы. Этот вывод следует из закона сохранения импульса, который строго выполняется в любых столкновениях: полный импульс продуктов реакции должен быть точно равен полному импульсу сталкивающихся частиц. Если частица пучка сталкивается с частицей неподвижной мишени, то первоначальный импульс частицы-«снаряда» должен сохраниться. Поэтому значительная доля энергии ускоренных частиц расходуется на создание соответствующего полного импульса тех частиц, которые покидают место столкновения.

Наоборот, если импульсы двух сталкивающихся частиц равны по величине и противоположны по направлению, то полный импульс пары равен нулю. В принципе не требуется никакой энергии, чтобы придать импульс продуктам реакции, — все они могут родиться покоящимися, так

что энергия начальных частиц может быть полностью израсходована на рождение новых частиц. Наш проект предусматривает создание установки, в которой два пучка протонов вращаются в противоположных направлениях и ускоряются до энергии 20 ТэВ (триллионов электронвольт). При

столкновении будет высвобождаться энергия 40 ТэВ, что в 20 раз больше энергии столкновения на коллайдере Tevatron. В SSC энергия, идущая на создание новых частиц, будет в 200 раз больше, чем при использовании такого же пучка протонов, но с неподвижной мишенью.



МОДЕЛЬ СТОЛКНОВЕНИЯ двух протонов, каждый из которых ускорен до энергии 20 ТэВ. В столкновении, смоделированном на компьютере, рождается ливень частиц. Энергия такого столкновения в 20 раз превышает энергии, достигнутые на самых мощных из действующих ускорителей. Такие процессы можно будет изучать на проектируемом ускорителе SSC — сверхпроводящем суперколлайдере. В точке столкновения протонов «родилась» новая частица, называемая бозоном Хиггса (или просто хиггсом). Существование хиггса предсказано теорией, но еще не подтверждено экспериментами. При моделировании предполагалось, что хиггс имеет массу 300 млрд. электронвольт (ГэВ) и распадается на W^+ - и W^- -бозоны, которые переносят слабые взаимодействия, ответственные за бета-распад. Время жизни бозона Хиггса и бозонов W^+ и W^- недоста-

точно, чтобы их можно было обнаружить непосредственно. Существование этих частиц должно устанавливаться по продуктам их распада. Бозон W^+ распадается на позитрон (сплошная синяя линия) и нейтрино (пунктирная желтая линия, идущая из центра налево вверх). Бозон W^- распадается на два легких кварка, каждый из которых порождает ливень составных частиц, в основном пионов (сплошные зеленые линии). Другие многочисленные продукты столкновения изображены разными цветами: фотоны — красным, мюоны — белым, а барионы — фиолетовым. Моделирование выполнено Дж. Фрименом из Национальной ускорительной лаборатории им. Ферми на основе программы ISAJET, разработанной Ф. Пейджем-младшим из Брукхейвенской национальной лаборатории.

Для ускорителей на встречных пучках существует параметр, называемый светимостью; этот параметр определяет полезную интенсивность пучков. Каждый пучок представляет собой равномерную вереницу пространственно разделенных сгустков частиц. Светимость есть произведение числа частиц в сгустке на число частиц, приходящихся на единицу площади во втором пучке, умноженное на частоту обращения сгустков. Таким образом, светимость — это показатель среднего числа столкновений в единицу времени. Зная этот параметр, можно определить среднее число событий в единицу времени для любой реакции между элементарными частицами. Большая светимость ускорителей необходима для того, чтобы редкие высокоэнергетические реакции происходили достаточно часто. Тогда физики смогут подтвердить их существование. Проектируемая сейчас светимость SSC составляет 10^{33} стандартных единиц, что в 1 000 раз превышает светимость ускорителя Tevatron.

При разработке проекта SSC мы в первую очередь стремились создать экономически оптимальный вариант. В 1983 г. коллайдер SSC был рекомендован Комитетом по физике высоких энергий министерству энергетики США только после с трудом принятого решения отказаться от финансирования нескольких других программ по

ускорительной технике. В ответ на эту рекомендацию министерство энергетики поручило разработать программу научно-исследовательских работ. Цель этой программы — подготовка технически реального и экономически оптимального проекта с детальными оценками стоимости его осуществления. Программа координируется Центральной проектной группой SSC, функционирующей под эгидой Исследовательской ассоциации университетов, и выполняется в Брукхейвенской национальной лаборатории, Национальной ускорительной лаборатории им. Ферми, Лаборатории им. Лоуренса в Беркли и Техасском ускорительном центре. К этой работе привлечены университеты и промышленные фирмы, значительная помощь оказывается также из-за рубежа. Мы и наши коллеги в ближайшее время представим доклад по этой программе, что станет важным этапом в процессе выработки решения о дальнейшей поддержке проекта министерством энергетики.

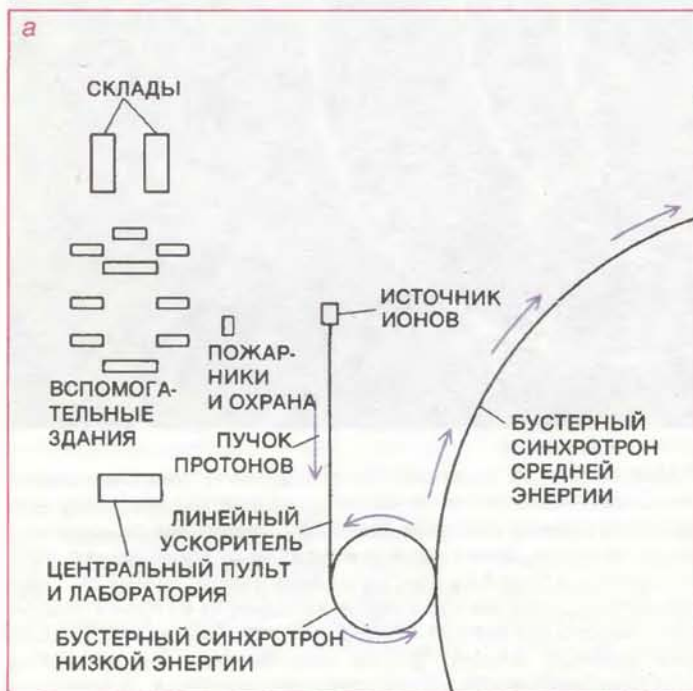
Совершенствование инженерных решений при проектировании ускорителя SSC уменьшит в дальнейшем его стоимость. Однако, несмотря на наши усилия, окончательная стоимость установки все же будет высока по сравнению со стоимостью других инструментов для научных исследований, поскольку для изучения строения вещества на все более глубоком

уровне необходимо ускорять частицы до все более высоких энергий. Для оправдания высоких затрат мы попытаемся рассказать, почему физики, занимающиеся исследованием элементарных частиц, считают столь важными области энергий, достижимые на SSC, и каким образом необходимые условия могут быть созданы.

Стандартная модель

За последние два десятилетия были достигнуты большие успехи в понимании природы фундаментальных составляющих вещества и свойств их взаимодействий. В соответствии с теорией, называемой стандартной моделью элементарных процессов, все вещество построено из кварков и лептонов, взаимодействия которых порождаются обменом так называемыми калибровочными частицами. Считается, что существуют четыре вида фундаментальных взаимодействий: электромагнитное, слабое, сильное и гравитационное.

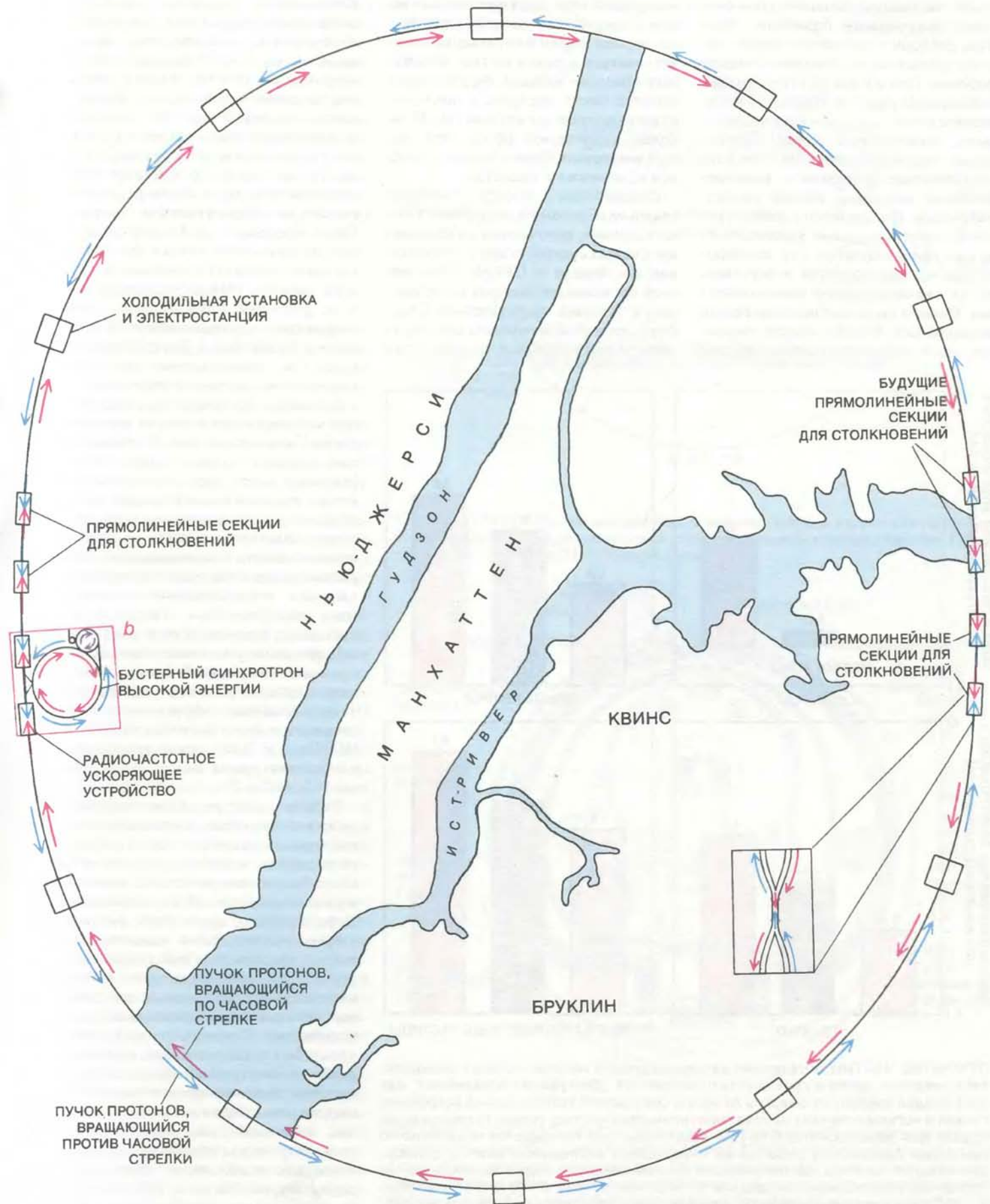
Например, электрон классифицируется как лептон, а его электромагнитное взаимодействие с протоном порождается калибровочной частицей — фотоном. Бета-распад — основной процесс ядерных реакций горения на Солнце — происходит вследствие слабого взаимодействия и порождается обменом калибровоч-



СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ установки SSC в трех масштабах: центральный пульт и лабораторный комплекс (а), каскад трех синхротронов для предварительного ускорения протонов (б) и главное кольцо коллайдера (в). Линейное на фоне плана Нью-Йорка в том же масштабе (с).



СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ главного кольца коллайдера SSC, включающее в себя вводы пучка, прямую линейную секцию для столкновений, бустерный синхротрон высокой энергии, бустерный синхротрон средней энергии, контрольный пучок и протонный пучок.



ются навстречу друг другу (красные и синие стрелки). Отсюда они инжектируются в главное кольцо коллайдера. Там каждый пучок ускоряется до 20 ТэВ. Затем протоны сталкиваются, причем продукты столкновения контролируются (см. вставку к рисунку с). Сверхпроводящие магни-

ты охлаждаются жидким гелием, вокруг которого находится жидкий азот. Гелий и азот накачиваются в системы вокруг главного кольца из десяти холодильных установок.

ными частицами, называемыми слабыми векторными бозонами. Протон, нейтрон и множество других частиц относятся к обширному классу адронов. Они состоят из трех дробно заряженных кварков. Кварки удерживаются вместе сильным взаимодействием, называемым также «цветовым». Это взаимодействие порождается обменом глюонами — калибровочными частицами восьми различных видов. По аналогии с этими тремя фундаментальными взаимодействиями предполагается, что калибровочная частица гравитон ответственна за гравитационное взаимодействие. Однако такая частица пока еще не наблюдалась. В целом сейчас полагают, что в природе существуют кварки

по крайней мере шести различных видов и соответствующие им антикварки, причем кварки и антикварки могут встречаться в одном из трех возможных «цветов» каждый. Кроме этого, имеется шесть лептонов и шесть соответствующих им античастиц. И наконец, существуют фотон, три слабых векторных бозона, восемь глюонов и, возможно, гравитон.

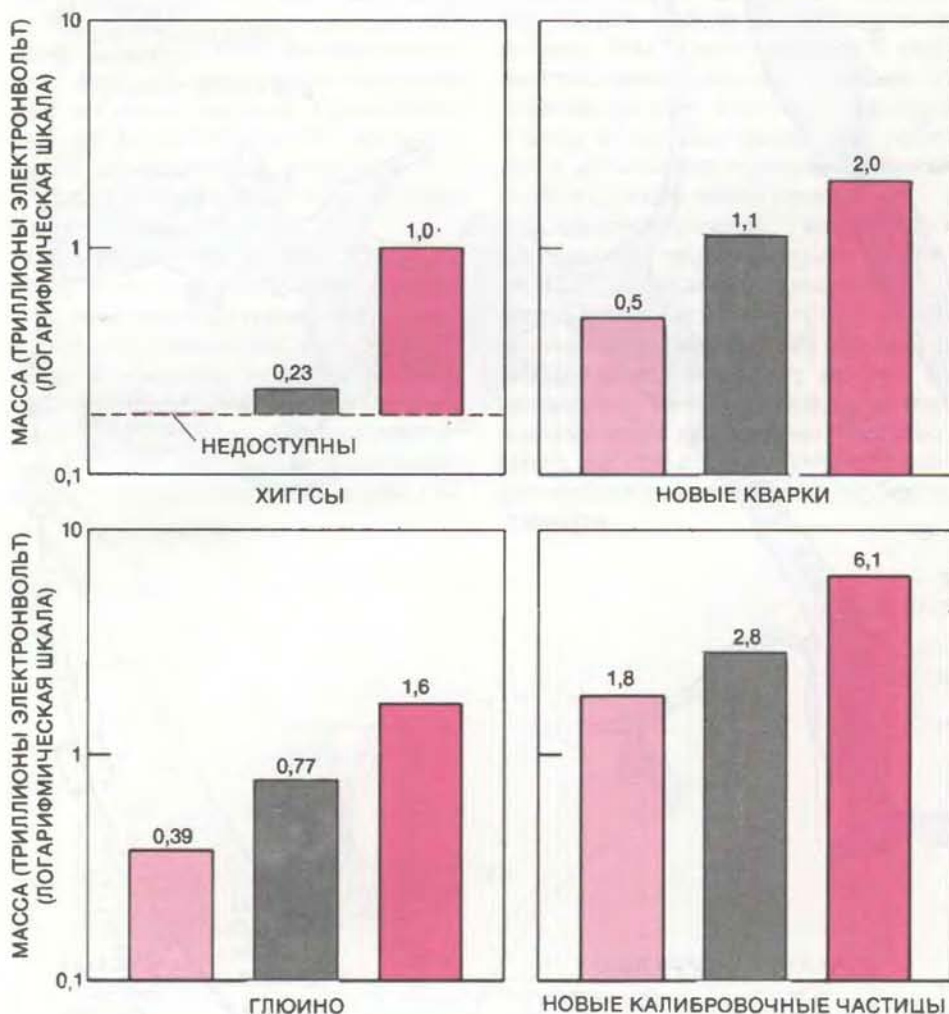
Стандартная модель основана главным образом на экспериментальных данных, полученных на больших протонных синхротронах в лаборатории им. Ферми и ЦЕРНе (Европейской организации ядерных исследований в Женеве), на установках Стэнфордского ускорительного центра, на электрон-позитронных коллайдерах в

Корнеллском, 1 амбургском и Стэнфордском университетах, и в недавно проведенных экспериментах, выполненных на протон-антипротонном коллайдере в ЦЕРНе. Важный вклад внесли также очень тонкие эксперименты при низких энергиях. Первоначально кварки были введены как чисто теоретические объекты после открытия сотен адронов. С их помощью наводили порядок в бурно растущем семействе «элементарных» частиц. После большого числа разнообразных экспериментов кварки обрели некоторую призрачную реальность. Однако только в 1974 г. предположение о их реальном существовании подтвердилось одновременным открытием в Стэнфорде и Брукхейвене частиц J/ψ , существование которых следовало из кварковой гипотезы.

Основным компонентом стандартной модели является теория электрослабых взаимодействий. В современном варианте этой теории шесть кварков и шесть лептонов группируются в три поколения. В каждое поколение входит пара кварков и пара лептонов. Электромагнитное и слабое взаимодействия описываются как разные проявления одного фундаментального взаимодействия, называемого электрослабым. Теория электрослабых взаимодействий дала точные предсказания относительно большого числа явлений и была подтверждена в деталях многими экспериментами. Наиболее эффективное подтверждение было получено в 1983 г. в ЦЕРНе, где были зарегистрированы слабые векторные бозоны — частицы W^+ , W^- и Z^0 .

Теория электрослабых взаимодействий продолжила традицию, характерную для всего процесса научного познания, начиная с древних греков: объединение различных явлений в рамках единого набора принципов. Действительно, для многих физиков теория электрослабых взаимодействий стала примером той теории, которая, как они полагают, когда-нибудь сумеет дать единое описание всех четырех фундаментальных взаимодействий. Согласно теории электрослабых взаимодействий, единство слабых и электромагнитных сил проявляется лишь при чрезвычайно больших энергиях. При таких энергиях эти два взаимодействия эквивалентны, поскольку массы калибровочных бозонов, порождающих их, эффективно равны нулю. Тогда в игру может вступить полная, ненарушенная симметрия между этими двумя взаимодействиями.

Гипотеза о существовании при высоких энергиях подобной симметрии явно контрастирует с их свойствами в



ОТКРЫТИЕ ЧАСТИЦ ограничено их максимальной массой, которая определяется энергией пучка и светимостью ускорителя. Диаграммы показывают, как этот предел зависит от энергии пучков и светимости ускорителя на встречных пучках в четырех случаях поиска гипотетических частиц; указан также нижний предел для массы хиггса: 0,18 ТэВ. Под открытием понимается появление 10 или более идентичных событий за 1 год набора экспериментальных данных. Для каждой частицы светло-розовым цветом показан предел на открытия на протон-антипротонном коллайдере с энергией пучков 6 ТэВ и светимостью $3 \cdot 10^{31}$ стандартных единиц. При современной технологии подобный коллайдер может быть сооружен в 27-километровом туннеле большого электрон-позитронного кольца в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН). Серым цветом показан предел на открытия для протон-антипротонного коллайдера с энергией пучков 20 ТэВ и такой же светимостью $3 \cdot 10^{31}$; темно-розовый цвет соответствует SSC — ускорителю с энергией пучков 20 ТэВ и светимостью 10^{33} .

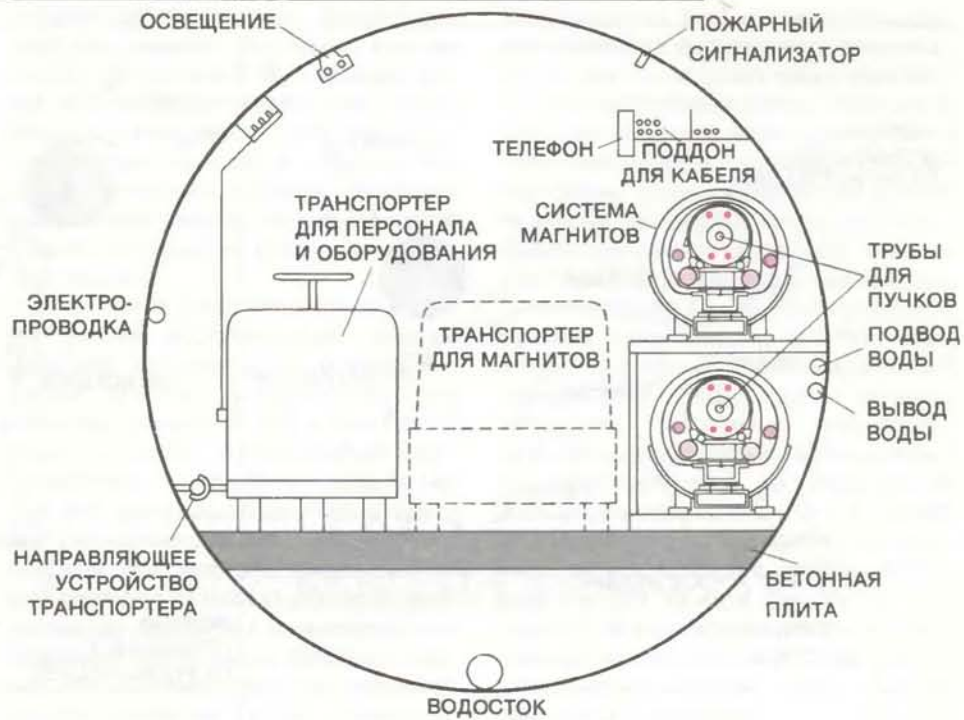
обычных условиях. Радиус слабых взаимодействий примерно в 1000 раз меньше диаметра атомного ядра, в то время как радиус электромагнитного взаимодействия бесконечно велик. Согласно теории электрослабых взаимодействий, это следствие наличия массы у слабых векторных бозонов, в то время как масса электромагнитного калибровочного бозона (фотона) равна нулю. В этом случае физики говорят, что симметрия между этими двумя взаимодействиями нарушена.

Происхождение массы

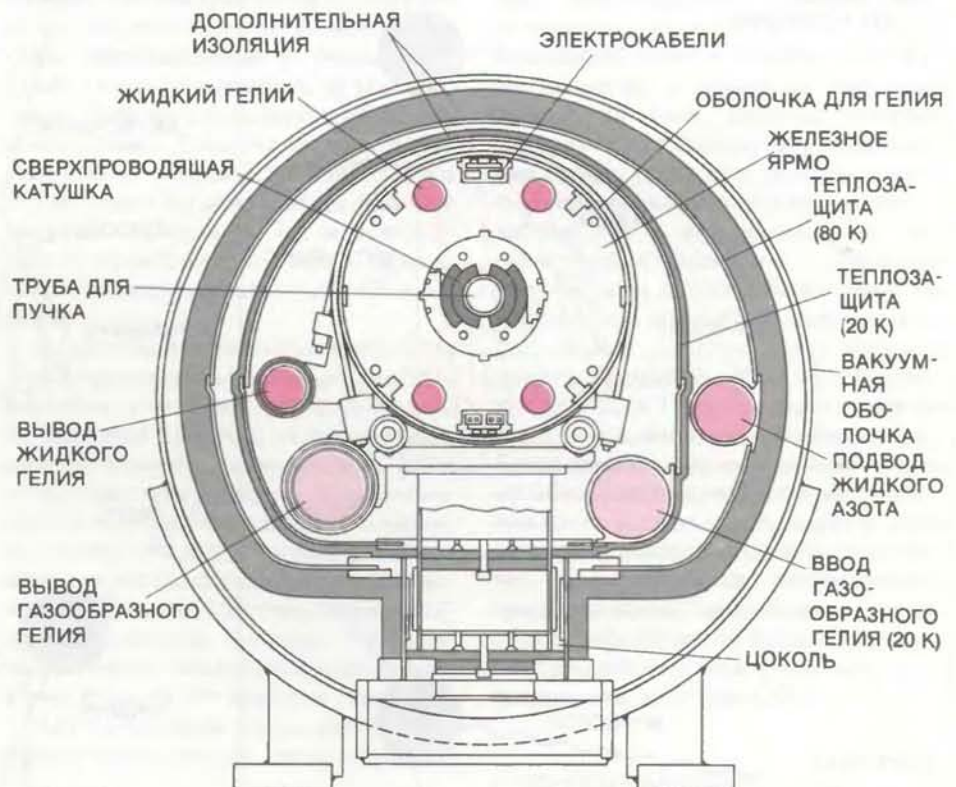
Но почему при обычных энергиях так сильно нарушена симметрия между электромагнитными и слабыми взаимодействиями? Вопрос тем более заслуживает внимания, что в теоретической формулировке электрослабой симметрии как фотон, так и слабые векторные бозоны первоначально имеют одинаковые массы, равные нулю. Наблюдаемые большие массы у слабых векторных бозонов возникают из-за нарушения симметрии, и сформулированный выше вопрос можно поставить по-иному: каково происхождение массы?

Проблема происхождения массы становится центральной при проектировании возможностей ускорителя SSC. Анализ нарушения симметрии приводит к ряду потенциально возможных теоретических сценариев. Их объединяет одно: доводы «за» или «против» могут быть получены при энергиях столкновения, планируемых для SSC. Из научных споров вытекает множество других вопросов, как в рамках стандартной модели, так и за ее пределами, которые также можно будет переадресовать к экспериментам на SSC. По-видимому, существуют пока неизвестные физические процессы, открытие которых станет возможным на новой установке. Тем не менее большая часть указаний на необходимые параметры ускорителя SSC, которые можно сейчас получить из теоретических соображений, восходит к проблеме происхождения массы.

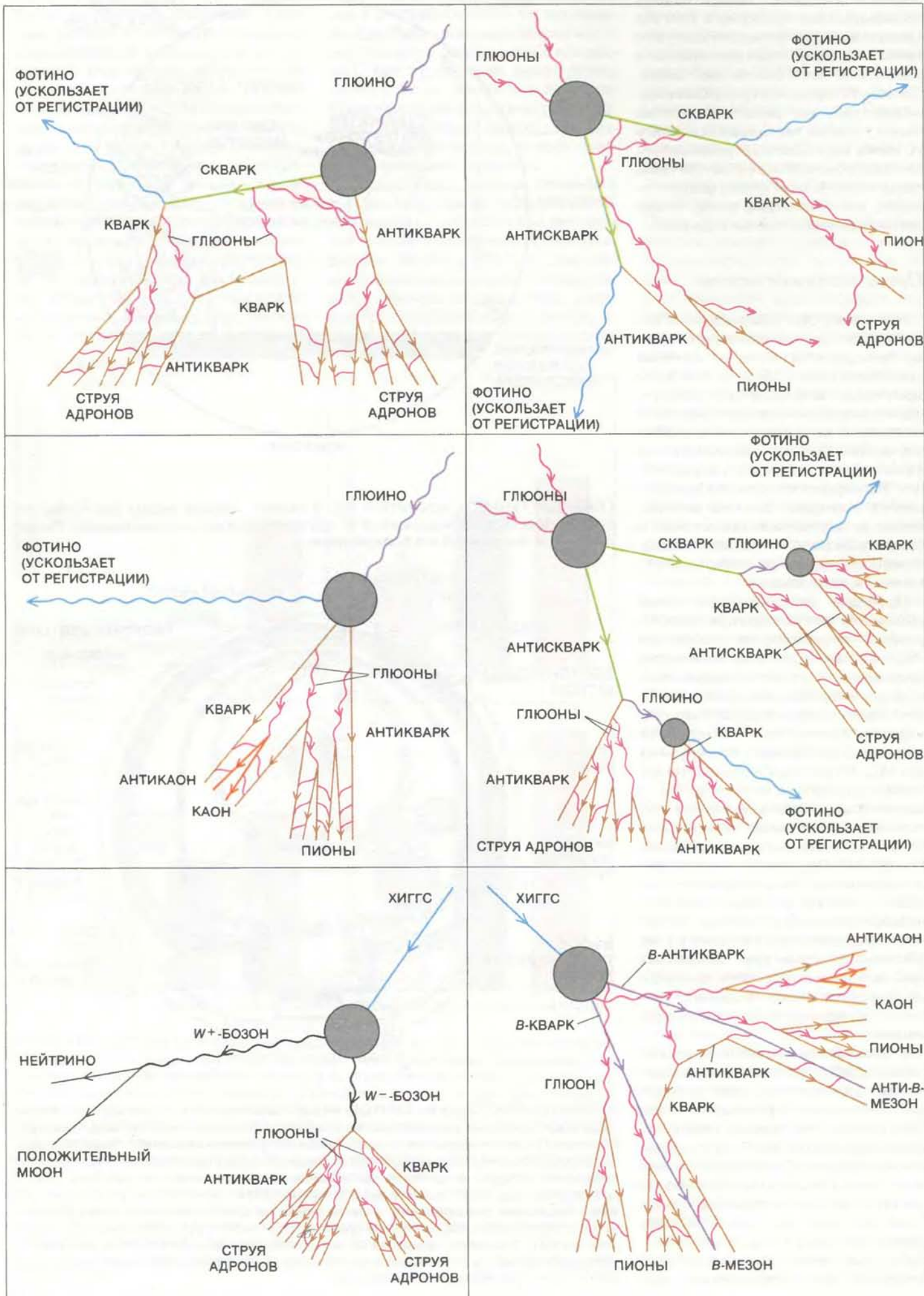
В простейшем варианте динамики электрослабых взаимодействий спонтанное (самопроизвольное) нарушение симметрии происходит из-за электрически нейтрального поля, называемого полем Хиггса (по имени Питера Хиггса из Эдинбургского университета). Поле Хиггса, если оно существует, создает однородный ненулевой фон даже в вакууме. Представление, что вакуум «содержит» что-либо, пусть всего лишь однородное ненулевое поле, противоречит рас-



ГЛАВНЫЙ ТУННЕЛЬ ускорителя SSC в разрезе. Справа видны две трубы для пучков протонов, вращающихся в противоположных направлениях. Размер туннеля — примерно 3 м в поперечнике.



ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ МАГНИТОВ, которые должны быть установлены в туннеле ускорителя SSC (схематический разрез). Пучок протонов проходит по трубе (в центре верхней части схемы). Труба окружена катушками сверхпроводящей проволоки, не имеющей сопротивления. Ток, идущий без сопротивления по проволоке, создает магнитное поле огромной напряженности, которое нужно для отклонения пучка протонов. Остальные части системы вокруг трубы с пучком служат для поддержания низкой температуры магнитов, при которой сохраняется сверхпроводимость катушек. Первый слой трубопроводов, окружающих магнит, содержит жидкий гелий при температуре 4,35 К. Этот слой окружен трубопроводами с жидким азотом при 80 К. Вокруг трубопроводов находятся слои изолирующего материала.



пространенному мнению о вакууме как об абсолютно пустом пространстве. Однако квантовая механика давно лишила подобные представления налета парадоксальности. Квантово-механический вакуум «живет» активной жизнью, независимо от того, реально поле Хиггса или нет.

Взаимодействие частицы с полем Хиггса изменяет ее энергию относительно вакуума. Эта энергия и есть эквивалент массы. В простейшей модели массы кварков, лептонов и слабых векторных бозонов появляются вследствие взаимодействия с одним полем Хиггса. Квантово-механическому полю всегда сопоставляется частица, поэтому в простейшем варианте механизма Хиггса нарушения симметрии имеется одна частица Хиггса (физики обычно называют ее просто «хиггс»). Если хиггс существует, то он должен быть обнаружен, но пока поиски не дали никаких результатов.

Частица Хиггса

Одна из трудностей состоит в том, что даже теоретически не ясно, какова масса хиггса. Это может быть и легкая частица с массой порядка нескольких миллиардов электронвольт (ГэВ), и тяжелая частица с массой порядка 1 ТэВ. Если масса хиггса меньше 50 ГэВ, то его должны обнаружить на электрон-позитронных ускорителях, вступающих в строй к концу текущего десятилетия: на Стэнфордском линейном коллайдере SLC (Stanford Linear Collider) или большом электрон-позитронном коллайдере LEP (Large Electron-Positron Collider) в ЦЕРНе. Если масса хиггса лежит между 50 и 200 ГэВ, то его можно получить на ускорителе Tevatron в Национальной ускорительной лаборатории им. Ферми, хотя выделить сигнал о его рождении на фоне «столпотворения» других частиц будет трудно чисто технически.

Если масса хиггса превышает 200 ГэВ, то его уже трудно описывать как элементарную частицу. Согласно квантовой механике, чем короче время жизни частицы, тем больше неопределенность значения ее энергии и,

следовательно, ее массы. Такой тяжелый хиггс должен распадаться на два W -бозона или два Z -бозона, и его время жизни будет чрезвычайно мало. Как следствие этого, значение массы хиггса «размажется» в довольно широком диапазоне. Тогда возникает вопрос: какой смысл считать частицей объект, который не имеет определенной массы?

Если масса хиггса достигает 1 ТэВ, то теория электрослабых взаимодействий предсказывает совершенно новые явления, происходящие при энергиях порядка 1 ТэВ и больше. В таких условиях электрослабые взаимодействия становятся сильными. Так как электрослабые взаимодействия управляют динамикой лептонов и кварков, при энергиях порядка 1 ТэВ или больше они смогут образовывать составные частицы с новыми поразительными свойствами. В любом случае для подтверждения или опровержения механизма Хиггса в диапазоне энергий, где потенциально может находиться значение массы частицы хиггса, необходим ускоритель SSC.

Многие физики считают, что простейший вариант механизма Хиггса нарушения электрослабой симметрии является всего лишь низкоэнергетическим приближением к реальности. Один из доводов основан на том, что хиггс, если он существует, не может иметь спина. Если бы хиггс обладал ненулевым спином, то поле Хиггса также имело бы спин и масса обычной частицы зависела бы от ее ориентации в пространстве. Такая зависимость экспериментально не наблюдается.

В квантовой механике спин частицы может принимать только дискретные значения, и частицы с целым спином (0, 1, 2 и т. д.) резко отличаются от частиц с полуцелым спином (1/2, 3/2 и т. д.). Частицы с целым спином называют бозонами, так что хиггс — частицу со спином 0 следует отнести к бозонам, так же как и калибровочные частицы со спином 1 (фотон, слабые векторные бозоны). Частицы с полуцелым спином называют фермионами; к ним относят все кварки и лептоны.

Для вычисления массы хиггса надо ввести определенные предположения

относительно физических процессов, протекающих при высоких энергиях. Если хиггс — элементарная частица, то его вычисленная масса меняется в широких пределах даже при небольшом изменении в сделанных предположениях. Такая «чувствительность» не нашла физической интерпретации; более того, она не характерна для выражений, описывающих массы частиц со спином 1/2. Чтобы сохранить нулевой спин хиггса, избежав при этом подобных математических трудностей, некоторые физики-теоретики предложили рассматривать хиггс не как элементарную частицу, а как составную, построенную из двух фермионов со спином 1/2. Такой составной частицей является, например, пион с нулевым спином, который состоит из двух кварков со спином 1/2. В этом случае спины составляющих частиц направлены в противоположные стороны, так что они взаимно компенсируются, и спин составной частицы равен нулю.

Предположение о составной природе хиггса приводит к гипотезе о существовании нового семейства тяжелых частиц со спином 1/2, называемых техникварками. Такие частицы должны участвовать в новом сильном взаимодействии — техницветовом — по аналогии с обычным цветовым взаимодействием кварков, которое связывает их в адроны. Из техникварков можно составить не только хиггсы, но и множество других составных частиц, таких, как технипионы, технивекторные мезоны и т. п. Такие новые частицы должны быть очень тяжелыми, но по крайней мере некоторые из них должны иметь массы в диапазоне от 50 до 500 ГэВ. На ускорителях типа Tevatron число таких частиц, рождающихся в столкновениях, будет слишком мало, и их будет трудно обнаружить среди фоновых событий (даже если их массы лежат вблизи нижней границы указанного диапазона). Для проверки теоретических предположений необходим ускоритель с энергией пучка больше нескольких триллионов электронвольт, т. е. ускоритель, подобный SSC.

Суперсимметрия

Суперсимметрия — другая теоретическая концепция, вызывающая интерес ученых. При объяснении происхождения массы она может стать альтернативой простому механизму Хиггса. В суперсимметричном мире каждая частица, включая хиггс, имеет «двойника» — частицу, идентичную почти во всем обычной частице, за исключением спина. Каждому обычно фермиону будет соответствовать

ШЕСТЬ ГИПОТЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ взаимодействия частиц, которые могут привести к открытию на ускорителе SSC новых элементарных частиц, постулируемых теорией. Глюино и скварк являются так называемыми суперсимметричными партнерами глюона и кварка. Если обе эти частицы существуют и масса глюино превышает массу скварка, то частицы могут распадаться по каналу, изображенному на двух верхних рисунках. Если масса скварка больше массы глюино, то возможны пути распада, показанные на рисунках в середине. В обоих случаях распад глюино изображен слева. На нижних рисунках показаны два способа распада бозона Хиггса. Процесс, изображенный справа, будет доминировать, если масса хиггса порядка 50 ГэВ; процесс, изображенный слева, будет типичным при массе хиггса более 200 ГэВ.

суперсимметричный бозон; например, электрон и кварк, имеющие спин $1/2$, приобретут партнеров с нулевым спином — сэлектрон и скварк соответственно. Каждому обычному бозону будет соответствовать суперсимметричный фермион со спином $1/2$: например, у фотона со спином 1 появится партнер со спином $1/2$ — глюино, у глюона со спином 1 — глюино со спином $1/2$, у хиггса со спином 0 — хиггсино со спином $1/2$.

Если бы суперсимметричные партнеры обычных частиц существовали в природе и были бы точными копиями своих двойников во всем, кроме спина, то большинство из них наблюдалось бы экспериментально. Проведено множество экспериментов, но никаких следов суперсимметричных партнеров до сих пор не обнаружено. Можно предположить, что концепция суперсимметрии утратит свою привлекательность для физиков, но этого не происходит. Доводов в пользу этой концепции несколько. Во-первых, существование суперсимметричных партнеров разрешило бы проблему «чувствительности» теоретических выражений для массы хиггса. Во-вторых, суперсимметрия в нашем мире может быть нарушенной точно так же, как электрослабая симметрия. А нарушенная суперсимметрия может привести к тому, что массы суперсимметричных партнеров будут существенно больше масс обычных частиц.

Пока не ясно, настолько масса частиц чувствительна к нарушению симметрии. Например, из эксперимента уже известно, что масса сэлектрона, если он существует, должна быть по крайней мере в 40 000 раз больше массы электрона. Следует ли из этого, что суперсимметрия нарушена «сильно»? Это неизвестно. Если суперсимметрия окажется правильной теорией, то, как и в случае техницвета, наш мир будет заселен множеством новых частиц. Большинство из них должны быть крайне массивными, в противном случае они уже были бы обнаружены. Несомненно, чтобы их открыть, понадобятся новые мощные ускорители.

Наконец, существует третий, наиболее общий довод в пользу суперсимметрии, равно как и в пользу любой другой теории, например техницвета, которая дает шанс понять тайны электрослабой симметрии и происхождения массы. Не имеет значения, является ли хиггс элементарным или составным объектом, входит он или нет в суперсимметричное семейство частиц, и вообще, существует ли он в природе. Общий квантово-механический принцип гарантирует,

что при энергиях порядка 1 ТэВ проявятся новые физические явления, тесно связанные с причиной происхождения массы, так как при экстраполяции существующей стандартной модели в эту область энергий (без каких бы то ни было изменений) вероятности некоторых физических процессов, рассчитанные на ее основе, становятся большими единицы. Поскольку это невозможно, теория в ее нынешнем виде не может быть полной.

Пока неясно, как правильно расширить стандартную теорию на область очень высоких энергий, поэтому невозможно описать точно природу новых физических явлений. Если хиггс довольно массивен, то электрослабые взаимодействия могут стать сильными (эта возможность нами уже упоминалась). Однако если окажется, что хиггс — легкая частица, то небольшое значение его массы можно объяснить в рамках суперсимметрии. Тогда область энергий порядка нескольких триллионов электронвольт должна быть заполнена суперсимметричными партнерами известных частиц. Поэтому исследование этой области энергий является исключительно важной целью на пути к пониманию фундаментальных свойств материи.

Необходимость достижения энергии 20 ТэВ

Такие теории, как техницвет и суперсимметрия, накладывают определенные ограничения на возможности новых открытий на коллайдере с данной энергией и светимостью: теория предсказывает, какова максимальная масса гипотетической частицы, если она может быть рождена в столкновении и затем зарегистрирована. Можно подумать, что если в установке сталкиваются протоны с полной энергией 40 ТэВ, то именно это количество энергии доступно для рождения новых частиц. На самом деле высвобождается только часть полной энергии столкновения. Все адроны представляют собой составные системы, и каждый из них можно сравнить с мешком с шариками. Полная энергия адрона делится между его составляющими — кварками, антикварками, глюонами, а в столкновении принимают участие только две составляющие. Их энергия высвобождается полностью, но это лишь часть полной энергии адронов. Например, на ускорителе Tevatron полная энергия столкновения равна $1,8$ ТэВ, что позволяет тщательно исследовать область масс до $0,3$ ТэВ.

Чтобы получить представление о том, как изменится максимальная

детектируемая масса в зависимости от конструкции ускорителя, рассмотрим возможное существование глюино и скварка. Для протон-антипротонного коллайдера с энергией пучков 6 ТэВ каждый и светимостью $3 \cdot 10^{31}$ стандартных единиц максимальная масса глюино или скварка, которые можно зарегистрировать, составляет около $0,4$ ТэВ. При современной технологии такой коллайдер можно построить в туннеле для электрон-позитронного коллайдера LEP в ЦЕРНе. На SSC, светимость которого будет в 30 раз больше, а энергия столкновения в 3 раза больше, самые тяжелые детектируемые глюино или скварки могут иметь массу до $1,5$ ТэВ. SSC позволит обнаружить также хиггсы с массой до 1 ТэВ, новые кварки с массами до 2 ТэВ и новые калибровочные бозоны с массами до 6 ТэВ (см. рисунок на с. 40).

Можно усомниться во многих теоретических оценках или предположениях относительно будущей установки, но главная цель ясна. Для эффективного проникновения в мир частиц с массами порядка 1 ТэВ создание коллайдера с проектными характеристиками SSC не пустое расточительство. При уменьшении энергии или светимости мы рискуем не достичь области, где можно сделать открытия. Более того, если максимально доступная энергия лежит чуть ниже границы, за которой начинается радикально новая физика, то она останется неизведанной, как бы ни была велика светимость установки. Поэтому первостепенную важность приобретает именно максимально доступное увеличение энергии пучков.

Путь протона

Чтобы понять, каким образом в SSC будут достигнуты проектные характеристики, полезно проследить путь протонов от их источника до места столкновения (см. рисунки на с. 38, 39). В свое путешествие протоны пускаются в виде ядер ионизованных атомов водорода в газе. Они увлекаются из газа при помощи специально расположенных электродов и вылетают с кинетической энергией порядка нескольких тысяч электронвольт.

Затем они попадают в линейный ускоритель, представляющий собой последовательность электродов, ускоряющих протоны серией небольших толчков. На самом деле протоны увлекаются точно рассчитанной волной разности потенциалов, движущейся вдоль электродов. Ускорение повышает энергию протонов в пучке до

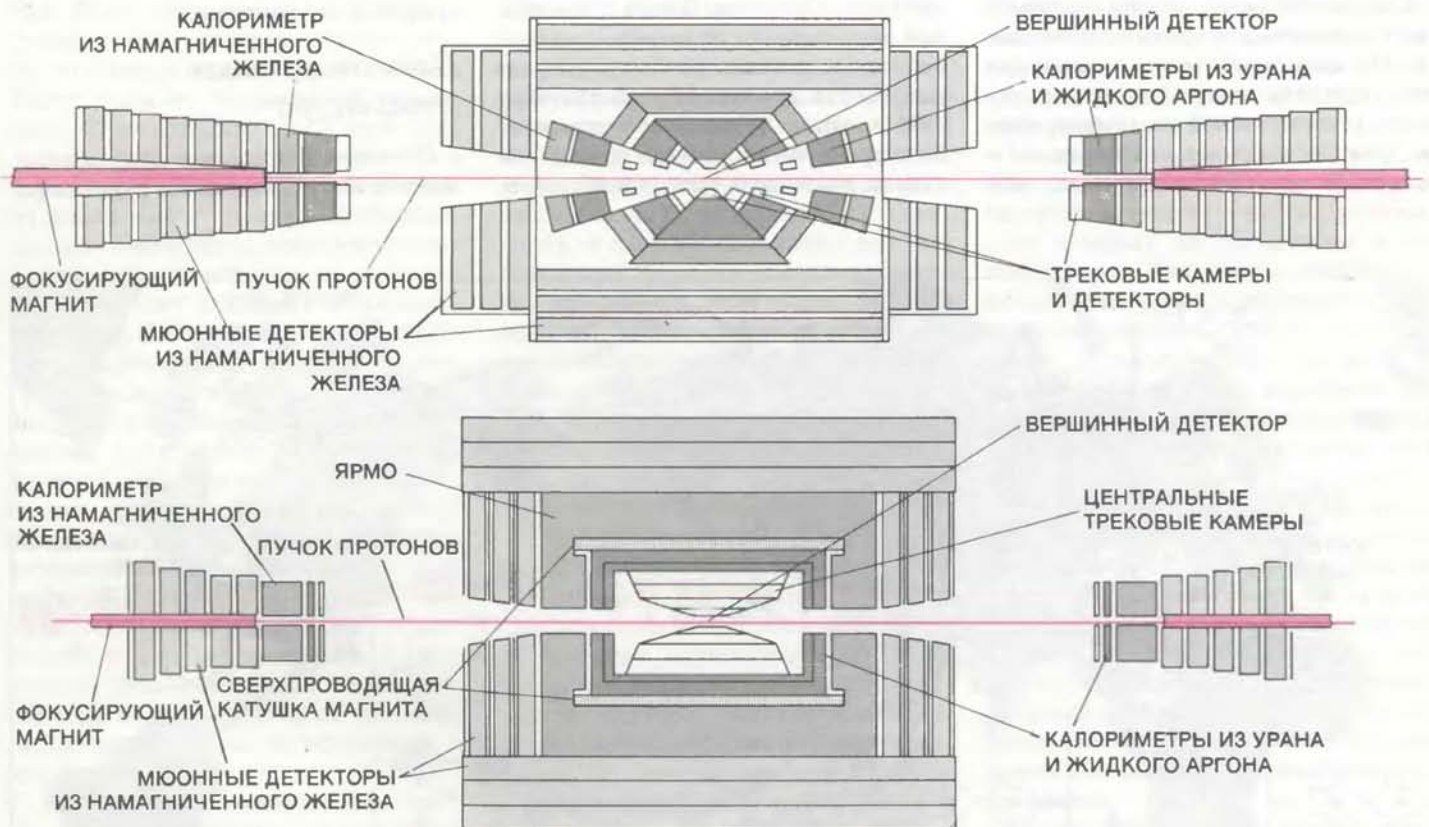
600 млн. эВ. После этого пучок попадает в каскад из четырех синхротронных колец.

При ускорении в синхротроне однородное магнитное поле заставляет протоны двигаться по predetermined маршруту. В специальной секции синхротронного кольца пучок проходит через линейный ускоритель, вследствие чего его энергия возрастает с каждым оборотом. По мере повышения энергии возрастает и напряженность магнитного поля; это необходимо для удержания протонов на замкнутой орбите. Частота бегущей волны, ускоряющей протоны в линейной секции, должна быть синхронизована с частотой их обращения по кольцу. Эти частоты находятся в радиодиапазоне электромагнитного спектра. Современные ускорительные системы настолько эффективны, что линейная секция займет в длину около 23 м, что составит незначительную долю длины окружности SSC, равную примерно 84 км.

Стоимость магнитов, управляющих движением пучка, пропорциональна диаметру области трубы, в которой создается однородное магнитное поле. Необходимый диаметр области поля зависит от диаметра пучка, а последний, среди прочих факторов, — от отношения импульса частиц в перпендикулярном пучку направлению к их импульсу в продольном направлении. Это отношение непрерывно уменьшается, так как ускорительная система увеличивает импульс частиц только вдоль оси пучка. В большом синхротроне уменьшение диаметра пучка используется для минимизации размера области однородного магнитного поля, которое необходимо на каждой стадии ускорения, и, таким образом, для снижения общей стоимости установки. В нашем проекте каскад синхротронов посылает протоны сквозь постоянно сужающиеся трубы. Первый синхротрон ускорит протоны от энергии 0,6 ГэВ до энергии 8 ГэВ, второй — до энер-

гии 100 ГэВ, а третий — до энергии 1 ТэВ. Главный ускоритель — большое синхротронное кольцо SSC — поднимет энергию протонов до конечного значения 20 ТэВ.

При полной энергии диаметр пучка составит всего лишь 1/5 мм. Для повышения светимости коллайдера пучки фокусируются в точки столкновения с помощью мощных магнитных линз и образуют еще более плотные сгустки. После фокусировки сгустки превратятся в тонкие цилиндры диаметром около 10 мкм и длиной 15 см. В каждом сгустке будет около 10 млрд. протонов, так что приблизительно плотность сгустка составит 1/10 000 плотности молекул в воздухе при нормальных температуре и давлении. Из-за малой вероятности столкновения протонов в двух противоположно вращающихся сгустках сгустки могут повторно проникать друг в друга в точках столкновения в течение многих часов без дополнительного их пополнения.



МНОГОЦЕЛЕВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ЧАСТИЦ для ускорителя SSC должны быть спроектированы так, чтобы полностью охватить точку столкновения двух пучков протонов. В детекторе, изображенном вверху, отсутствует магнитное поле вокруг центральной трековой камеры. В состав детектора, изображенного внизу, входит сверхпроводящий магнит, создающий поле вдоль направления пучка. В обоих детекторах имеются центральная и передняя части. Передняя часть предназначена для регистрации частиц, движущихся почти параллельно оси пучка. Внутренние части

спроектированы так, чтобы можно было измерять различные характеристики треков каждой из заряженных частиц. Впоследствии эти характеристики послужат для реконструкции пути частицы. Внешними частями детекторов являются калориметры для измерения полной энергии, приходящейся на их сегменты. Наружной оболочкой детекторов служат слои намагниченного железа, перемежающиеся трековыми камерами. Такая система идентифицирует мюоны и измеряет их энергию. Все прочие известные частицы, кроме нейтрино, поглощаются калориметрами.

Сверхпроводящие магниты

Необходимость удерживать и фокусировать пучки протонов делает систему магнитов ключевым звеном любого синхротрона. За прошедшие два года значительные усилия многих специалистов были направлены на изучение различных типов магнитов, которые могли бы использоваться в SSC. В принципе можно было бы построить установку на электромагнитах с медными обмотками аналогично ускорителям 50—60-х годов. Такое кольцо, ускоряющее протоны до 20 ТэВ, потребляло бы по крайней мере 4 млрд. Вт электроэнергии, что привело бы к неоправданно высокой стоимости эксплуатации установки. Более того, магнитные свойства железных сердечников и способность меди переносить электрический ток ограничивают электромагнитные поля по напряженности — не более 2 Т (20 000 Гс). Эта величина примерно эквивалентна полям, создаваемым в электромоторах бытовых электроприборов.

Сверхпроводящие магниты помогают справиться с обеими проблемами. Их применение может значительно сократить потребляемую мощность ускорительной системы и, кроме того, создать магнитное поле, в несколько раз более сильное, чем

обычные магниты. Такое поле дает возможность удерживать протоны на орбите меньшего радиуса при той же энергии, т. е. позволяют уменьшить размеры синхротронного кольца.

В обычных электромагнитах с обмотками из медной проволоки энергия рассеивается при прохождении через них электрического тока. Некоторые металлы, сплавы и соединения становятся сверхпроводниками при охлаждении ниже определенной критической температуры: они приобретают способность проводить электрический ток без сопротивления. В магните с обмотками из сверхпроводящей проволоки энергия расходуется лишь на поддержание проволоки в сверхпроводящем состоянии, т. е. ниже критической температуры. Холодильники, необходимые для SSC, должны будут потреблять электроэнергию около 30 млн. Вт, что несколько меньше полной мощности, потребляемой в настоящее время крупнейшими ускорительными установками.

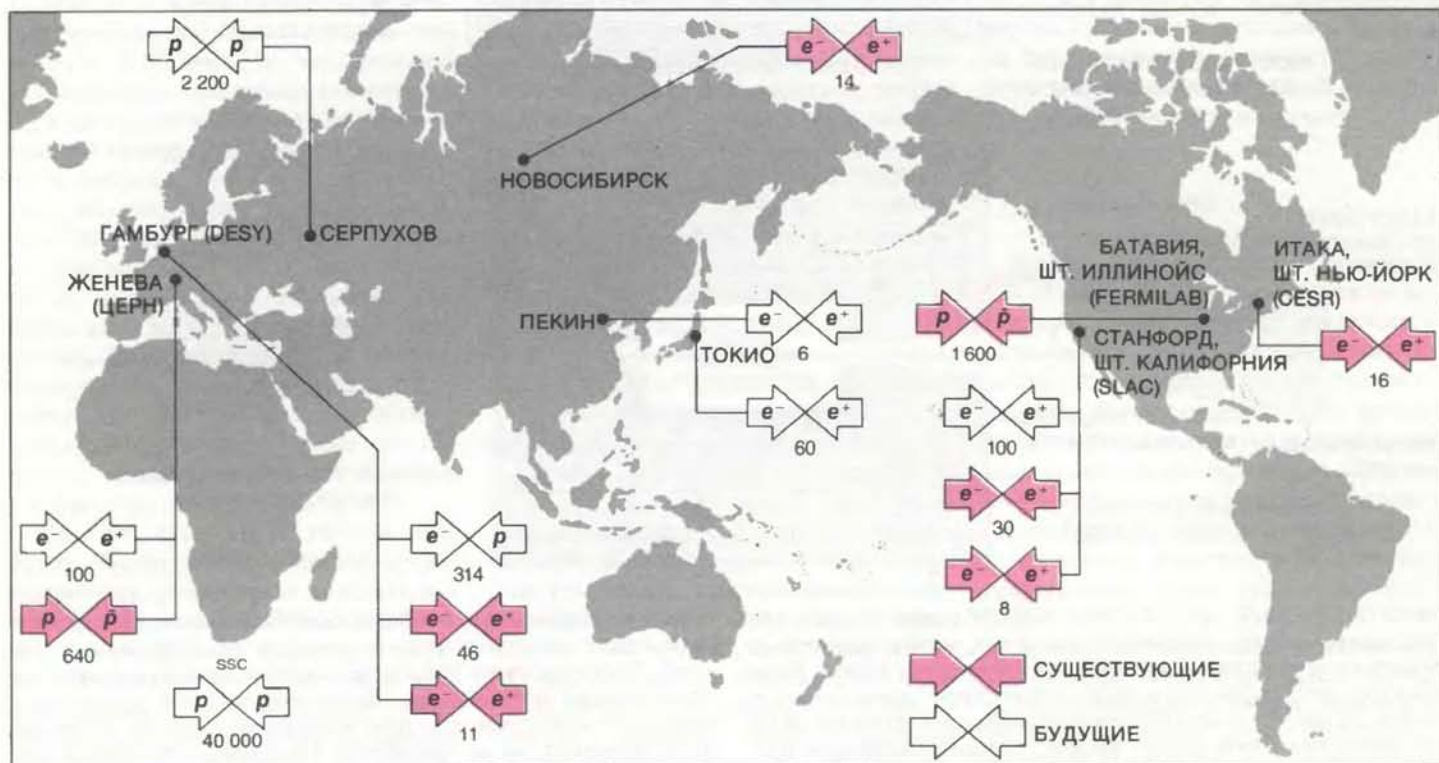
В 1983 г. вступил в строй первый синхротрон с сверхпроводящими магнитами — Tevatron. В ходе его успешной эксплуатации получены поистине бесценные данные, необходимые для разработки проекта SSC. В сентябре 1985 г. мы с нашими коллегами по Центральной проектной группе достигли очередной вехи, сделав окон-

чательный выбор в пользу сверхпроводящих отклоняющих магнитов. Отклоняющие магниты будут создавать поле напряженностью около 6,6 Т, что и определяет размеры главного синхротронного кольца с длиной окружности около 84 км.

Сверхпроводящие катушки магнита, равно как и железное ярмо, будут поддерживаться при температуре 4,35 К с помощью герметизированного потока жидкого гелия. Вокруг кольца ускорителя будут равномерно размещены десять холодильных установок, каждая из которых сможет направить охлаждающий поток вдоль кольца на расстояние около 4 км в обе стороны. Промежуточная тепловая защита из жидкого азота при температуре 80 К значительно уменьшит тепловую энергию, получаемую жидким гелием. Чтобы система была устойчивой к колебаниям температуры и механическим вибрациям, кольцо ускорителя будет размещено в туннеле. Туннель будет закрыт слоем земли толщиной около 6 м, который будет поглощать любое ионизирующее излучение при столкновении пучка со стенками трубопровода.

Детектирующая аппаратура

Поскольку установка SSC предназначена для исследования ранее не из-



УСКОРИТЕЛЬ НА ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКАХ является сейчас главным инструментом в экспериментальной физике высоких энергий. На карте указаны как существующие, так и планируемые установки. Ускорители размечены в соот-

ветствии с видом сталкивающихся частиц: электрон обозначен e^- , позитрон — e^+ , протон и антипротон — p и \bar{p} соответственно. Числа указывают максимальную полную энергию столкновения в миллиардах электронвольт (ГэВ).

ученной области энергий, никто не может предсказать свойства наиболее интересных событий. Поэтому важно, чтобы детекторы частиц, разрабатываемые для использования на SSC, можно было изменять и модифицировать в широких пределах. Эксперименты, выполненные с начальным комплектом детекторов, зададут направление экспериментальной программы в целом.

Столкновения между протонами, вращающимися навстречу друг другу, будут происходить в нескольких точках вдоль кольца, где пучки будут направлены «лоб в лоб» или под малыми углами. В этих точках пересечения пучков в экспериментальных залах и будут размещены сложные детекторы. Они запишут всю информацию о частицах, испускаемых при столкновениях протонов, а электронные устройства проанализируют ее, чтобы отобрать из всего множества те частицы, которые могут представлять потенциальный интерес для исследователей.

Мы предполагаем, что в каждой точке пересечения пучков установки SSC будет происходить до 100 млн. столкновений в секунду, поэтому удивительно, что анализ информации будет далек от тривиальной задачи: надо будет отыскать «иголку» или, как максимум, несколько «иголок» в том «стоге сена», какой будут представлять собой экспериментальные данные. Более того, после выделения потенциально интересных событий их надо будет подвергнуть дополнительному, более тщательному анализу. Если они пройдут и сквозь это «сито», понадобится еще достаточно обширная информация о траекториях частиц, вылетающих из точки столкновения. Ее нужно собрать и записать с тем, чтобы в дальнейшем можно было реконструировать события при столкновении протонов. Весь этот процесс обработки информации надо провести как можно быстрее, чтобы уменьшить «мертвое» время, в течение которого детектор и связанная с ним система компьютеров не могут записывать новую информацию о столкновениях.

Из требования уменьшения «мертвого» времени следует, что надо записывать лишь малую долю всех происходящих событий, и потому необходимо разработать электронные триггеры для отбора интересных явлений. Здесь можно ориентироваться, основываясь на опыте прошлых экспериментов и идеях теоретиков. Например, сигналом о рождении W^+ , W^- и Z^0 -бозонов служило испускание электронов и мюонов с большой энергией, а в случае заряженных W -

бозонов — еще и вылет нейтрино. Характерные признаки распада хиггса похожи на признаки распада слабых бозонов. Теория предсказывает, что хиггсы стремятся распастись на возможно более тяжелые частицы, например на тяжелые кварки или W -бозоны. В свою очередь при распаде кварков или W -бозонов должны образоваться электроны, мюоны и нейтрино. Ни хиггсы, ни тяжелые кварки или W -бозоны не могут существовать настолько долго, чтобы их можно было зарегистрировать непосредственно, поэтому об их рождении судят по появлению соответствующих продуктов распада.

Присутствие электронов и мюонов, имеющих электрический заряд, обнаруживается непосредственно; что касается нейтрино, то его зарегистрировать гораздо труднее. Факт испускания нейтрино можно обнаружить при измерении проекции полного импульса всех родившихся в столкновении частиц на направления, перпендикулярные оси пучков. Полный импульс сталкивающихся протонов в направлениях, перпендикулярных оси столкновения, равен нулю, поэтому полный поперечный импульс всех родившихся частиц также должен быть равен нулю. Следовательно, полный импульс, «уносимый» родившимися частицами в каком-то из поперечных к пучкам направлении, должен компенсироваться импульсом, «уносимым» в противоположном ему направлении. Если же такой компенсации не наблюдается, можно предположить, что какая-то частица «ускользнула» от наблюдения. Нейтрино так редко реагирует с веществом, что почти никогда не регистрируется, так что отсутствие компенсации поперечного импульса свидетельствует о рождении нейтрино.

Первый триггер на SSC предназначен для отбора электронов и мюонов со средними энергиями. Решения, принимаемые на более высоком уровне точности, могут основываться на сумме все более детальной информации об энергии и траектории вылетающих частиц, причем эта информация будет поступать от детекторов различного вида. При некоторых способах отбора интересующих нас событий достаточно построить детекторы, лишь частично окружающие точку столкновения. Однако в большинстве случаев необходимы многоцелевые детекторы, окружающие точку столкновения со всех сторон настолько плотно, насколько это возможно. Функции детекторов мы проиллюстрируем на примере основных характеристик многоцелевого детектора.

Многоцелевые детекторы

Для большинства измерений очевидные преимущества имеют именно многоцелевые детекторы с магнитным полем в центральной области. Возрастает сложность регистрируемых явлений и магнитное поле требуется для проведения точных измерений положения и импульсов частиц, однако это значительно увеличивает стоимость детектора. Поэтому проектом предусмотрено, что сначала на SSC будет установлен один детектор с магнитным полем, а другие детекторы поля иметь не будут.

Все такие детекторы имеют одинаковую конструкцию (см. рисунок на с. 45). Вероятно, внутренняя часть будет представлять собой так называемый вершинный детектор, предназначенный для наиболее точного измерения траекторий частиц вблизи «вершины», т. е. точки столкновения протонов. Затем вылетающие частицы попадут в центральные трековые камеры, в которых измеряются направления полета заряженных частиц и, если присутствует магнитное поле, кривизна их траекторий. Сразу за трековыми камерами или, возможно, перемежаясь с ними, будут расположены детекторы, идентифицирующие электроны.

К следующей группе детекторов относятся калориметры, измеряющие полную энергию частиц, угол вылета которых по отношению к направлению начальных протонных пучков превышает определенное критическое значение. Одна из основных задач калориметра — установить присутствие нейтрино, рождающихся в «жестких», т. е. в лобовых столкновениях между составляющими двух протонов. Напомним, что присутствие нейтрино в принципе обнаруживается по видимому нарушению сохранения поперечного импульса. Для частиц, движущихся почти со скоростью света, импульс эквивалентен энергии. Поэтому на практике отсутствие компенсации в поперечном импульсе продуктов столкновения обнаруживается по нарушению баланса энергии их движения в поперечном направлении.

Поперечную энергию можно определить путем измерения энергии каждой из частиц, родившихся в столкновении. Однако такие измерения могут оказаться настолько сложными, что их не удастся выполнить. В каждом столкновении на SSC могут с легкостью родиться более 100 новых частиц, и ожидается, что многие из них будут вылетать сгруппированными в струи или в плотные сгустки, что мешает отличать их друг от друга.

Кроме того, стандартные методы определения энергии заряженных частиц, основанные на измерениях кривизны их траектории в магнитном поле, неприменимы к нейтральным частицам.

С помощью калориметров измеряется полное поглощение энергии при прохождении частиц через какую-то среду без выделения их индивидуального вклада. Несмотря на это ограничение, энергетический вклад частиц, летящих в разных направлениях, можно определить отдельно, если разделить калориметры на сегменты. Тогда полная поперечная энергия и направление струи хорошо поддаются измерению, и из этих данных можно установить, было ли испущено в данном столкновении нейтрино.

В многоцелевых детекторах калориметры используются одновременно в качестве первого слоя системы для идентификации мюонов, появление которых часто связано с интересными событиями. Снаружи будет помещено несколько слоев намагниченного железа, перемежающихся трековыми камерами. Эта часть детектирующей установки предназначена для учета посторонних влияний при измерениях импульса мюонов, поскольку некоторые распады могут имитировать пролет мюонов с большой энергией.

Границы физики высоких энергий

Выше мы подчеркивали, что рождение и обнаружение частиц с массой более 1 ТэВ на установке SSC расширит наши знания об элементарных процессах, происходящих далеко за пределами применимости стандартной модели. В частности, исследования будут направлены на решение фундаментальной проблемы происхождения массы и проблемы нарушения симметрии в теории электрослабых взаимодействий. Кроме того, эксперименты на SSC должны внести также фундаментальный вклад в решение других, все еще открытых вопросов. Так, согласно современным представлениям, существуют три поколения кварков и лептонов. Существуют ли другие поколения? Почему массы кварков и лептонов последовательно возрастают при переходе от поколения к поколению? Всегда ли кварки неразрывно связаны внутри адронов или мы когда-нибудь сможем найти следы свободных кварков? Связаны ли между собой свойства кварков и лептонов, и если это так, то каким образом? Почему в слабых взаимодействиях проявляется отличие «правого» от «левого»? Являются ли

кварки и лептоны действительно элементарными объектами или же они построены из еще более элементарных составляющих? Применима ли квантовая механика при переходе к описанию систем со все более малыми расстояниями? Можно ли построить последовательную квантовую теорию гравитации, подобную теории цветовых взаимодействий, и возможно ли построение объединенной теории всех известных фундаментальных взаимодействий?

За прошедшее десятилетие были предприняты попытки обобщить схему, на основе которой была построена теория электрослабых взаимодействий, для создания теорий великого объединения электромагнитных, слабых и цветовых взаимодействий. А совсем недавно в так называемой теории суперструны предложено расширение теории суперсимметрии с таким математическим аппаратом, на основе которого может появиться еще более грандиозное объединение, включающее также гравитацию. На основе теорий великого объединения произошло сближение проблем физики элементарных частиц и космологии: современные представления физики элементарных частиц могут помочь понять процессы, происходившие в ранней Вселенной, а космологам в свою очередь тоже есть чем поделиться с физикой элементарных частиц.

Сейчас астрономы полагают, что Вселенная началась с катаклизма, называемого Большим взрывом, причем в первые мгновения после него в чрезвычайно горячей Вселенной должна была проявляться полная симметрия законов природы. Таким образом, изучение микромира и макромира приводит к единой точке зрения: для постижения единства и простоты первооснов природы надо сооружать приборы, с помощью которых можно исследовать области все более высоких энергий. В полной мере предвосхитить открытия, которые при этом будут сделаны, невозможно, но часто именно неожиданные открытия приводили к более глубокому пониманию фундаментальных законов. Ускоритель SSC, беспрецедентный по своему проекту, но практически реализуемый, позволит достичь ранее не исследованных областей энергий. Можно только предполагать, какие будут совершены открытия, но, возможно, будут изучены события, которые имели место в первые мгновения после образования Вселенной. Открываемые возможности не должны оставить равнодушными никого, кто разделяет наше стремление понять окружающий мир.

Издательство МИР предлагает:

С. Тикадзуми ФИЗИКА ФЕРРОМАГНЕТИЗМА. МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Перевод с японского

Во второй книге монографии (первая вышла в издательстве «Мир» в 1983 г.) завершается изложение физики ферромагнетиков. Книга начинается с главы, в которой рассматривается магнитная анизотропия и магнитострикция. Исследуется теория явлений, методы излучения и другие вопросы. Во второй главе дается изложение основных вопросов доменной структуры. Гл. 3 называется «Процессы намагничивания» и содержит в себе сведения о кривой намагничивания, магнитном последствии, потерях от вихревых токов, динамике спинов и магнитном резонансе. В гл. 8, озаглавленной «Магнетизм и физическая природа вещества», три параграфа: магнетизм и тепло (магнетокалорический эффект, аномальная удельная теплоемкость, адиабатическое размагничивание, инвар-эффект), магнетизм и электричество (эффект магнетосопротивления, эффект Холла, МЕ-эффект), магнетизм и свет (эффект Фарадея, зеemanовское расщепление, фотоиндуцирование). В заключительной главе, посвященной применениям ферромагнетизма, рассматриваются мягкие магнитные материалы, магнитомягкие материалы и другие магнитные материалы

Для физиков, инженеров-физиков, инженеров, аспирантов и студентов, нуждающихся в достаточно полном современном пособии по физике ферромагнетизма и его приложениям.

1987, 23 л. Цена 3 р. 60 к.



Наука и общество

Сокращение ассигнований

НАМЕЧЕННЫЕ ассигнования научных исследований и разработок из правительственных фондов в этом году резко сократятся в результате автоматического урезания бюджета, предусматриваемого законом Грамма—Рудмана. Этот закон вступил в силу, когда конгрессу США не удалось достичь поставленной им цели — снизить национальный дефицит. В текущем финансовом году, заканчивающемся 30 сентября, расходы на научные и проектные работы невоенного характера сокращаются на 4,3% и на 7—14% в будущем. Также большие сокращения могут коснуться ассигнований военных исследований и разработок, если министерство обороны предпочтет сохранить имеющийся численный состав армии и ее боеготовность за счет частичного свертывания научных и проектных работ и других программ.

Сокращение ассигнований является следствием действия закона, принятого в прошлом году конгрессом с целью сбалансировать бюджет к 1991 г. В соответствии с этим законом дефицит в этом году должен быть уменьшен до 171,9 млрд. долл., в 1987 г. финансовом году до 144 млрд. долл., а в последующем он ежегодно должен сокращаться на 36 млрд. долл. Сокращения ассигнований начнут вступать в силу, как только в процессе подготовки и рассмотрения бюджета обнаружится, что намечаемое уменьшение дефицита не достигается.

Конгресс ограничил принудительные сокращения в этом году до 11,7 млрд. долл. Поскольку планируемый на 1986 г. дефицит равен 220,5 млрд. долл., сокращения на всю сумму в 11,7 млрд. долл. необходимо произвести уже сейчас. Закон предусматривает равное сокращение в размере 4,3% в каждой «программе, проекте и виде деятельности» невоенного характера, исключая сферу социального обеспечения и оказания медицинской помощи.

Представитель Американской ассоциации по развитию науки У. Шэпли проанализировал влияние сокращения расходов на научные исследования и разработки с точки зрения издержек (реальных затрат в этом году) и исполнения бюджета (обязательств по выделению ассигнований на программы, в основном из средств последующих лет). Сделанные им расчеты показали, что сокращение расходов на указанные цели в среднем составят

4,6% на каждую уже осуществляемую программу невоенного характера и 3% на военные программы. Сокращения, предусмотренные бюджетными органами, составят от 7 до 14% на программы невоенного характера и от 4,5 до 9% на научные исследования и проектные разработки оборонного назначения.

В 1987 г., когда потребуется произвести сокращения в полном объеме, чтобы снизить дефицит до 144 млрд. долл., ситуация будет еще более критической. Как отмечает Шэпли, «перспективы таковы, что придется пойти на значительные снижения уже запланированного уровня финансирования научных исследований и проектных разработок».

Дискриминация женщин в сфере труда

В 70-е годы значительно возросла занятость женщин на тех видах работ, которые прежде были привилегией мужчин. Тем не менее проблема дискриминации в США женского труда остается нерешенной. Большая часть мужского и женского населения США выполняет работы, которые традиционно делятся на «мужские» и «женские», что обуславливает более низкую оплату труда женщин. Если правительство не будет содействовать решению данной проблемы, то в следующем десятилетии сдвиги в этом направлении будут незначительными.

Приведем некоторые данные, содержащиеся в докладе, недавно подготовленном Национальным советом по научным исследованиям при Национальной академии наук США. Как указывается в этом докладе, в 1980 г. примерно 48% американских женщин были заняты на работах, которые по крайней мере на 80% используют женский труд. К типичным видам работ, выполняемых женщинами, относится труд секретарш (99% женщин) и медсестер (96% женщин). Дискриминация женщин в тех видах трудовой деятельности, которые традиционно считались мужскими, оказалась еще выше: 71% мужчин был занят на тех работах, где более чем на 80% использовался труд мужчин. Работы, выполняемые преимущественно мужчинами, включали плотницкий труд (только 1% женщин) и труд инженеров (4% женщин).

Разделение между мужским и женским трудом особенно заметно в отдельных компаниях. В докладе излага-

ются результаты изучения дискриминации в сфере трудовой занятости в фирмах Калифорнии. Проведенные исследования показали, что из 393 фирм 30 занимали на работу представителей только одного пола. В 201 фирме существовало разделение работ, выполняемых только мужчинами и только женщинами. Лишь в небольшом числе фирм не существовало разделения между мужским и женским трудом. Но и здесь картина была обманчивой, поскольку лишь в редких случаях мужчины и женщины выполняли одинаковые виды работ.

Дискриминация в трудовой занятости — это основная причина неравной оплаты мужского и женского труда. В 1981 г. годовой доход женщин в среднем составлял 60% дохода мужчин. В докладе отмечается, что, если бы этой дискриминации не существовало, женщины за свой труд получали бы 75% той суммы, которую получают мужчины.

Несмотря на то что эта статистика рисует безрадостную картину, женщины в 70-е годы добились значительно больших результатов в борьбе за свои права, чем за предыдущие десятилетия. За период с 1900 по 1970 г. показатель дискриминации в трудовой занятости оставался неизменным. (Этот показатель исчисляется как доля численности работающих мужчин и женщин, которую можно было бы перевести на те виды работ, которые преимущественно выполняются представителями противоположного пола, чтобы дискриминация исчезла.) С 1970 по 1980 г. этот показатель претерпел самое сильное снижение, чем за весь предыдущий период в текущем столетии — он упал почти в 10 раз и достиг уровня примерно 60%.

Однако в предстоящие годы процесс в рассматриваемом направлении, по-видимому, будет медленным. В докладе отмечается, что участие правительства было самой эффективной мерой в частичном решении проблемы дискриминации в трудовой занятости. Работодатели добровольно предприняли свои меры по снижению дискриминации после того, как федеральные власти осудили существующую дискриминацию женщин в сфере труда. Авторы доклада заключают, что наблюдаемое в последнее время снижение внимания правительства к закреплению гражданских прав, вероятно, послужит причиной, тормозящей прогресс в данной области, и в основном потому, что работодатели, которые уже не боятся правительственных санкций, вновь будут прибегать к дискриминации женщин.

Компьютер моделирует эволюцию растений

Компьютеры — эффективное средство проверки статистических по своей природе гипотез эволюционной биологии. С помощью персонального компьютера смоделированы основные направления эволюции растений

КАРЛ ДЖ. НИКЛАС

ЕСЛИ биолог-эволюционист захочет проверить ту или иную концепцию, он неизбежно столкнется с непреодолимым препятствием. Оно состоит в том, что постулаты, которые лежат в основе любой эволюционной теории, не позволяют делать определенных и легко фальсифицируемых* предсказаний. И вместо этого обычно пытаются описывать основные статистические направления эволюции, которые можно обнаружить только в больших популяциях по прошествии длительного времени. Наконец, организмы, о которых идет речь, и окружающая их среда могли исчезнуть сотни миллионов лет назад, как, например, первые наземные растения и условия, в которых они существовали.

Все эти трудности приводят к тому, что, даже если палеоботаник, палеозоолог или генетик воссоздал во всех деталях историю какой-либо линии эволюционного развития, он не может дать четкого ответа на важнейшие вопросы: почему эволюция пошла именно так, а не иначе? что из того, что донесла до нас палеонтологическая летопись, можно приписать случаю, а что — определенным событиям в биосфере и действию отбора?

Существует, однако, эффективное средство проверки эволюционных гипотез — компьютер. ЭВМ способны обрабатывать большие массивы данных, и исследователь получает возможность моделировать даже весьма сложные эволюционные процессы. Методы компьютерного моделирования позволяют «поверить алгеброй» многие основанные на интуиции представления биологов о взаимодей-

ствии организмов со средой обитания. Именно такой работой занимаются мои коллеги из Корнеллского университета В. Керчнер и Т. О'Рурк вместе с автором этих строк. Мы попытались проверить математически следствия, вытекающие из различных представлений об эволюции растений.

Исследование гипотез с помощью компьютера проводилось методом, известным под названием гипотетико-дедуктивного. Первый шаг состоит в формулировании гипотезы. Затем из нее выводятся (дедукцируются) различные следствия, которые сравниваются с реально наблюдаемыми фактами. Если эти следствия согласуются с наблюдениями, то гипотеза считается частично подтвержденной. (Подобным путем нельзя «доказать» гипотезу — она может лишь стать более вероятной.) Если же какое-либо следствие гипотезы не согласуется с фактами, то она должна быть видоизменена или вовсе отброшена.

Компьютер, который, многократно повторяя однотипные вычисления, может создавать огромные «популяции» результатов, представляется идеальным средством проверки ста-

стистических по самой своей сути гипотез эволюционной биологии.

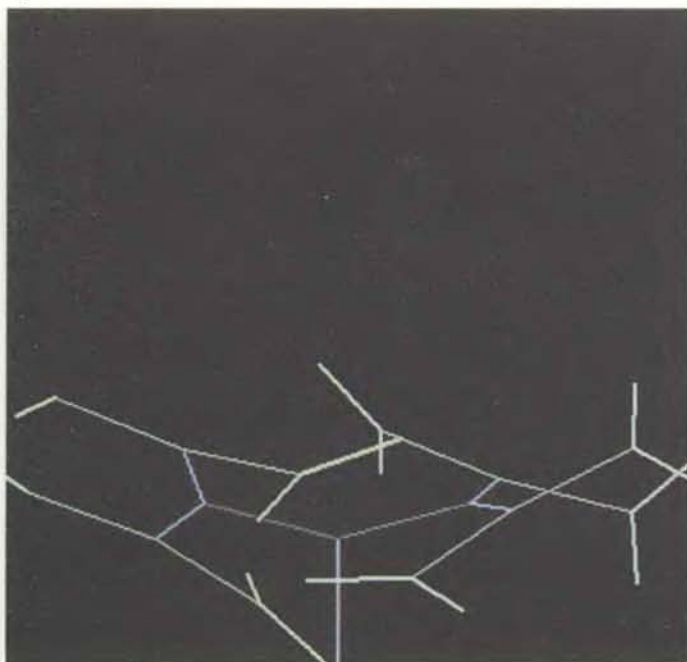
ИТАК, на первом этапе формулируется гипотеза о векторах отбора, т. е. утверждение о том, какие факторы оказывают наибольшее влияние на эволюцию растений. Затем с помощью компьютера моделируют структуру примитивных растений, имеющих различные исходные черты, и «подсчитывают», насколько успешно каждое такое растение может справиться с проблемами, которые ставятся перед ним постулированными выше векторами отбора. В модели растений вводят малые или большие изменения («мутации»), которые могут сделать примитивные растения более приспособленными к условиям, диктуемым данными векторами отбора. Мутантных особей снова оценивают и заставляют их мутировать дальше. Этот процесс повторяют много раз.

На конечном этапе сравнивают результаты смоделированной таким образом эволюции с хронологией палеонтологической летописи и реальными ископаемыми остатками. Если эти две группы данных хорошо согласо-

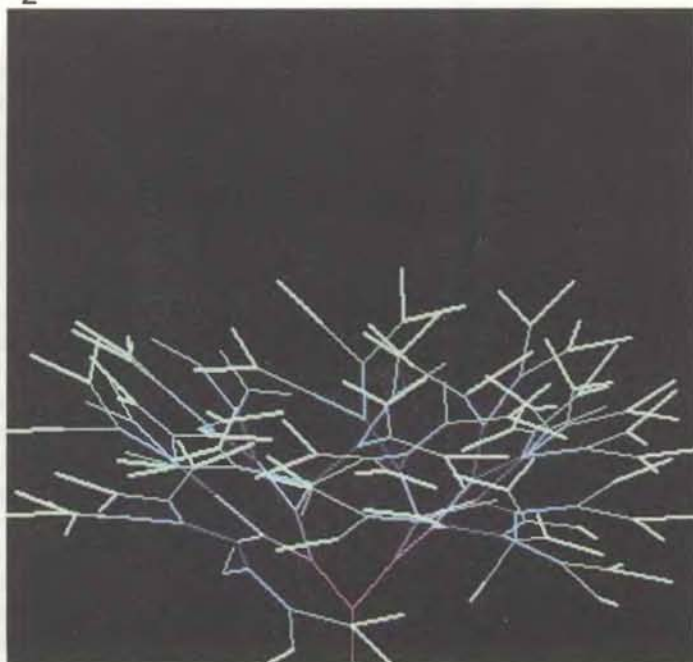
КОМПЬЮТЕР МОДЕЛИРУЕТ эволюцию древнейших наземных растений. Изображена модель эволюционного ряда, основанная на гипотезе о том, что одной из движущих сил в эволюции растений была необходимость свести к минимуму механические нагрузки, связанные с характером ветвления, и в то же время увеличить, насколько возможно, фотосинтезирующую поверхность. Этот ряд отражает некоторые основные направления реальной эволюции растений. Наиболее примитивное растение (1) низкорослое и слабо разветвленное. (Разными цветами обозначены последовательные порядки ветвления; светло-зеленые оси сформировались последними.) Затем ветвление усиливается (2), а рост происходит преимущественно в вертикальном направлении (3); вертикально ветвящаяся структура может иметь большую фотосинтезирующую поверхность и меньше затеняется соседними растениями. При увеличении углов между осями уменьшается степень самозатенения и растение становится более пышным и мощным (4). На следующем этапе эволюции развивается главная ось, от которой отходят многочисленные боковые оси (5). Способность такой конструкции улавливать свет еще более повышается благодаря тому, что боковые оси ветвятся только в горизонтальных плоскостях (6). Мерой правильности допущений, на которых основана созданная компьютером модель, является соответствие таких «эволюционных рядов» реальным направлениям эволюции растений, известным по палеонтологической летописи.

* Здесь фальсификация — процесс проверки гипотез (в рамках методологии науки К. Поппера), заключающийся в постановке мысленного или реального эксперимента, который может однозначно опровергнуть данную гипотезу. Если такой эксперимент невозможен, гипотеза считается ненаучной. — *Прим. перев.*

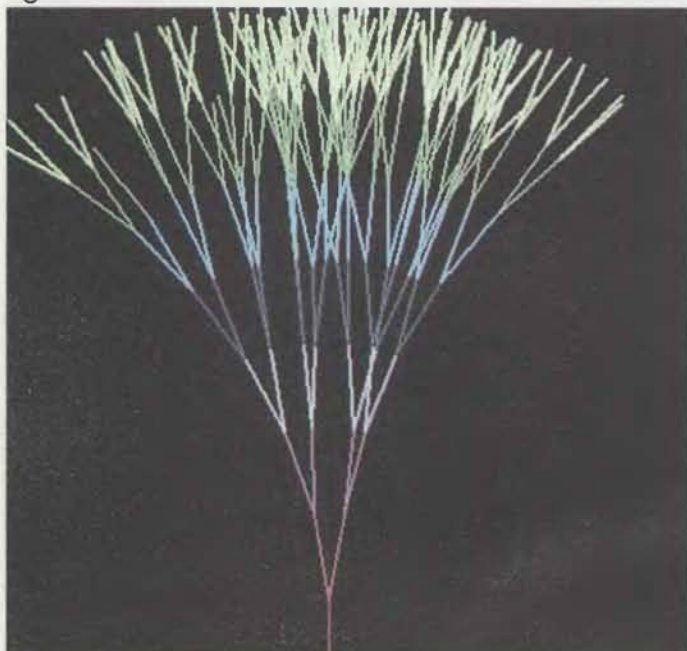
1



2



3



4

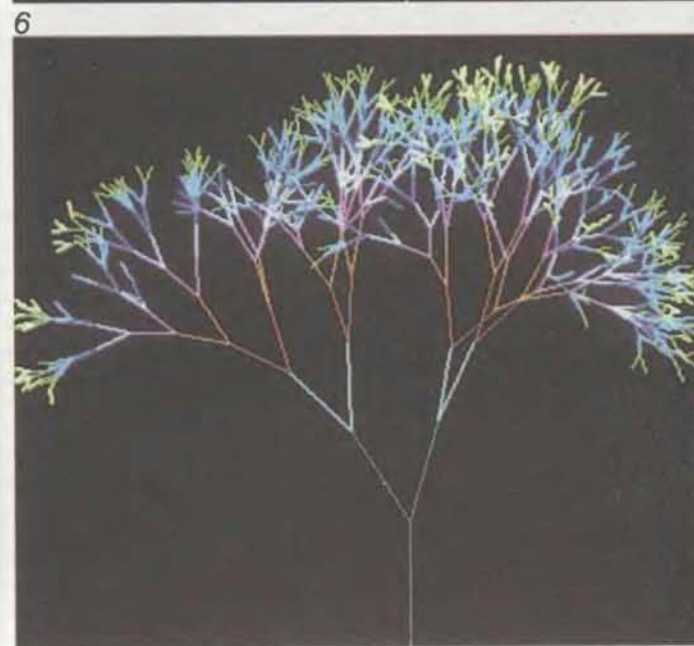
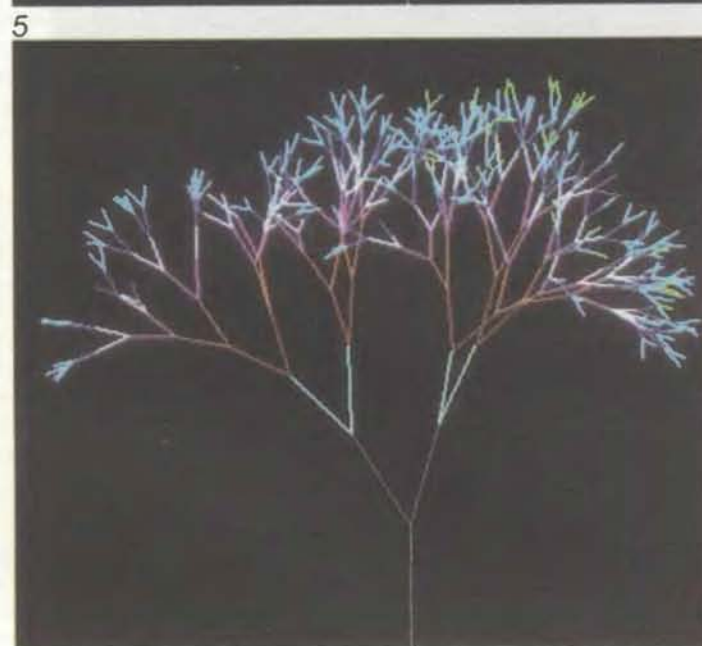
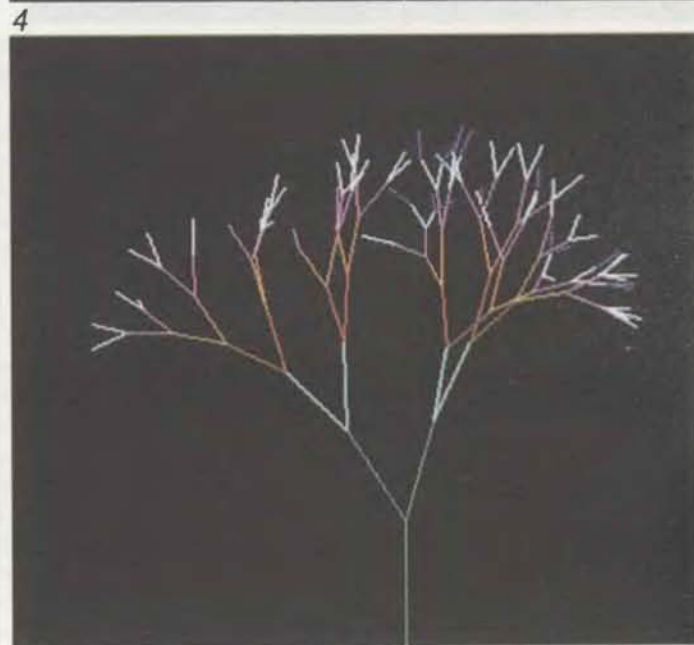
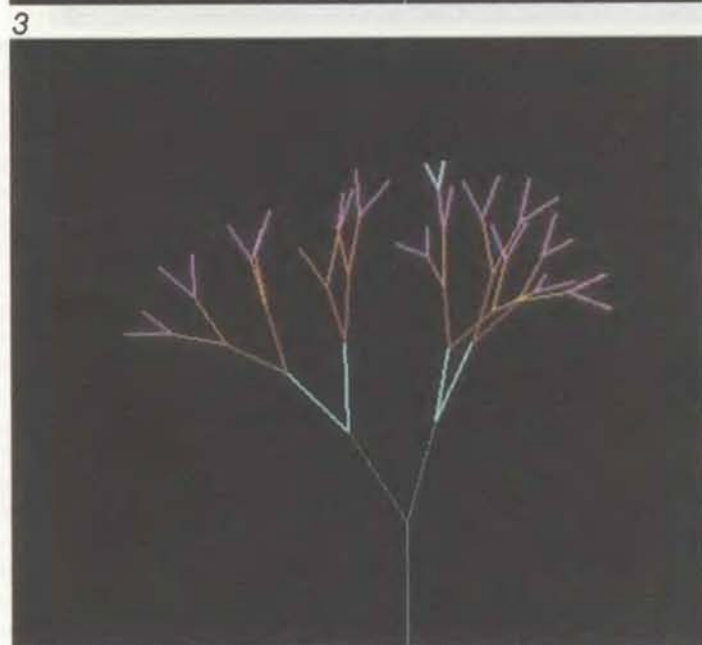
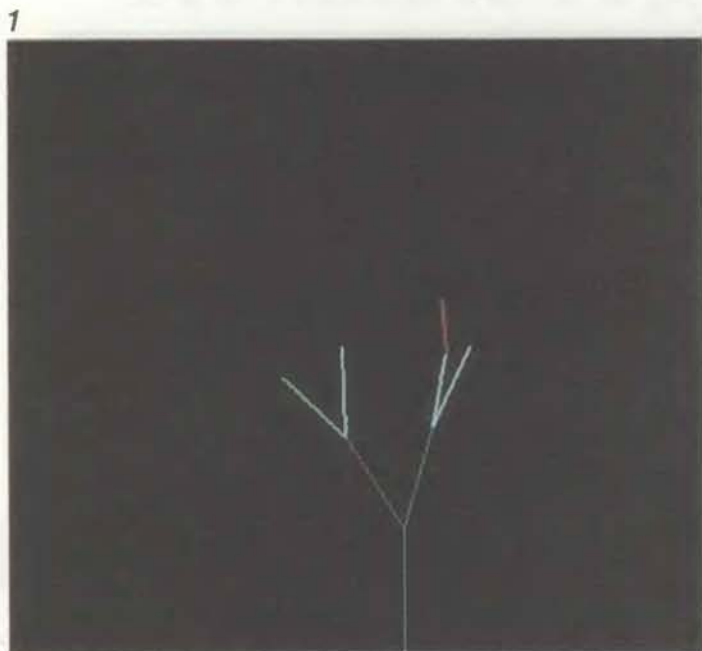


5



6





ПРОЦЕСС РОСТА, смоделированный компьютером, состоит из повторяющихся циклов — шагов. Основываясь на некоторой исходно присущей растению «вероятности ветвления», компьютер на каждом шаге решает, какие из

осей разветвится. Затем он оценивает другие параметры растения (например, углы между осями), рассчитывает направления роста новых осей, позволяет им немного вырасти, и цикл повторяется.

ются между собой, значит, факторы, влияющие на направление отбора, были выбраны правильно и выдвинутая гипотеза частично подтверждается.

Такая процедура моделирования основана на двух главных допущениях, которые можно рассматривать как фундаментальные принципы эволюционной биологии. Первое допущение утверждает, что генотипы особей внутри вида, а значит, и генофонд всего вида меняются с течением времени. Согласно второму допущению, между предками и потомками существует определенная генетическая преемственность. Вид постепенно изменяется в результате действия отбора на базе множества разнообразных незначительных изменений, которые делают потомство отличным от родителей.

Однако чтобы моделировать эволюцию растений, эти допущения необходимо дополнить некоторыми специфическими гипотезами. Одна из таких гипотез предполагает, что большинство растений можно рассматривать как структурное решение проблем, связанных с процессом фотосинтеза. Можно ожидать, что те растения, тип ветвления которых позволяет им улавливать максимальное количество света, окажутся наиболее приспособленными. Следовательно, изменения во внешней и внутренней структуре растения, которые повышают его способность улавливать солнечный свет, должны обеспечивать этому растению преимущество в конкурентной борьбе.

Для того чтобы успешно конкурировать за свет и жизненное пространство, растения должны решить и другие задачи. Особенно важна способность сохранять вертикальное положение, сопротивляясь механическим нагрузкам, вызванным силой гравитации. В таком случае вторая гипотеза может состоять в том, что эволюция растений определялась необходимостью совместить улавливание света с удерживанием разветвленного тела в вертикальном положении. В качестве третьей гипотезы может служить допущение, что эволюция растений определяется их способностью к воспроизведению. Победу в борьбе за существование одержат растения с таким типом ветвления, который способствует наилучшему распространению спор или семян.

С учетом всех этих допущений и гипотез на персональном компьютере можно смоделировать многие важные направления ранних этапов эволюции наземных растений. Правда, модели, разработанные к настоящему времени, описывают только пер-

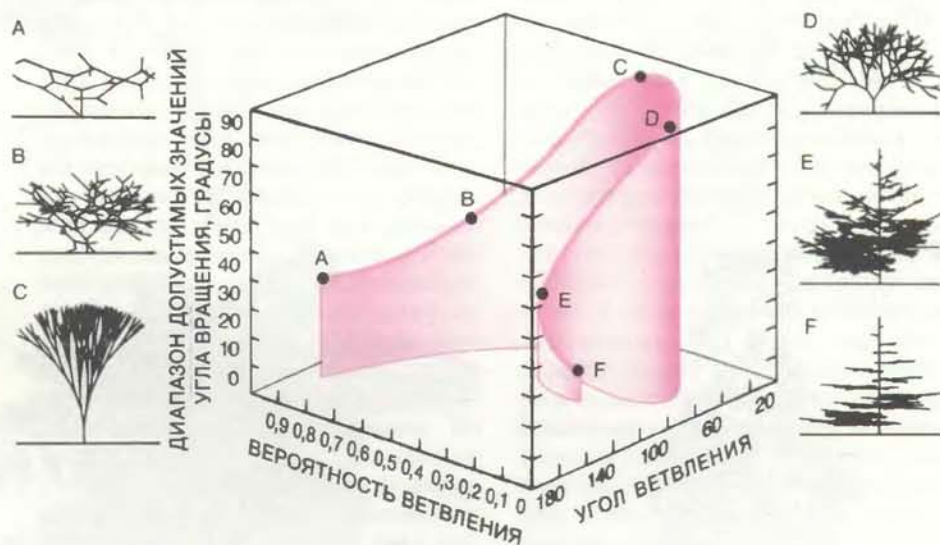
вую фазу распространения сосудистых растений (т. е. растений, имеющих проводящие ткани — ксилему и флоэму, — которые служат для перемещения воды и питательных веществ, а также помогают сохранять растению вертикальное положение). Воспроизведенный период охватывает лишь около 60 млн. лет — примерно от 410 до 350 млн. лет назад (самый конец силура и весь девон). Напомним для сравнения, что период расцветания и господства цветковых растений, самой молодой в эволюционном плане группы растений, составляет около 100 млн. лет.

Гипотезы, касающиеся влияния насекомых-опылителей и наземных травоядных животных, мы не рассматривали из-за того, что факторы такого рода гораздо труднее поддаются моделированию. Вероятно, с помощью более мощных компьютеров удастся включить в модели эволюции как эти факторы, так и некоторые другие, играющие большую роль в развитии растений (например, эф-

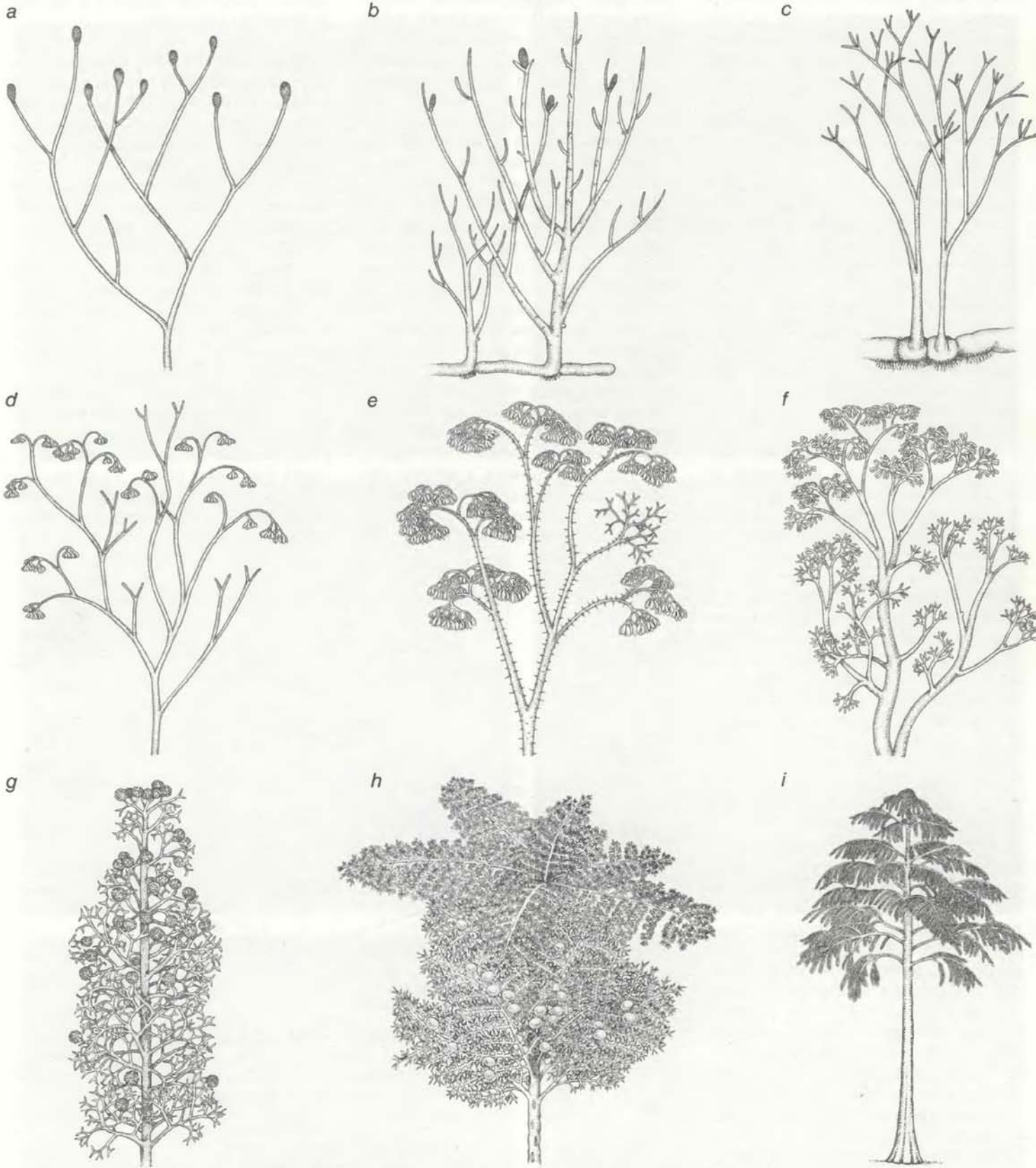
фекты изменений климата и катастрофических событий).

ДЛЯ ТОГО чтобы моделировать эволюцию растений, необходимо разработать математические методы количественной оценки преимуществ в конкурентной борьбе, даваемых теми или иными приспособлениями. Так, нужен способ определять, какое количество солнечного света может поглощать растение с данной структурой. Насколько известно, первые сосудистые растения, которые дали начало всему разнообразию современной флоры, имели безлистные оси (теломы), осуществлявшие процессы фотосинтеза. Побеги, т. е. оси, несущие листья, появились позднее.

Ось нарастала преимущественно в длину в результате деления расположенной на ее верхушке группы клеток, носящей название конуса нарастания или точки роста. Толщина оси была ограничена диаметром конуса нарастания, клетки которого лишь изредка делились так, что этот диа-

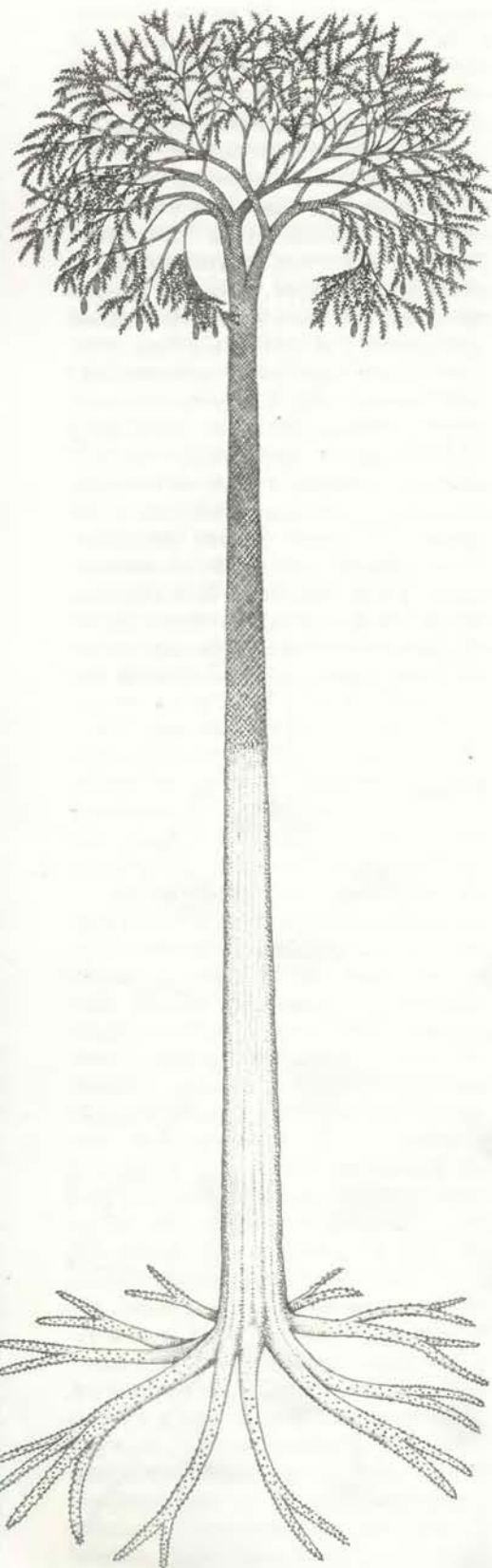


ПРОСТРАНСТВО ВНУТРИ КУБА соответствует пространству возможных типов ветвления. Каждое из трех взаимно перпендикулярных ребер куба представляет определенный морфологический признак, каждая точка внутри куба — вид растений с определенным сочетанием этих признаков. Учитываются следующие признаки: вероятность ветвления, угол ветвления (угол между соседними осями) и диапазон допустимых значений угла вращения (угла между плоскостью, в которой лежат две соседние оси, и плоскостью, образованной двумя осями предыдущего порядка ветвления). Внутри куба компьютер строит эволюционную траекторию (показана цветом). Исходной точкой является растение, подходящее на роль самого примитивного вида. Затем в ближайшем окружении этого растения компьютер находит растение, наиболее приспособленное по параметрам, выбранным исследователем. Оно становится следующей точкой траектории, и на очередном шаге компьютер анализирует уже окружение этой точки. Процедура продолжается до тех пор, пока компьютер не обнаружит растение, которое окажется самым приспособленным среди всех растений, возможных в данном пространстве морфологических признаков.



НАПРАВЛЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ, смоделированной компьютером, например увеличение числа разветвлений, появление главной оси и ветвление осей в параллельных плоскостях, воспроизводят реальные тенденции эволюции древних растений. Одно из первых сосудистых растений — это слабо ветвящееся растение *Steganotheca striata* (a), жившее около 450 млн. лет назад. Среди его потомков могли быть более интенсивно ветвящиеся *Rhynia gwinne-vaughanii* (b) и *Horneophyton lignieri* (c). Все три растения относятся к группе риниофитов. Следующей большой группой были тримерофиты, к которым относятся *Trimerophyton robustius* (d), *Psilophyton charientos* (e), *Psilophyton dawsonii* (f) и *Pertica quadrifaria* (g), обитавшие на Земле примерно

380 млн. лет назад. (Точные таксономические связи и последовательность их появления неизвестны, так что эти растения изображены в условной последовательности.) Тримерофиты имели по-видимости главный вертикальный ствол, в действительности представлявший собой случайный результат множества неравных ветвлений. Неравное ветвление заключается в том, что при возникновении двух новых осей направление роста одной из них ближе к направлению роста материнской оси. Напоминающий папоротник потомок тримерофитов *Rhacophyton ceratantium* (h), имел уже настоящий главный ствол, на котором развивались «предвайи» — прообразы листьев папоротников, означавшие шаг вперед по сравнению с уплощен-



метр увеличивался. Ветвление оси происходило при разделении конуса нарастания; два новых конуса далее росли независимо друг от друга.

Поскольку большинство древнейших наземных растений не имело листьев, эти довольно жесткие оси служили главными фотосинтезирующими органами. Следовательно, наиболее важными факторами, определявшими способность растений улавливать свет, были геометрия ветвления и то, под какими углами по отношению к солнцу располагались оси. В отличие от листьев современных растений оси первых сосудистых растений не могли ни колебаться под действием ветра, ни поворачиваться вслед за движением солнца по небосклону. Таким образом, способность древнейших растений улавливать свет имеет смысл моделировать с помощью программ, которые определяют суммарное количество солнечного света, падающего на неподвижную трехмерную разветвленную структуру, с учетом перемещения солнца по небосклону.

Другой параметр, который требует количественной оценки, — это механическая прочность вертикальных осей. Растение, оси которого растут главным образом в вертикальном направлении, может улавливать больше солнечного света, поскольку его меньше затеняют соседние растения, камни, неровности почвы и т. д. Однако вертикально растущие оси должны выдерживать и сопутствующие механические нагрузки. Кардинально проблема борьбы с такими нагрузками могла быть решена только с появлением вторичного утолщения, которым обладает, например, большинство ныне живущих деревьев. Их одревесневший ствол постепенно утолщается по мере того, как специальная ткань — камбий — формирует все новые концентрические слои древесины, называемой вторичной древесиной. Поскольку древние сосудистые растения не имели камбия и вторичной древесины, способность выдерживать механические нагрузки определялась у них только деятельностью конуса нарастания (первичным ростом). Как сказано выше, клетки конуса нарастания лишь изредка делились так, что диаметр конуса увеличивался, и оси этих растений были сравнительно тонкими.

Если известны размеры, вес и ориентация всех осей, то не составляет труда рассчитать суммарную нагрузку, падающую на растение, и его способность противостоять ей. Далее можно вычислить силу натяжения и изгибающий момент, действующие на систему разветвленных осей, а также количество поглощаемого ею со-

лнечного света. Это позволяет оценить количественно те факторы эволюции, взаимодействие которых приводит к компромиссу между стремлением растения максимально увеличить свою фотосинтезирующую поверхность и необходимостью противостоять возникающим при этом механическим нагрузкам.

Другой компромисс, который необходимо принять во внимание, связан с затенением. У более крупных и интенсивно ветвящихся растений больше возможностей затенить соседние растения и таким образом получить над ними преимущество. Однако интенсивное ветвление имеет и негативную сторону: растение начинает все больше и больше затенять самое себя, и в результате уменьшается количество поглощаемого им солнечного света.

ГИПОТЕЗА о том, что способность улавливать свет была важнейшей движущей силой на первых этапах эволюции, — это, конечно, упрощение. В современной флоре существует масса теневыносливых видов растений; есть основания полагать, что такие виды встречались и среди первых сосудистых наземных растений. Тем не менее палеонтологическая летопись содержит факты, хорошо согласующиеся с предположением, что борьба за солнечный свет имела первостепенное значение в эволюции наземных растений. К числу таких фактов относится ряд устойчивых эволюционных тенденций: увеличение размеров у представителей успешно эволюционирующих групп; переход к способу роста, при котором образуется единственная вертикальная ось с боковыми ответвлениями; возникновение ветвящихся в горизонтальных плоскостях боковых осей, выполняющих в некоторых группах растений функции листьев.

Эти направления довольно точно воспроизведены с помощью моделей, в которых развитие ветвящихся структур детерминировано их «генетическими» свойствами. На каждом этапе смоделированного таким образом роста растение проходит несколько стадий перестройки. Вначале каждая ось немного удлиняется. Затем на основании исходно (генетически) предопределенной «вероятности ветвления» компьютер отбирает те оси, которые будут ветвиться. Направления роста новых осей определяются двумя «генетическими» факторами. Первый фактор — угол ветвления (угол между возникающими осями), второй фактор — угол вращения, или ротации (угол между плоскостью, в которой лежат обе новые оси, и плоскостью, образованной дву-

ной системой осей. Еще один возможный потомок тримерофитов — *Archaeopteris* (i); у растений из этого рода был мощный ствол с боковыми ветвями, несущими листья. Плаунообразные, судя по всему, эволюционировали независимо от риниофитов и тримерофитов, но их развитие тоже шло через те стадии (правда, не все), которые получились на эволюционной траектории, смоделированной компьютером. Наивысшей его точкой явились древовидные растения, например *Lepidodendron* (j).

мя осями предыдущего порядка ветвления) [см. рисунок на с. 53]. В простейших моделях ветвящихся структур угол ветвления одинаков для всех точек ветвления; так же, как и вероятность ветвления, это одно из свойств «генотипа» данной структуры. Угол же вращения может меняться в пределах, заданных компьютером. Растения с широким диапазоном допустимых углов вращения окажутся более пышными и кустистыми; у растений с малым углом вращения и узким диапазоном его изменения группы осей лежат в параллельных плоскостях.

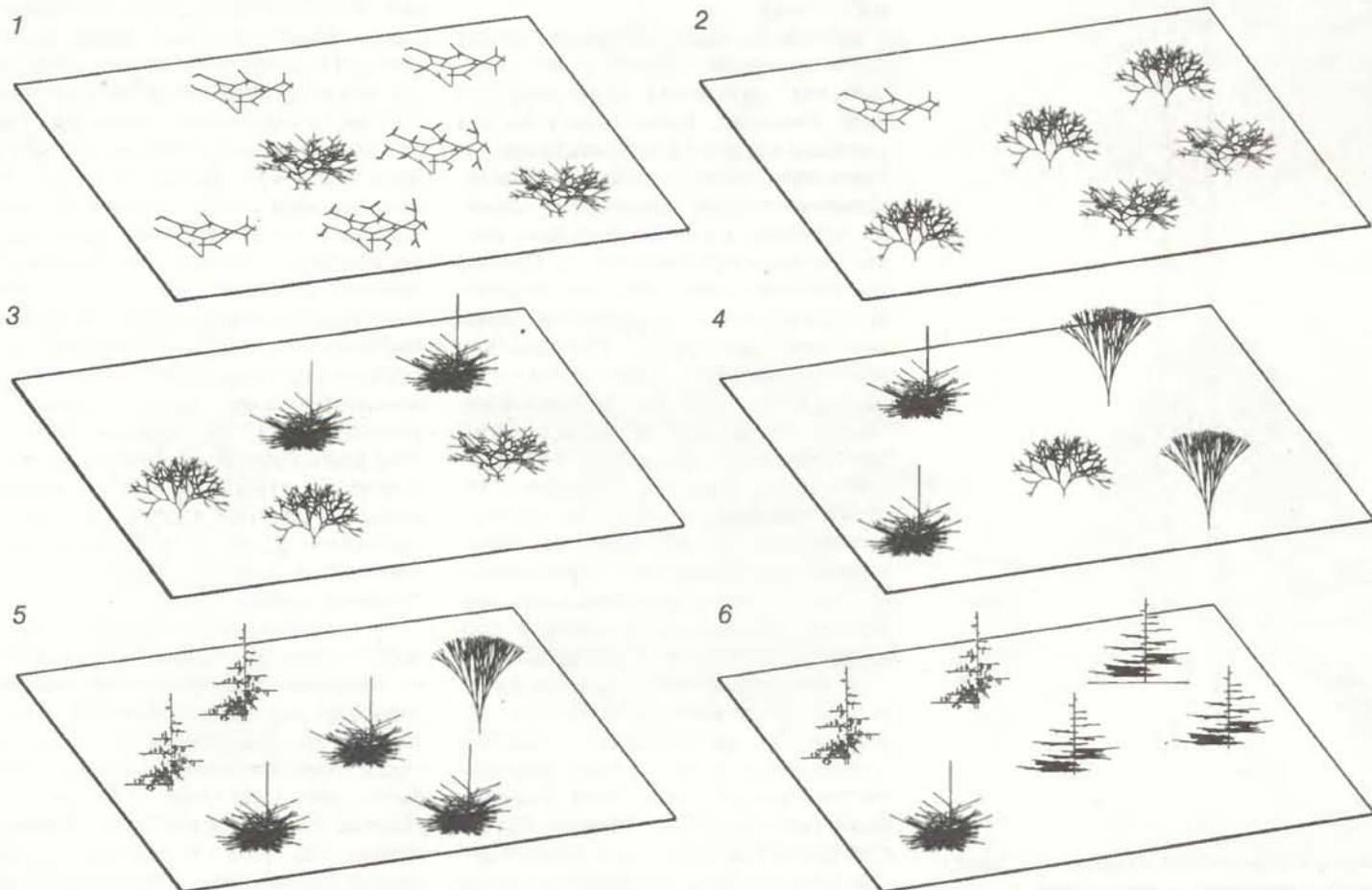
После того как с помощью компьютера определены местоположение и направление роста каждой новой оси, этим осям дается возможность вырасти до некоторой длины, и опять производится ветвление. По прошествии десяти таких циклов растения считаются сформировавшимися и их ветвление прекращается. Растение, каждая ось которого разветвлялась в

каждом из десяти циклов, имеет 1024 оси. Можно построить модели и более крупных растений, но это требует применения компьютеров с большим объемом памяти. Десяти циклов ветвления, как выяснилось, достаточно, чтобы воспроизвести размер и форму большинства из рассматриваемых нами ископаемых растений.

ПЕРЕЧИСЛЕННЫЕ выше параметры — вероятность ветвления, угол ветвления и угол вращения — определяют пространство возможных типов ветвления, характеризующее морфологию древнейших наземных растений. Это пространство можно представить себе в виде куба. Каждое из трех взаимно перпендикулярных измерений куба соответствует одному из трех основных параметров, поэтому любая точка внутри куба представляет собой все растения, имеющие определенное сочетание

морфологических признаков. Правда, из-за того, что процесс ветвления имеет вероятностный характер, растения с идентичными математическими параметрами могут слегка различаться морфологически.

Предположим, например, что по вертикальным ребрам этого куба отложены значения угла ветвления. Тогда любая точка, расположенная в верхней части куба, отвечает «виду» растений, оси которых при ветвлении расходятся под большим углом, в то время как точки в нижней части куба представляют виды, имеющие малый угол ветвления. Один из углов куба соответствует виду, характеризующемуся близкой к нулю вероятностью ветвления и ничтожно малыми углами между осями и углами вращения. Точки, расположенные все дальше от этого угла в любом из трех главных направлений, представляют растения, которые сильнее ветвятся, растения с большим углом ветвления или



ИГРА В БОРЬБУ ЗА СУЩЕСТВОВАНИЕ имитирует эволюцию, движимую конкуренцией между видами. Показаны шесть последовательных стадий игры. На каждой стадии одно или несколько растений трех различных видов конкурируют за свет и жизненное пространство; тот вид, представители которого улавливают света меньше других, выходит из игры. Двум другим видам дается возможность рассеять споры. Половина спор наиболее приспособленного из них мутирует, в результате чего возникает новый вид, который будет участвовать в следующей стадии

игры. Способность к росту зависит от суммарного количества света, получаемого растением. Оно в свою очередь определяется общей площадью фотосинтезирующей поверхности, степенью затенения соседними растениями и степенью самозатенения. Количество спор, распространяемых растением, зависит от числа окончаний осей, а дальность их рассеивания — от высоты растения. Победу в игре обеспечивает только сочетание всех рассматриваемых способностей — улавливать свет, затенять соседние растения и успешно воспроизводиться.

растения, ветки которых нарастают в самых разных направлениях. Комбинации трех этих переменных, соответствующие точкам внутри куба, включают фактически все типы ветвления древних наземных растений.

Разумеется, трехмерное пространство признаков слишком упрощенно характеризует геометрию растений. В действительности на форму растения могут влиять кроме трех описанных еще многие факторы. Можно построить модель геометрии растений в многомерном пространстве с учетом, например, способности изменять длину и толщину осей или возможности образовывать оси с различной вероятностью ветвления. В частности, более сложные и детальные модели могут учитывать такое существенное явление, как неравное ветвление. Оно состоит в том, что направление роста одной из двух новых осей отклоняется от ориентации исходной оси сильнее, чем другой. В этом случае получаются фактически два угла ветвления — между исходной осью и каждой из двух новых осей. Многомерные пространства, которые включают такие факторы, очень трудно представить себе зрительно, однако их легко смоделировать при помощи компьютера.

Трехмерного пространства в общем вполне достаточно для упрощенного описания начальных этапов эволюции сосудистых растений. Внутри куба можно вычертить полученные компьютером «траектории эволюции» древних наземных растений. Вначале определяются координаты вида, имеющего наиболее примитивный тип ветвления (т. е. наиболее сходный с характером ветвления самых первых известных наземных растений). Затем среди ближайших соседей этого вида выбирается вид, эффективнее улавливающий свет. (Чтобы оценить светоулавливающую способность вида, компьютеру предоставляют возможность «вырастить» десять случайных экземпляров из этого вида и рассчитать их среднюю светоулавливающую способность.) Процесс повторяется до тех пор, пока не найдется вид (т. е. набор морфологических признаков), являющийся наиболее эффективным среди ближайших соседей первого вида. На следующем этапе в пространстве, окружающем найденный вид, отыскивается такой вид, который еще более эффективно улавливает солнечный свет.

Если все точки, соответствующие отобранному компьютером видам, соединить линией, то она будет представлять траекторию эволюции, которая основана на соревновании за солнечный свет. Аналогично, можно построить траекторию, основанную

на отыскании компромисса между способностью улавливать свет и возрастанием механических нагрузок. При этом среди ближайшего окружения очередного вида выбирается вид, который характеризуется наибольшим отношением величины светоулавливающей способности к величине изгибающего момента, а не просто вид с наибольшей светоулавливающей способностью. Рассчитанные таким способом эволюционные траектории весьма сходны с реальными тенденциями, которые прослеживаются на палеонтологическом материале.

Для наиболее примитивного типа ветвления характерны малое число уровней ветвления, широкие углы между осями и почти вертикальные плоскости ветвления. Наиболее прогрессивный тип ветвления дает систему, в которой имеются одна главная вертикальная ось и группы боковых осей, лежащих в одной плоскости. Промежуточные типы ветвления показывают, по какой траектории происходит эволюция от примитивной к наиболее совершенной геометрии ветвления. Вначале число разветвлений возрастает. На следующем этапе эволюции при каждом последовательном разветвлении одна из осей растет более вертикально, чем другая, и становится центральной осью. Позднее оси, оказавшиеся боковыми и растущие в стороны от центральной оси, постепенно смещаются все ближе к горизонтальной плоскости. Такой ход событий отражает изменения, направленные на достижение максимальной способности улавливать свет при минимальных механических нагрузках на структуру. Эта последовательность почти идентична той, которая получается при условии, что растение все сильнее затеняет соседние растения и все лучше избегает самозатенения.

ХОТЯ воспроизведенные компьютером тенденции эволюции довольно хорошо согласуются с направлениями, которые выявляются при изучении остатков древних растений, не исключено, что это соответствие — просто совпадение, не имеющее отношения к биологическим закономерностям. Возможно, палеонтологические факты более полно объясняются в рамках каких-то иных гипотез, а не на основании представлений о первостепенной роли способности растений улавливать свет и противостоять механическим нагрузкам. Например, не подлежит сомнению, что цветение вида должно в огромной степени зависеть от успешности его воспроизведения. Как с помощью

компьютера исследовать и такие гипотезы?

Чтобы ответить на этот вопрос, можно смоделировать «игру в борьбу за существование»: виды, которые обладают разными способностями к улавливанию света и воспроизведению, соревнуются друг с другом в пространстве, изображаемом на экране компьютера. По условиям игры победитель выбирается на основании определенных правил, которыми служат гипотезы о путях эволюции растений.

Каждому растению предоставляется определенный участок пространства, на котором оно может расти. Площадь этого участка определяется способностью растения отбрасывать тень на соседние экземпляры. Кроме того, каждое растение помещается в центр участка большего размера, в пределах которого оно может рассеивать зачатки новых растений. Такими зачатками у примитивных растений служили споры, разносимые ветром. У многих древних наземных растений споры развивались на окончаниях осей, поэтому общее количество спор, произведенных растением с данным типом ветвления, было пропорционально числу этих окончаний.* Площадь, на которой растение рассеивает споры, определяется его высотой. (Это вполне разумное допущение с точки зрения аэродинамики, так как расстояние, на которое ветер может отнести любой мелкий легкий предмет, зависит главным образом от высоты падения предмета.) Высота растения связана не только с числом разветвлений, но и с углом ветвления: растение с меньшим углом ветвления окажется более высоким.

Считается, что ни одна из спор, упавших на участки, затененные материнским растением, не прорастает. (Это условие игры тоже разумно, так как многие из ныне живущих примитивных сосудистых растений могут угнетать рост своего собственного потомства.)

Растения, области затенения которых частично перекрываются, мешают друг другу улавливать свет. Скорость ветвления, а значит, и роста каждого растения определяется суммарным количеством падающего на него солнечного света. Количество же получаемого растением света зависит частично от того, насколько растение способно избегать самозатенения, ча-

* Числу окончаний осей в действительности пропорционально лишь число спорангиев, в которых созревают споры, а число спор в каждом спорангии может изменяться в широких пределах. — *Прим. перев.*

стично от того, насколько его затеняют другие растения, и наконец, от величины фотосинтезирующей поверхности растения.

В начале игры на ровном «игровом поле» разбрасывают одинаковые количества спор трех видов растений с различными примитивными типами ветвления. Спорам предоставляют возможность развиваться. После того как во всех растениях осуществится по десять циклов ветвления, компьютер находит вид, представители которого улавливают минимальное количество света, и устраняет из игры все экземпляры этого вида. Двум оставшимся видам позволяют рассеять свои споры. Половину спор того вида, представители которого улавливают наибольшее количество света, заставляют мутировать: их «генетические» факторы слегка изменяются таким образом, чтобы у выросших из этих спор растений повысились способности давать тень, избегать самозатенения, образовывать споры и рассеивать их на максимальное расстояние. В результате получают три вида (два, имевших наибольший успех в предыдущем раунде игры, и один новый, мутантный вид), которым предоставляют возможность расти; дальше все повторяется.

Игру в борьбу за существование можно усложнить, введя в нее мутации, которые не дают преимущества в конкуренции. Однако это лишь немного скажется на конечном результате, зато значительно увеличит время, необходимое для завершения игры. Чтобы рассчитать даже короткую «эволюционную схватку», нужны многие тысячи вычислений, поэтому игра может длиться довольно долго. Завершается она после того, как исчерпается весь запас мутаций, предоставляемых той траекторией эволюции, которая положена в основу игры. Победителями считаются виды растений, выжившие к концу игры.

Полученная в результате игры картина эволюции является, несомненно, ограниченной. В процессе реальной эволюции возможны изменения не только типа ветвления, архитектуры растения, но и его физиологических параметров, например теневыносливости или способности к вторичному утолщению. Ход эволюции могут прерывать внешние события, например катастрофическое изменение природных условий, после которого эволюция возобновляется уже с иным соотношением «игроков». Тем не менее и такая простая игра, как наша, выявляет тенденции, очень напоминающие направления эволюции наземных растений, известные по палеонтоло-

гической летописи. Значит, правила этой игры до некоторой степени воспроизводят реальную ситуацию, т. е. факторы эволюции древних сосудистых растений.

Обе траектории — и основанная на способности растения улавливать свет, и построенная исходя из компромисса между этой способностью и сопротивлением механической нагрузке, — одинаково хорошо указывают, какие мутации приводят к возникновению растений, побеждающих в игре. В обеих схемах растения с наиболее примитивной геометрией имеют малое число уровней ветвления, т. е. ветвление пространственно почти не упорядочено. Если у таких растений спорангии расположены на окончаниях осей, то они производят мало спор. Что касается растений с наиболее совершенной геометрией, то в обеих схемах они имеют одну высокую центральную вертикальную ось, несущую много уровней боковых осей. Если у таких растений споры развиваются на окончаниях осей, то спорангиев будет много и большинство их окажется высоко над землей, что обеспечит рассеивание спор на обширном пространстве.

Наблюдения над современными растениями свидетельствуют, что формы растений, которые должны побеждать по условиям игры, являются сильными конкурентами и в природной обстановке. Исследования динамики популяций современных растений, проведенные на монокультурах (т. е. культурах, состоящих из многих экземпляров одного вида), показывают, что более крупные экземпляры имеют преимущество перед более мелкими. При увеличении плотности популяции возрастает и смертность, причем среди мелких растений смертность выше, чем среди крупных. Эти закономерности действуют у многих видов реальных растений точно так же, как в игре на компьютере.

Возможно, что факторы, вызывающие такие изменения в современных монокультурах, действовали и на ранних этапах эволюции наземных растений. Когда растения только завоевали сушу, новые местообитания были, вероятно, заселены слабо, так что плотность популяций была низкой. Со временем и число видов, и количество экземпляров в каждом конкретном местообитании должно было возрасти. В более выгодном положении оказывались те виды, которые характеризовались быстрым ростом или более крупными размерами. По мере того как плотность особей внутри растительных сообществ увеличивалась, некоторые особи и даже це-

лые виды вымирали под действием отбора, благоприятствовавшего более «высокорослым» видам.

Интересно отметить противоречивое на первый взгляд обстоятельство. Более крупные особи, очевидно, должны больше страдать от самозатенения: увеличиваясь в размерах, растение улавливает все больше света, но на каждую ось света приходится все меньше. Однако это компенсируется тем, что более высокое растение еще сильнее затеняет соседние экземпляры, а также подавляет прорастание их спор. Следовательно, тенденция к увеличению размеров может давать преимущество виду как целому, даже если она снижает эффективность функционирования каждого отдельного экземпляра. Становится понятным, как простое возрастание численности вида может привести к появлению эволюционных тенденций, помогающих этому виду одержать победу в конкурентной борьбе.

МОДЕЛИРОВАНИЕ с помощью компьютера показало, что из различных гипотез об эволюции растений вытекают следствия, проверяемые данными палеонтологической летописи. Относительно самих гипотез нельзя сказать, что они доказываются, — можно лишь частично подкрепить их. Более того, следствия из нескольких различающихся гипотез оказались почти идентичными. Поэтому невозможно определить относительную ценность различных критериев, используемых при построении моделей эволюции; это осуществимо лишь тогда, когда гипотезы приводят к исключаящим друг друга предсказаниям. Кроме того, следует разработать модели важнейших физиологических процессов, например перемещения жидкостей внутри растения и рассеивания тепла.

Общие методы моделирования — весьма многообещающий инструмент в руках биологов. Однако успешное применение любого инструмента требует умения и глубокого знания его возможностей; да и сам инструмент необходимо совершенствовать.

Наука и общество

Дьявольское зелье

ЭТИЛОВЫЙ спирт (этанол) входит в состав вина, пива и других спиртных напитков и потому является наиболее активно употребляемым психотропным веществом. В связи с этим изучение его действия — одна из важнейших проблем, стоящих перед неврологией. Результаты последних работ свидетельствуют о больших сложностях, возникающих при попытках выяснить, что конкретно происходит в мозгу под действием алкоголя.

Й. Манциллас, Дж. Сиггинс и Ф. Блум, сотрудники Научно-исследовательского центра клиники Скриппса в Ла-Холья, изучали у крыс действие этанола на нейроны одного из участков коры головного мозга — гиппокампа. Ранее в той же лаборатории было показано, что стимуляция нервных путей, ведущих к так называемым пирамидальным клеткам гиппокампа, вызывает всплеск электрической активности этих клеток, который затем сменяется ее спадом. Присутствие этанола в гиппокампе усиливало обе фазы эффекта — и возбуждение, и последующее торможение.

В гиппокампе, как и в других отделах мозга, действуют определенные нейромедиаторы — вещества, с помощью которых передаются нервные сигналы. Одни из них являются возбуждающими, другие — тормозными. С помощью микропипеток исследователи вводили то или иное из этих веществ крысам в мозг в непосредственной близости от пирамидальных клеток гиппокампа, что имитировало естественный процесс высвобождения медиатора, происходящий при передаче сигнала между нейронами. Затем они измеряли электрическую активность клеток. Когда животным вводили в кровь этанол в дозах, вызывающих среднюю или тяжелую интоксикацию, усиливалось возбуждающее действие на пирамидальные клетки медиатора ацетилхолина и в то же время тормозное действие другого медиатора — соматостатина. Изменения наблюдались в течение 10—15 мин после введения этанола в кровь, а затем на протяжении 1—2 ч эффект затухал. На действие других медиаторов этанол не влиял.

Известно, что гиппокамп играет важную роль в механизмах памяти. Возможно, результаты этого исследования проливают свет на природу нарушения памяти, которое отмечается не только у хронических алкоголиков, но и (временное) у умеренно

пьющих людей. Гиппокамп является также частью лимбической системы мозга, отвечающей за формирование настроения. Но исследователи из Ла-Холья в своей статье, опубликованной в журнале «Science», пишут, что они «предпочитают пока не делать обобщающих выводов из результатов экспериментов по специфическому влиянию этанола на определенные нейромедиаторы, участки мозга и нейроны». Вопрос о том, какова «основная мишень» алкоголя в сложном сплетении нейронных функций, пока остается открытым.

Почему же оказалось так сложно исследовать воздействие алкоголя? Дж. Сиггинс приводит несколько причин. Этанол — относительно слабое «средство»; практически все другие психотропные вещества активны в гораздо меньших концентрациях. Кроме того, для этилового спирта нет в мозгу специальных рецепторов — специфических участков связывания на поверхности мембраны нейронов. Он проникает во все нервные клетки путем простой диффузии. Эффект этанола в значительной степени зависит от его дозы и от того, когда и в каком временном режиме он вводится в организм. Он по-разному действует на различные нейроны и даже на различные части одного и того же нейрона. И Сиггинсу не кажется странным, что «ученым требуется так много времени, чтобы выяснить, что же в действительности происходит в мозгу под действием алкоголя».

Микросхема в роли эксперта

СОЗДАНА интегральная схема в полупроводниковом кристалле, которая способна с большой скоростью принимать так называемые экспертные решения на основе неточной информации. Схема предназначена для управления автоматизированным оборудованием, работающим в условиях постоянно изменяющихся и заранее не предсказуемых производственных ситуаций.

Экспертные системы уже в течение ряда лет используются в промышленности и отчасти в медицине в качестве специализированных программных средств для компьютеров общего назначения. С помощью представления знаний специалистов-экспертов в виде набора простых и взаимосвязанных правил инженерам-программистам

удалось составить программы для компьютеров, которые моделируют процесс логических рассуждений эксперта при принятии решения. Обычно такие программы принимают данные и «просеивают» их через систему правил до тех пор, пока не будет найдена какая-то цепочка правил, связывающая заданные на входе условия с приемлемым решением на выходе.

Однако на пути реализации таких программ имеются две серьезные трудности. Выборка из внешней памяти команд и правил принятия решения, которыми оперирует программа, требует определенного времени. По этой причине такая система может оказаться непригодной для решения задач «в реальном масштабе времени», когда данные на входе постоянно изменяются. Другая проблема заключается в том, что часто требуется точное определение данных; если поступающие на вход сведения не совсем адекватны представленным правилами описаниям ситуаций, многие экспертные системы не способны выдать ответ.

Новая интегральная схема, выполняющая роль экспертной системы, которую разработали Масакити Тогай и Хироюки Ватанабэ в фирме At & T Bell Laboratories, тоже работает с некоторым набором правил, используемых для получения решения. Но поскольку ее рабочие команды непосредственно «защиты» в микросхему, быстрое действие микросхемы выше примерно в 10 тыс. раз, чем у обычных экспертных систем. Кроме того, такая микросхема позволяет использовать так называемую нечеткую логику; это означает, что задаваемые на входе условия не обязательно должны быть указаны точно, а правила не требуется формулировать в полном соответствии с каждой возможной ситуацией. В логике этого устройства использование на входе логического значения «возможно» столь же допустимо, как и значений «да» или «нет».

Встроенная в микросхему нечеткая логика позволяет устройству воспринимать информацию, лишенную однозначности, и сравнивать ее одновременно со всеми правилами, хранящимися в памяти. При этом каждому правилу в зависимости от степени его соответствия входным данным приписывается весовой коэффициент. Окончательное решение формируется на основе совокупности рекомендаций, содержащихся в правилах с наибольшими значениями весовых коэффициентов. В результате микросхема при обосновании решений проявляет такую же гибкость, что и человек, но делает это значительно быстрее.

Воображение и зрительная система

Какова связь между воображением и зрительным восприятием?

*Современные исследования позволяют предположить,
что в зрительной системе человека они могут обеспечиваться
одними и теми же нейронными механизмами*

РОНАЛЬД А. ФИНКЕ

ЧАСТО приходится слышать, что человек может мысленно строить образ объекта, в точности повторяющий реальный прототип. Процесс построения такого образа нередко сопровождается вполне реалистичными зрительными ощущениями. Представьте себе, к примеру, что перед вами слон. Согнут у него хобот или выпрямлен? Какого цвета у него бивни? А глаза — большие или маленькие? Большинство опрошенных скажет, что, отвечая на такие вопросы, они как бы «рассматривают» воображаемого слона — так же, как они рассматривали бы реального.

Эти нестрогие наблюдения над воображением заставляют исследователя задуматься над тем, в какой мере могут быть связаны воображение и зрительное восприятие. В частности, эти наблюдения наводят на мысль, что воображение может обеспечиваться во многом теми же механизмами, что и зрительное восприятие. Если это верно, то теоретические и практические следствия такого положения могут оказаться исключительно важными. Например, если бы вдруг удалось установить, что в основе воображения и зрительного восприятия лежат одни и те же нейронные процессы в зрительной системе, то можно было бы попытаться определить, как взаимодействует воображение с восприятием. А это позволило бы исследовать, как работает воображение, облегчая, усиливая и даже заменяя зрительное восприятие.

В течение последних десяти лет автор и его коллеги разрабатывали приемные исследования функциональных связей между воображением и зрительным восприятием. Поскольку испытуемые часто могут догадаться о цели эксперимента с воображением, мы старались разработать точные методики, с помощью которых можно было бы вскрывать весьма тонкие взаимосвязи между воображением и восприятием. В ходе этой работы

удалось показать, что умственным образам присуще гораздо больше разнообразных зрительных свойств, чем считалось раньше. Однако выяснилось и то, что в некоторых отношениях воображение и восприятие существенно отличаются друг от друга.

ПУТЕМ самонаблюдения можно установить, что детали объекта, воображаемого маленьким или удаленным на большое расстояние, различить труднее, чем детали образа большого или близкого объекта. Попробуйте, например, вообразить муравья на газете в нескольких метрах от вас, а затем — на кончике зубочистки прямо перед глазами. Во втором случае удастся мысленно «рассмотреть» гораздо больше деталей в строении муравья (например, голову и сегменты тела).

С. Кослин из Гарвардского университета исследовал связь между размером образа и возможностью различать детали объекта с помощью простой методики, основанной на регистрации времени реакции испытуемого. Он обнаружил, что детали воображаемого животного (например, глаза и уши кошки) различаются испытуемыми быстрее, когда их просят сформировать более крупный образ или представить себе, что объект находится близко. Идея экспериментов была подсказана простым наблюдением над физическими объектами, детали которых опознаются быстрее с более близкого расстояния.

Позднее Г. Курцман и автор провели в Корнеллском университете сравнительные эксперименты по измере-

нию разрешающей способности (различения деталей объектов) в воображении и в реальном восприятии. Исследователей особенно интересовало, как размер деталей, расстояние между ними и их положение в поле зрения влияют на разрешающую способность. Согласно предположению, все варианты зрительного разрешения в воображении должны были соответствовать разрешению в восприятии.

В зрительном восприятии разрешение ухудшается с удалением наблюдаемого объекта от точки фиксации взгляда. Однако количество различимых в этих условиях деталей неодинаково для разных направлений. Как правило, по горизонтальной оси поля зрения разрешение ухудшается медленнее, чем по вертикальной, а ниже точки фиксации медленнее, чем выше ее. Известно также, что решетка из вертикальных полос разрешается труднее, если толщина полос уменьшается — точнее, если увеличивается их пространственная частота.

Измерение пределов разрешения в воображении было основано на методике, обычной для психофизических исследований зрения. Сначала испытуемым показывали плоский диск, верхняя половина которого была заштрихована вертикальными полосами, а нижняя — горизонтальными. Ширина полос была везде одинаковой. Затем испытуемых просили вообразить этот диск и мысленно спроецировать его на стоявший перед ними экран. На экране были нанесены восемь прямых, исходящих из одного центра. Испытуемые указывали, на

АКВАРЕЛЬНЫЙ ПЕЙЗАЖ кисти Каролины Джеймс, слепой художницы из Шотландии. К. Джеймс страдает острой формой заболевания *retinitis pigmentosa*. Сейчас ей 42 года, зрение потеряла в возрасте 21 года; рисует, опираясь на воображение. Во время работы перед ней в точно определенном порядке стоят 24 баночки с красками. Рисую, она переходит с одного участка бумаги на другой, определяя на ощупь место, где она только что положила краски. Акварели Джеймс обычно имеют до шести слоев краски.

какое расстояние вдоль каждой из осей они могут перемещать взор до того, как перестанут различать, что воображаемый ими круг разделен на два полукруга. Они сообщали, что по мере перемещения воображаемого изображения к периферии поля зрения решетки становятся расплывчатыми, нечеткими и на некотором расстоянии различить их становится невозможно. В сравнительном эксперименте — в условиях восприятия того же диска, реально проецируемого на экран, — суждения испытуемых были аналогичными.

Эксперимент был проведен с тремя различными дисками. Полосы на втором диске были втрое тоньше, чем на первом, а на третьем — втрое тоньше, чем на втором. В среднем поля зрительного разрешения уменьшались в размерах при увеличении пространственной частоты полос (уменьшения их ширины). Уменьшение было практически одинаковым для воображаемых и для реально наблюдаемых решеток. Воображаемые и реальные поля имели также одинаковую форму: разрешение медленнее уменьшалось вдоль горизонтальной

оси и в области ниже точки фиксации, чем вдоль вертикальной оси и в области выше точки фиксации.

Затем был проведен контрольный эксперимент. Новой группе испытуемых были показаны те же три диска и было дано задание предсказать поля разрешения. Предсказания довольно сильно разошлись с предыдущими экспериментальными данными. Это было хорошим аргументом против того, чтобы объяснить результаты эксперимента простой «догадкой» испытуемых.

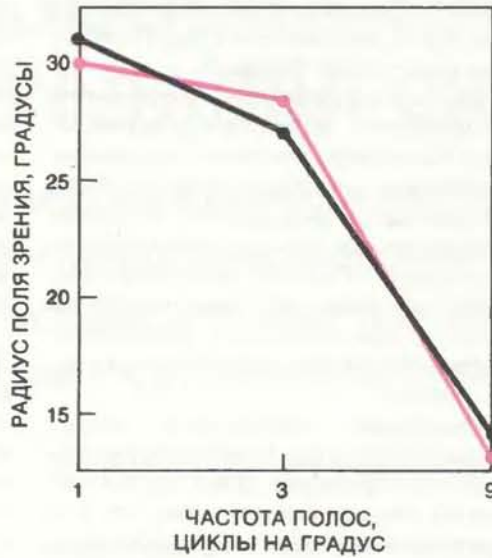
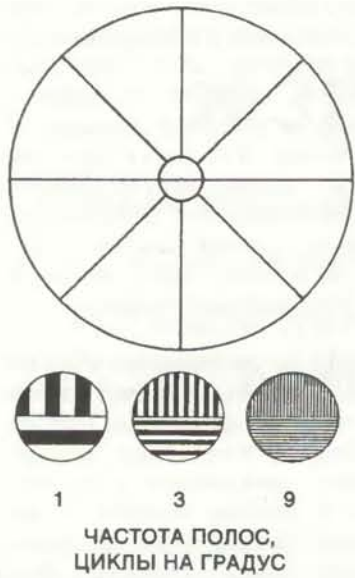
Описанные результаты свидетельствуют о том, что различие образа в воображении во многом подчиняется тем же ограничениям, что и в зрительном восприятии. Кроме того, эти общие ограничения, вероятно, накладываются на уровне переработки образной информации в зрительной системе, где свойства некоторых нервных механизмов могут ограничивать разрешающую способность в отношении наблюдаемых мелких или близко расположенных деталей. Курцман и автор провели ряд других экспериментов, подтверждающих этот результат.

Не было обнаружено соответствий между суждениями о воображаемых и реальных объектах, когда стимулом в эксперименте служили различия в контрастности или относительная яркость деталей. Эти характеристики восприятия, видимо, обеспечиваются более примитивными нейронными процессами, протекающими ниже уровней, на которых имеет место обработка образной информации.

ДАННЫЕ по разрешению образов были получены для умственных образов плоских двумерных изображений. Однако умственные образы, как правило, трехмерные: в них присутствует и глубина объекта — как при взгляде с разных точек. Большинство людей, представляющих свою комнату, могут мысленно «видеть», что какие-то предметы комнатной обстановки находятся впереди других — в зависимости от места в комнате, где наблюдатель помещает себя.

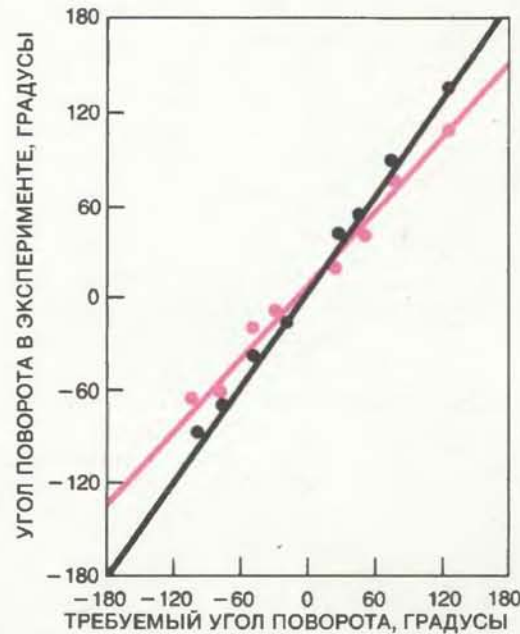
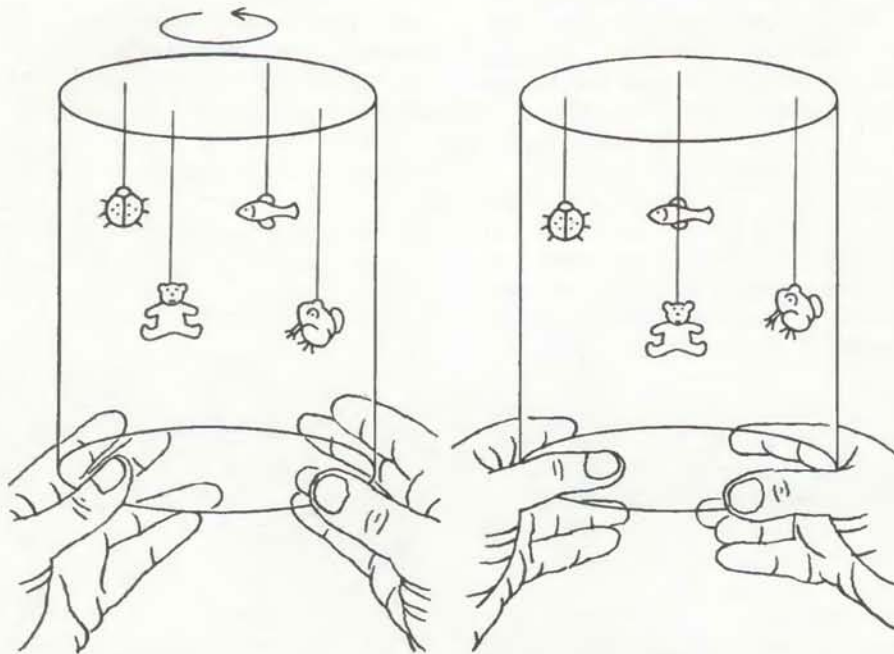
Чтобы изучать трехмерные свойства образов, С. Пинкер и автор предлагали испытуемым сформировать и мысленно вращать в пространстве образы конфигураций определенных





ОГРАНИЧЕНИЯ на зрительное разрешение (способность к различению деталей) измерялись с помощью трех дисков с полосами, изображенных в нижней части левого рисунка. Испытуемым предлагали вообразить каждый диск и мысленно спроецировать его в центр большого круга (слева вверху). Затем, удерживая мысленно диск на месте, они должны были перемещать взор вдоль каждой из восьми радиальных линий и определять на них точки, в которых воображаемый диск переставал восприниматься как состоящий из двух полукругов. Поле зрения, в котором поло-

сы оставались различимыми, уменьшалось с увеличением пространственной частоты полос и уменьшением их ширины (цветная линия на среднем рисунке). Оно было вытянуто по горизонтали, а его нижняя часть была несколько больше верхней (цветной контур справа). Практически идентичные результаты (черная линия в середине и черной контур справа) были получены, когда диски действительно проецировались на круг. Это подтверждает предположение о существовании одних и тех же ограничений на разрешающую способность в воображении и восприятии.



ТРЕХМЕРНЫЕ СВОЙСТВА умственных образов изучались с помощью прозрачного цилиндра. Испытуемых просили запомнить положение пластмассовых фигурок, подвешенных внутри цилиндра на разной высоте. После того как фигурки убирали, испытуемым предлагали мысленно представить их внутри цилиндра. Пустой цилиндр поворачивали на 90°; испытуемый при этом мысленно вращал образ (слева). Хотя по исходному расположению фигурок нельзя было предположить, что в результате они должны образовывать параллелограмм, испытуемые «видели» именно эту геометрическую фигуру. Однако в их зарисовках было от-

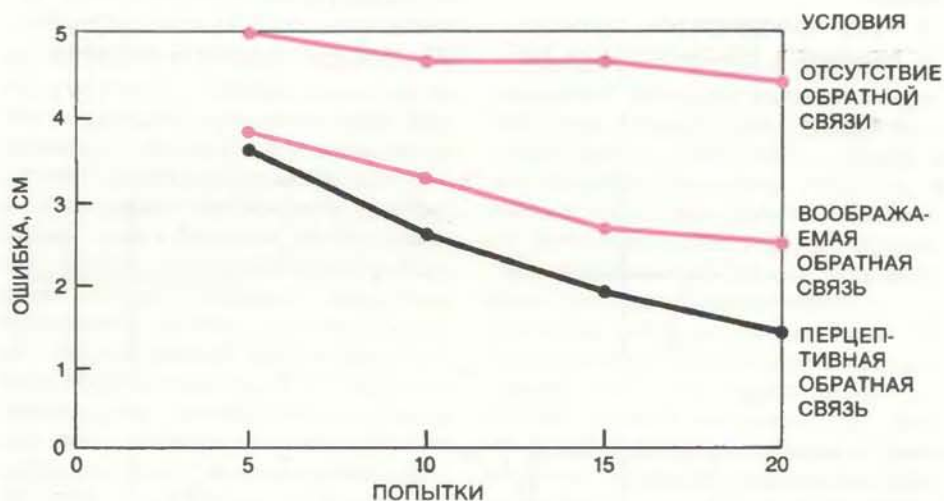
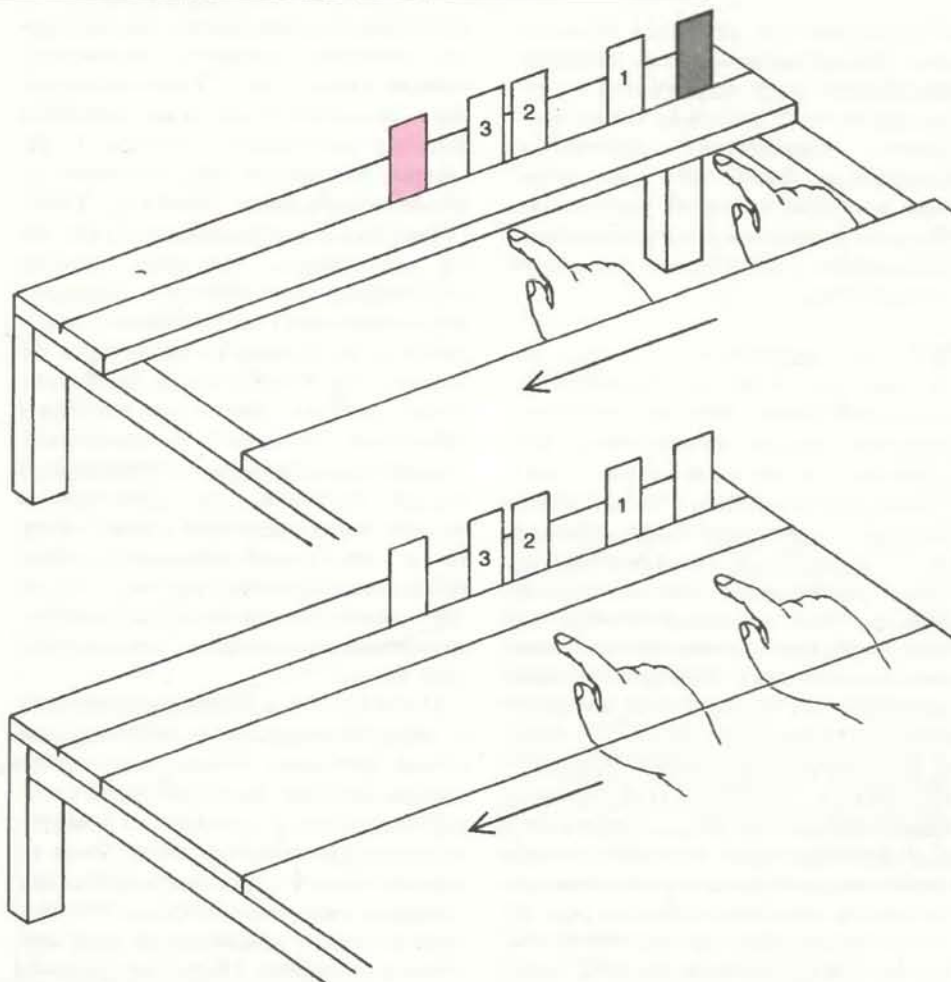
мечено небольшое, но систематическое искажение. Объяснить его позволил другой эксперимент, в котором испытуемые сами мысленно вращали пустой цилиндр, пока две воображаемые фигурки не попадали на одну вертикаль (в середине). Добиваясь такого положения, испытуемые систематически «не доворачивали» цилиндр (цветная линия на правом рисунке) по сравнению с поворотом цилиндра в тех условиях, когда фигурки действительно находились в нем (черная линия на правом рисунке). Другими словами, испытуемые «вращали» умственный образ с опережением по отношению к вращаемому руками цилиндру.

объектов. Если смотреть на реальную трехмерную конфигурацию объектов, то при движении наблюдателя или самой конфигурации видно, как изменяется взаимное расположение объектов по глубине. Вспомните карусели. Катающиеся изменяют свое местоположение относительно той точки, в которой вы находитесь, и как бы образуют плоские «картинки», подобно тому как звезды в созвездиях образуют хорошо известные нам конфигурации. В экспериментах, проведенных автором и его коллегами в Гарвардском университете, нас особенно интересовало, появятся ли подобные «картинки», когда испытуемый будет воображать, что смотрит на вращающуюся конфигурацию. Полученные результаты свидетельствуют об удивительном подобии этих явлений.

Мы предлагали испытуемым запомнить положение четырех маленьких пластмассовых фигурок, подвешенных на разной высоте в прозрачном цилиндре, и сформировать умственный образ каждой из них после того, как их убрали из цилиндра. Затем пустой цилиндр поворачивали на 90° и просили испытуемых зарисовать воображаемую конфигурацию, которая теперь им представлялась под новым углом зрения. Если они воображали и вращали фигурки с той же точностью, как если бы фигурки действительно были в цилиндре, то по завершении поворота фигурки должны были составить параллелограмм.

Во всех случаях на рисунках испытуемых их вращаемые умственные образы складывались в похожую на параллелограмм фигуру, хотя ничто в конфигурации, видимой под исходным углом зрения, не предполагало появления именно этой геометрической фигуры. Интересно, что в рисунках выявились небольшие, но систематические искажения. Появление этих искажений предполагало, что мысленное вращение всегда немного не точно.

Объяснить эти небольшие отклонения помог следующий эксперимент. Испытуемым предлагали вращать пустой цилиндр руками таким образом, чтобы две воображаемые фигурки оказывались на одной вертикали. К нашему удивлению обнаружилось, что испытуемые при этом постоянно не доворачивали цилиндр до того угла, который был бы необходим при физическом наличии фигурок. Другими словами, испытуемые мысленно вращали образы, опережая реальный поворот цилиндра руками. Эта тенденция — небольшое опережающее движение образа — объясняла те незначительные искажения, которые



ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ воображения оценивалось по роли умственных образов в адаптации к оптической призме, которая смещает видимое положение объекта. Надев очки с такими призмами, испытуемые должны были указывать на объект (*цветная метка*). Из-за влияния призм они сначала указывали на 5 см правее (*серая метка*). Поскольку призмы смещают все, что попадает в поле зрения, испытуемые по положению руки могли судить о величине ошибки и исправлять ее в последующих попытках (*метки 1—3*). Эти метки использовались затем второй группой испытуемых в эксперименте на воображение. Эти испытуемые также носили специальные очки, но пространство между ними и метками было закрыто доской, так что они не могли видеть, куда указывает их рука (*средний рисунок*). Они должны были представить себе, что «видят», как их указательный палец показывает на соответствующие метки ошибок. Испытуемые контрольной группы должны были указывать на красную метку, не видя руки и ничего не зная о своих ошибках. Как видно из графика, испытуемые, которые строили образы ошибок, совершали почти так же мало ошибок, как те, кто действительно видел свои ошибки.

обнаружились на рисунках испытуемых. Эксперименты, таким образом, подкрепили нашу уверенность в том, что люди могут довольно точно вообразить трехмерную зрительную перспективу. Более того, они позволили измерить свойства умственных образов, о которых нетренированный («наивный») испытуемый обычно не догадывается.

ТО, ЧТО испытуемый не может догадаться об исходе эксперимента на воображение, еще не исключает возможности его неосознанных действий на основе имеющихся у него знаний об изменениях, обычно происходящих с наблюдаемыми объектами. Эти знания могли косвенно повлиять на суждения испытуемых об образах. Один из подходов к решению этой проблемы — попытаться заставить испытуемых вообразить вещи настолько нетипичные или неестественные, что это практически исключало бы влияние какого-либо предыдущего опыта. Если бы в этих условиях поведенческие реакции в эксперименте с воображением остались подобными тем, которые получаются в эксперименте с восприятием, то результаты, полученные для воображения, уже нельзя было бы приписать влиянию предшествующего опыта испытуемого.

В серии экспериментов, проведенных автором в Массачусетском тех-

нологическом институте, была сделана попытка получить результаты именно такого типа. В них исследовалась функциональная роль образов в явлении адаптации к призме. С помощью оптических призм изменялось видимое положение объектов. В многочисленных исследованиях этого типа установлено, что люди быстро адаптируются к видению окружающего мира через такие призмы, если у них есть возможность двигаться и замечать свои ошибки. Если после адаптации призмы убираются, ошибки в движениях делаются в противоположном направлении. Эксперименты автора показали, что адаптация к призме может наступить даже тогда, когда испытуемый указывает на объект и мысленно представляет, что делает типичные двигательные ошибки, вызываемые ношением призматических очков.

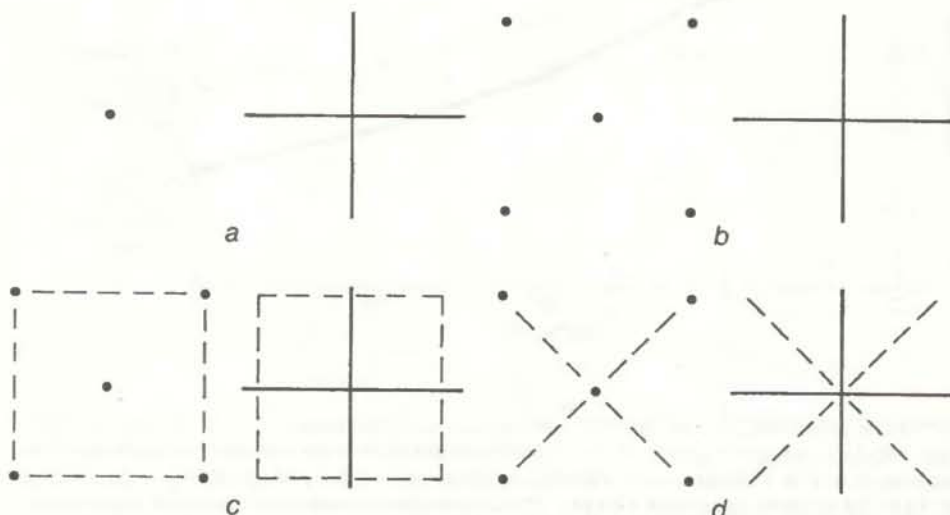
Испытуемые в экспериментах автора носили специальные очки с оптическими призмами. Испытуемые одной группы должны были протянуть вперед правую руку и указать на красную метку, установленную перед ними на уровне глаз. Из-за влияния призм они сначала указывали в точку, отстоящую от метки примерно на пять сантиметров вправо. Поскольку призмы смещают все, что попадает в поле зрения, испытуемые, вытягивая руку, замечали свою ошибку и в следующих попытках могли вносить поправку.

Ошибки были измерены и усреднены по последовательным сериям попыток, после чего места, представлявшие средние величины ошибок, были обозначены тремя метками. Эти метки предназначались для следующей группы испытуемых, участвовавших в эксперименте на воображение. Этим испытуемым также наделили призматические очки, но зона между ними и столом с метками закрывалась экраном так, чтобы они не могли видеть пальцы протянутой руки. Испытуемых просили указать на красную метку и затем вообразить по мере движения руки вперед, что их указательный палец показывает на метку, соответствующую средней для данной серии ошибке. Другими словами, метки ошибок обеспечивали соответствие между воображаемыми ошибками и средними величинами ошибок, сделанных испытуемыми первой группы.

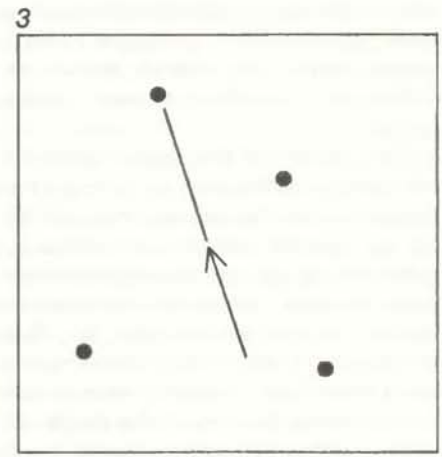
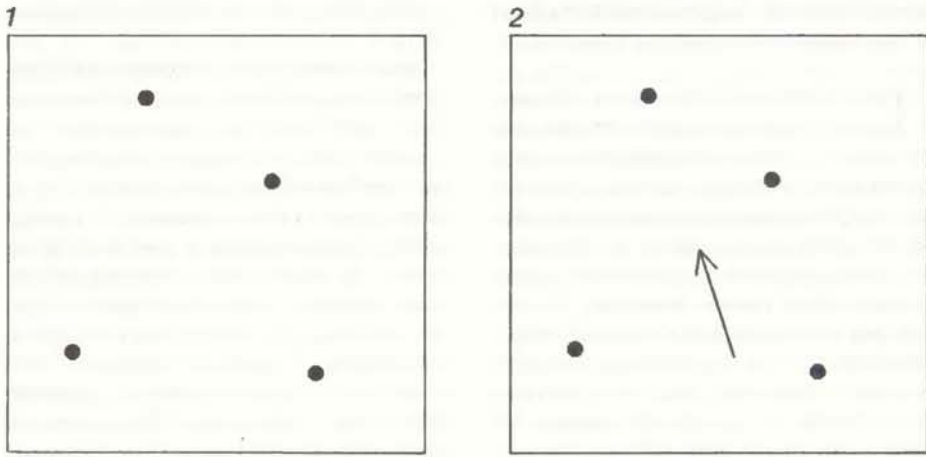
В эксперименте участвовала также третья, контрольная группа испытуемых. Испытуемые из этой группы должны были указывать на красную метку, не видя своих ошибок и не пытаясь вообразить их.

Значительное сокращение количества ошибок наблюдалось только в двух первых группах. Более того, скорость адаптации в них оказалась практически одинаковой. Результаты, полученные в условиях последействия (после снятия очков), дополнительно подтвердили функциональную эквивалентность реально воспринимаемых и воображаемых ошибок. Хотя эффект последействия в условиях воображения был слабее, чем в условиях восприятия, испытуемые в обеих группах при восстановлении нормальных условий видения указывали левее метки. Был обнаружен также перенос эффекта на другую руку: испытуемые указывали левее цели не только правой («адаптированной») рукой, но и левой «неадаптированной».

Эти результаты позволяют сделать несколько выводов. Во-первых, крайне маловероятно, чтобы испытуемые могли «предвидеть» характеристики адаптации и изменений в зрительно-двигательной координации, вызываемых ношением призматических очков. Едва ли они имели также хотя бы похожий предшествующий зрительный опыт, который мог быть неосознанно использован во время эксперимента. Во-вторых, полученные результаты показывают, что воображение может производить определенные изменения в зрительно-двигательной координации, которые сохраняются даже после исчезновения образов. Судя по этим результатам, использование воображения для спе-



ЗАДАЧА НА РАЗЛИЧЕНИЕ решалась с помощью умственного образа. Испытуемым предлагали определить, какая линия длиннее: горизонтальная или вертикальная. В одном случае (a) испытуемый фиксировал взор на точке, а затем на экран проецировались линии, так что центр их пересечения совмещался с точкой фиксации взора. Во втором случае (b) сначала проецировались еще четыре точки, окружавшие точку фиксации. В третьем случае (c) на экран проецировались те же точки, что и в случае (b), но испытуемого просили сформировать образ квадрата, вершинами которого они являлись. В четвертом случае (d) испытуемых просили, опираясь на те же точки, представить себе крест (x). Наименьшее время на различение длин вертикальной и горизонтальной прямых зарегистрировано при формировании образа квадрата.



УМСТВЕННЫЕ ОБРАЗЫ помогают «рассматривать» изображения. Испытуемым сначала предъявляли рисунок из нескольких точек (1), а затем стрелку. Требовалось определить, показывает ли стрелка на какую-нибудь из ранее увиденных точек. Чтобы вынести такое суждение, испытуемые, судя по их словесным отчетам, строили сначала образ рисунка с точками (2), а затем мысленно двигались по нему в направлении, указанном стрелкой (3). График показывает, что с увеличением расстояния между стрелкой и точкой увеличивалось время, затрачиваемое испытуемым на вынесение суждения. Следовательно, испытуемый «рассматривал» образ.

специального формирования таких изменений может иметь и важное практическое значение. Например, спортсмены часто говорят, что для них полезно отрабатывать свои действия в уме. В свете проведенных экспериментов логично предположить, что успех этого способа зависит от ясности и точности, с которой эти действия представляются в воображении.

ОПИСАННЫЕ исследования иллюстрируют множество возможных функциональных соответствий психического образа реально воспринимаемым объектам и событиям. Еще большее практическое значение имеет вопрос о том, может ли воображение напрямую участвовать в текущих перцептивных процессах в условиях, когда воображение и восприятие функционально эквивалентны. Можно ли, например, при одинаковых ограничениях на разрешающую способность в восприятии и воображении разглядеть объект быстрее, если до его реального появления сформировать соответствующий умственный образ?

Лет 10 тому назад У. Найссер и Л. Купер, работавшие тогда в Корнеллском университете, и Р. Шепард из Станфордского университета пред-

положили, что процесс формирования умственного образа может выполнять функцию предвосхищения восприятия, т. е. как бы подготавливать человека к восприятию информации о воображаемых им объектах. Воображение, таким образом, как бы усиливает восприятие, избирательно «запускающая» соответствующие механизмы зрительной системы. Другими словами, формирование умственного образа объекта может сопровождаться некоторыми процессами в нервной системе, эквивалентными обычно происходящим в момент наблюдения объекта, что облегчает восприятие.

Если же в действительности появляется не тот объект, который был сформирован в образе, то воображение может помешать нормальной работе зрительной системы. Представьте, например, что вы ведете самолет на посадку через облака. Вы могли бы увидеть взлетно-посадочную полосу быстрее, если бы заранее представили ее в том месте, где она действительно находится. Однако если бы вы представили полосу в другом месте, то определение ее действительного положения заняло бы у вас больше времени, чем если бы вы ничего себе не представляли вообще.

Эксперименты, выполненные не-

давно автором в Станфордском университете, помогли прояснить практическую сторону связи между формированием умственного образа и восприятием реального объекта. В одном из этих экспериментов на экране появлялась либо горизонтальная, либо вертикальная полоса, и испытуемые должны были сообщить, что они видят. Эти две полосы были названы целями. Испытуемых просили заранее либо представить полосу такого же размера, но наклонную, либо не строить никакого образа. Таким образом, в каждой попытке на образ (если испытуемым предлагали сформировать образ) накладывалась одна из двух целей. При этом регистрировалось время, требовавшееся для идентификации цели, как функция близости цели и воображаемой полосы. Время реакции в опытах, где наклонную полосу воображать не требовалось, служило мерой отсчета.

Наиболее быстро испытуемые идентифицировали полосу-цель, когда угол между целью и воображаемой полосой не превышал 10° . При увеличении угла до 45° время идентификации также увеличивалось. При дальнейшем увеличении угла время реакции опять сокращалось. Другими словами, максимальную помеху для

идентификации представлял умственный образ полосы, лежащей точно на биссектрисе угла между двумя возможными направлениями полосцелей.

Почему время реакции не возрастало пропорционально углу между воображаемой и реальной полосой? Одна из причин могла заключаться в том, что в основе реакции испытуемых лежало сравнение умственного образа и реального объекта. Если умственный образ совпадает с реальным объектом, то выбор реакции осуществляется быстро. Если воображаемая полоса перпендикулярна реально предъявленной, сравнение указывает, что правильной будет реакция, противоположная реакции на воображаемую полосу. Если же воображаемая полоса имеет ориентацию, промежуточную между двумя возмож-

ными, сравнение затрудняется, и образ мешает процессу принятия решения.

ПРАВОМЕРНОСТЬ такого объяснения подтверждает другой эксперимент. В этом эксперименте испытуемых просили просто максимально быстро реагировать на появление любой из двух полос. Если в предыдущем эксперименте им надо было различать ориентацию полосы, то на этот раз они должны были не идентифицировать полосу, а только обнаружить ее появление. Судя по полученным результатам, воображение не влияло на суждения испытуемых о простом обнаружении объекта в данных экспериментальных условиях. Из этого можно заключить, что формирование умственного образа, влияющее на идентификацию воспринимаемого объекта, может не влиять на бо-

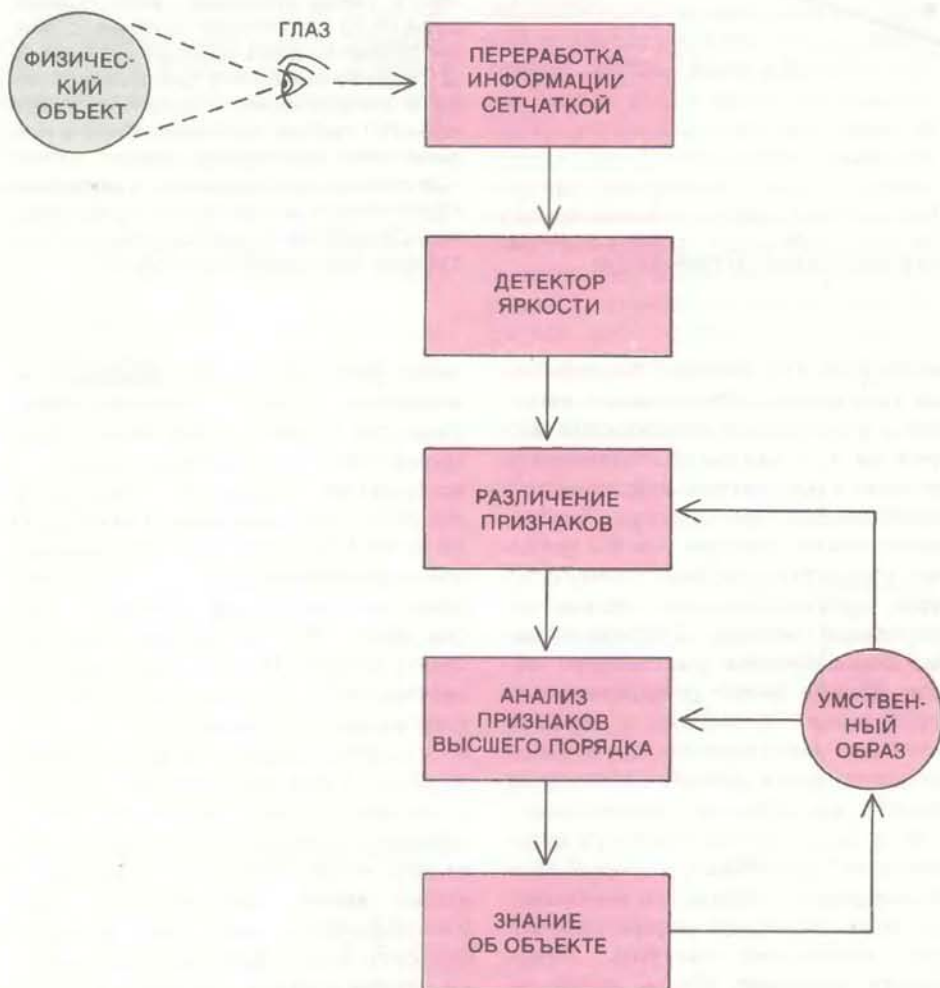
лее элементарный процесс обнаружения.

Дж. Фрейд и автор провели в Станфордском университете дополнительные эксперименты, показавшие, что существуют некоторые типы включения воображения в восприятие, которые не могут быть объяснены с позиций выбора реакции в зрительной системе. В этих экспериментах изучались эффекты формирования образов, которые могли создавать (или не создавать) вспомогательный контекст в сложных условиях различения длин объектов. Испытуемым предъявлялся рисунок: две прямые, пересекавшиеся в виде креста, и предлагалось определить, какая из этих прямых длиннее. Перед некоторыми опытами мы просили испытуемых представить себе квадрат, который, будучи в действительности наложен на крест, подчеркнул бы очень небольшие различия в длинах прямых. Во время других опытов мы предлагали испытуемым сформировать образ креста (×), концы которого лежали бы в четырех вершинах воображаемого квадрата. Предполагалось, что этот образ должен был быть менее полезным для различения длин.

Оказалось, что при формировании образа «полезного» контекста (квадрата) время, необходимое для различения длин, действительно было меньше, чем при формировании «бесполезного» образа (креста) или в ситуации, когда испытуемым вообще не предлагали сформировать умственный образ. Более того, этот эффект оказался схожим с тем, когда на исходное изображение действительно накладывались соответствующие рисунки.

Когда в опыте предъявлялись позиционные подсказки в виде точек, по которым можно было построить и квадрат, и крест, испытуемые часто строили образ именно полезного контекста. Поскольку «контекстные» конфигурации сами по себе никак не влияли на выбор из двух возможных реакций, этот тип содействия воображения восприятию не мог быть результатом мысленного сравнения или процесса выбора решения. Скорее всего, он был результатом мысленного синтеза реальных и воображаемых черт на высших уровнях зрительной системы, где добавление контекстуальной информации подчеркивало различие сравниваемых объектов.

ВО ВСЕХ описанных выше опытах испытуемых в явной форме просили построить умственный образ. При такой процедуре, однако, испы-



ВЛИЯНИЕ ВООБРАЖЕНИЯ на зрительное восприятие может быть объяснено с помощью модели, построенной на основе работ автора и других исследователей. Восприятие объекта — это результат активации нейронов с последующей поступенчатой переработкой информации в зрительной системе, начиная с сетчаточного уровня. Формирование образа объекта детерминировано знанием человека о признаках объекта и происходит, вероятно, на самых верхних уровнях. Сформированный образ может действовать на промежуточных уровнях зрительной системы на нейронные механизмы, ответственные за различение признаков и другие более сложные типы анализа, модифицируя восприятие объекта. Однако на уровне, предшествующие уровню различения признаков, воображение, вероятнее всего, не воздействует.

туемые могут стараться действовать так же, как они действовали бы при решении соответствующей задачи на восприятие реального объекта. Хотя эту трудность можно обойти, изменяя очень тонкие или неожиданные для испытуемого перцептивные эффекты, более заманчиво было показать, что умственные образы могут формироваться спонтанно для решения конкретной задачи даже в отсутствие каких-либо инструкций.

Это важное соображение вытекает из ранних исследований Косслина и Пинкера по мысленному «разглядыванию» образов. Исследователи предлагали испытуемым изучить какую-нибудь конфигурацию объектов (например, значки разных объектов на карте), сформировать умственный образ конфигурации и «сосредоточиться» на одном из объектов. Затем экспериментаторы называли второй объект и предлагали испытуемым мысленно «проследить» путь по прямой от первого объекта ко второму. Исследователи обнаружили, что время, необходимое на мысленное «движение», прямо пропорционально физическому расстоянию между объектами. Из этого Косслин и Пинкер заключили, что умственные образы сохраняют пространственные характеристики физических объектов.

Однако, как отмечали критики, испытуемым не так уж сложно было сообразить, что для прослеживания больших расстояний требуется больше времени. После этого Пинкер и автор разработали методику, с помощью которой этой трудности удавалось избежать. По новой методике испытуемый формировал образ и рассматривал его под любыми углами. После разглядывания испытуемым изображения, состоящего из нескольких точек, предъявлялось изображение стрелки и испытуемого спрашивали, указывает ли она на какую-либо из виденных ранее точек. Мы рассчитывали, что для ответа на такой вопрос испытуемому придется «просмотреть» умственный образ рисунка в направлении, указанном стрелкой.

Эксперимент увенчался успехом. Время, затраченное на принятие решения, росло прямо пропорционально увеличению расстояния между стрелкой и той точкой, на которую она указывала. Более того, почти все испытуемые сообщили, что для решения задачи они строили и «рассматривали» образ рисунка с точками. Таким образом, было показано, что мысленное «рассматривание» объекта может быть полезным в тех случаях, когда нужно предвидеть последствия движения по выбранному направлению из определенной отправной точки.

Представьте себе, что вы пытаетесь рассчитать, где остановится бильярдный шар после удара в определенном направлении. Даже если вы не можете действительно произвести удар или получить ответ математическим путем, вы можете вообразить, что должно произойти, если мысленно проследите траекторию движения шара со всеми его отскоками от бортов. Купер и Шепард сообщили об аналогичных результатах, полученных в исследованиях по мысленному вращению объектов (см. статью: Л. Купер, Р. Шепард, Мысленное вращение объектов, «В мире науки», февраль, 1985).

В СВЕТЕ этих исследований можно предположить, что в тех случаях, когда воображение и восприятие обеспечиваются одними и теми же механизмами зрительной системы, воображение может ускорять протекание перцептивных процессов. Поэтому необходимо попытаться определить тот нижний уровень функционирования зрительной системы, на котором эти механизмы могут быть одинаковыми. Зрительное восприятие может, например рассматриваться как упорядоченная последовательность процессов переработки информации в направлении от низших к высшим уровням зрительной системы. Основываясь на такой схеме, можно начать выяснения того, насколько глубоко формирование образа может затрагивать механизмы, обеспечивающие функционирование системы на низших уровнях.

На самом нижнем, сетчаточном уровне, где обнаруживаются самые примитивные механизмы переработки информации, трудно ожидать проявления сколько-нибудь выраженного эффекта формирования образа. Едва ли можно ожидать, что воображение может как-то сказываться на подкорковых уровнях, где работают механизмы обнаружения изменения по яркости или контрасту. Эффекты воздействия умственного образа на восприятие начинают обнаруживаться только на более высоких уровнях, где происходит распознавание образов (как, например, в зрительной коре). Что же касается высших уровней, то можно уверенно говорить о влиянии умственного образа на восприятие.

Наконец, можно допустить, что на самых высших уровнях перцептивные процессы взаимодействуют с более абстрактными психическими процессами, имеющими отношение к знанию о физических объектах и их пониманию. Здесь полезно различать форму и функцию умственного образа. Когда человек решает сформировать

умственный образ конкретного объекта, то характер этого образа будет зависеть от того, что знает данный человек о данном объекте — о его размере, цвете, форме и т. п. Когда же образ сформирован, он может функционировать в определенных отношениях как реальный объект, вызывая активацию некоторых типов нейронных механизмов на нижних уровнях зрительной системы. Соответственно ограничения, налагаемые этими механизмами на качество восприятия объекта, налагаются и на воображение. Именно так умственные образы могут приобретать характеристики зрительных и использоваться для измерения характера восприятия.

Издательство МИР предлагает:

Дж. Бакл
**ГОРМОНЫ
ЖИВОТНЫХ**
Перевод с английского

В книге английского автора довольно популярно и схематично, но на современном уровне изложены основные принципы гормональной регуляции как у беспозвоночных, так и у высших позвоночных животных.

Содержание: Основные представления о гормонах и методах их исследования. Нейросекреция и нейрогормоны. Аденогипофиз и гипоталамус. Щитовидная железа. Надпочечники. Половые железы, роль гормонов в репродуктивном цикле. Гормоны пищеварительного тракта. Эндокринная функция поджелудочной железы и сахарный диабет. Роль гормонов в регуляции метаболизма. Другие эндокринные железы и тканевые гормоны. Гормоны беспозвоночных животных.

Для физиологов, биохимиков, фармакологов и врачей, для студентов и преподавателей институтов биологического и медицинского профиля.

1986, 5 л. Цена 70 к.



Хранение зерна в Ассиросе

При раскопках древнего поселения на севере Греции были обнаружены остатки обуглившихся зерен из зернохранилищ, сгоревших 3000 лет назад. Эти находки дают новые сведения о том, как возникли величественные микенские дворцы эпохи бронзы

ГЛИНИС ДЖОУНЗ, КЕННЕТ УОРДЛ,
ПОЛ ХОЛСТЕД, ДИАНА УОРДЛ

ОБЩЕСТВА, населявшие земли Эгейского бассейна в эпоху бронзы, включая носителей минойской культуры Крита и микенской культуры материковой Греции, были богатыми и сложными. Центральное место в них занимал дворец, где пребывали правители и совершались сакральные обряды. Но дворец выполнял еще одну важнейшую роль: в нем хранилась избыточная сельскохозяйственная продукция. Могущество правителей в Эгеиде в бронзовый век в значительной мере основывалось на их праве распоряжаться поставками вина, зерна, оливкового масла и других натуральных продуктов из окружающих районов. Экономические и социальные установления, лежавшие в основе системы хранения пищевых запасов, по всей видимости, развивались в течение длительного периода, однако проследить их историю — задача не легкая.

Основные «свидетельства» — продукты земледелия, находившиеся в хранилищах, — быстро разрушаются. Кроме того, обычно наибольший интерес для археологов, изучающих бронзовый век, представляют изделия из глины, металла или камня, а не остатки растений. Поэтому приемы хранения пищевых продуктов, приведшие к сложению дворцовой системы ведения хозяйства («дворцовой экономики») до сих пор недостаточно хорошо изучены.

С недавнего времени, однако, ситуация начала меняться, особенно после того, как исследователи эгейских культур бронзового века поняли, какую ценную информацию может дать изучение остатков растений. Поэтому не удивительно, что в раскопках поселения бронзового века в Ассиросе (северная Греция), к которым мы приступили в 1975 г., с самого начала принимала участие археоботаник (Г. Джоунз). Тщательный отбор и анализ проб зерна с пола сооружений, разрушенных пожаром в бронзовый век, показал, что некоторые из этих

сооружений специально предназначались для хранения продуктов земледелия. Система хранения продуктов земледелия в Ассиросе была, по видимому, общинной и представляла собой промежуточную форму между хранением запасов отдельными семьями и организованным присвоением излишков продуктов, что осуществлялось в зрелой «дворцовой экономике». Поселение в Ассиросе при соответствующих условиях, возможно, постепенно превратилось бы в дворцовый центр. Поэтому производимые там раскопки могут в конечном итоге доставить новые важные данные о происхождении дворцов эпохи бронзы.

АССИРОС находится на территории северогреческой области Македонии. В эпоху бронзы Македонские земли граничили с ареалом микенской культуры, распространившейся на севере вплоть до Фессалии. Территория микенской культуры в основном занимала Эгейский полуостров, и ее граница проходила южнее Македонии, вероятно, через Фессалию. В эпоху бронзы Македония лежала на перекрестке культурных течений, испытывая влияния с севера — из дунайских областей, с востока — из Фракии, с запада — из Иллирии (ныне албанские земли), с юга — со стороны микенского общества. Воздействие последнего было наибольшим. По своему социальному развитию северные районы заметно отставали от южных в Микенах и Пилосе на мате-

рике и в Кноссе — на Крите. Ничто из обнаруженного археологами в Македонии не может сравниться с величественными дворцами, открытыми в этих и других исторических местах (см. статью: П. Уоррен, Дворцы минойской культуры, «В мире науки», сентябрь 1985). Такое относительное отставание может оказаться благоприятным фактом для археологов, поскольку обнаруженные в Ассиросе находки, современные дворцам, могут поведать о том, какие условия предшествовали возникновению «дворцовой экономики».

Одним из оснований, позволяющих считать Ассирос потенциальным источником сведений о предшествующих дворцовых хозяйствах, является то обстоятельство, что время существования этого поселения перекрывает микенский дворцовый период, достигший наивысшего расцвета между 1400—1200 гг. до н. э. Результаты наших раскопок в Ассиросе показали, что это поселение было непрерывно заселено в течение тысячелетнего периода, включающего эти даты. Расположенное неподалеку от современного греческого селения Ассирос, поселение бронзового века, где нами производились раскопки, представляет собой холм овальной формы и называется Ассирос-Тумбой. Холм имеет высоту около 14 м и, как показали раскопки, является полностью искусственным сооружением. Первые поселенцы прибыли на это место примерно в 1800 г. до н. э. и соорудили оборонительную стену вокруг своих

СТЕНЫ СООРУЖЕНИЙ БРОНЗОВОГО ВЕКА обнаружены авторами статьи при раскопках холма вблизи современного греческого селения Ассирос. Стены имеют деревянный каркас, заполненный кладками из высушенного на солнце сырцового кирпича. Стены образовывали в плане конструкцию в виде сот, состоящую из жилых помещений и хранилищ, разделенных дворами и проходами. Все поселение было окружено оборонительной стеной, сооруженной из сырцового кирпича. На фотографии изображены остатки стен помещений, служивших жильем примерно в 1200 г. до н. э. Под полом этих помещений находился пол зернохранилищ, разрушенных пожаром около 1350 г. до н. э. В слое пожара было обнаружено множество растительных остатков, главным образом обуглившегося зерна. Круглая яма на заднем плане предназначалась для хранения.

жилищ, построенных на относительно ровном месте. В последующие 1000 лет стена и сооружения, которые она окружала, много раз перестраивались. В результате перестроек через некоторое время образовался холм, высота которого после каждой перестройки постепенно увеличивалась, а площадь для строительства жилищ на холме соответственно уменьшалась. Около 800 г. до н. э., в начале железного века, поселение было оставлено, возможно, из-за того, что пространства на холме, окруженном стеной, стало недостаточно для размещения всех обитателей поселения.

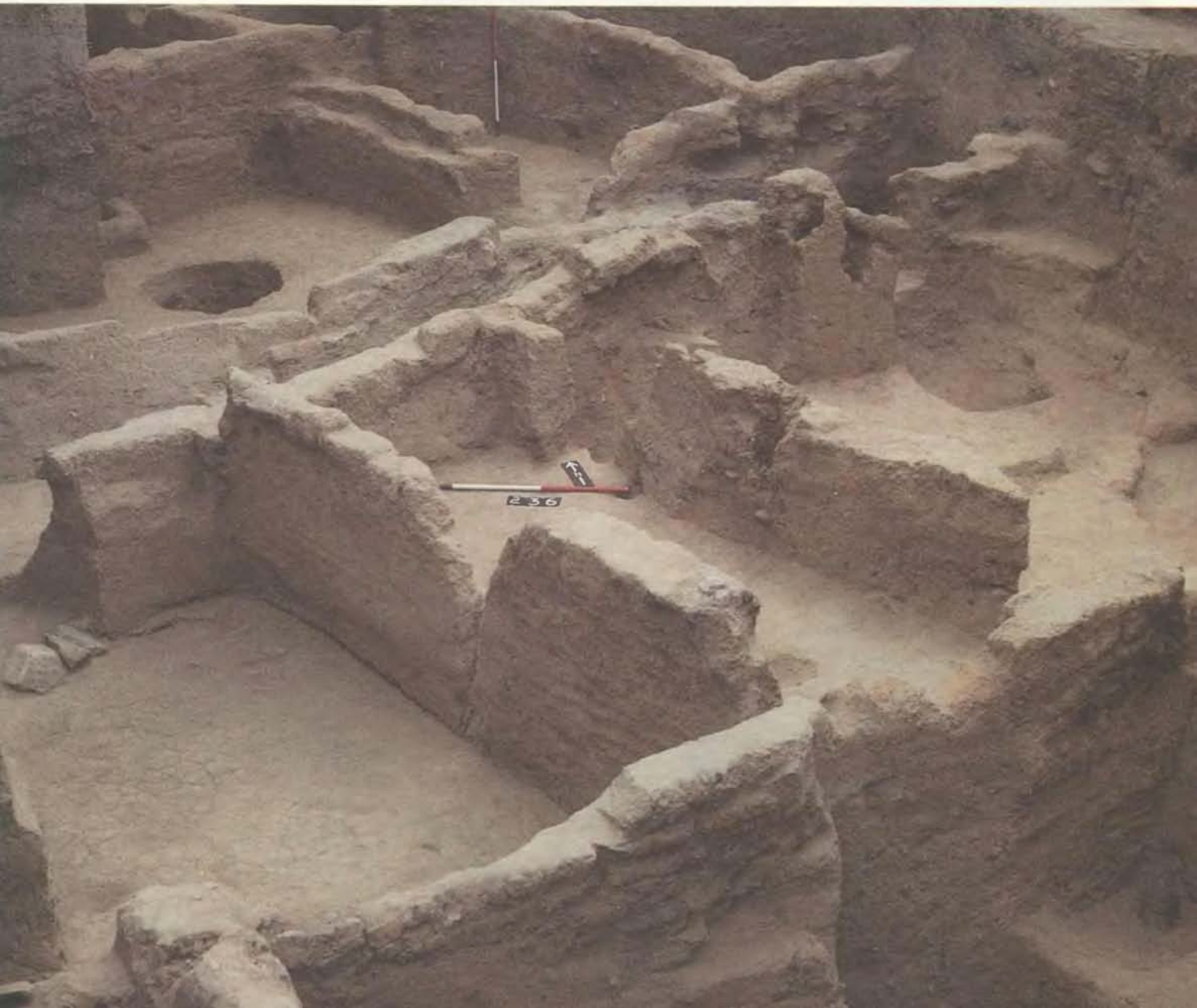
Хотя это поселение периодически перестраивалось, приемы строительства, которые использовали жившие в нем люди, оставались практически неизменными в течение значительной части бронзового века. Поэтому после каждой перестройки поселение на холме внешне менялось незначительно. Оборонительная стена была сооружена из глины и высушенных на солнце сырцовых кирпичей. За

стеной находились прямоугольные в плане помещения, которые имели деревянный каркас, заполненный кладками из сырцового кирпича. Этот каркас, вероятно, предохранял постройки от разрушения во время землетрясений — частое в Македонии бедствие не только в бронзовый век, но и сейчас. Жилые и прочие помещения перемежались дворами. Группы жилищ и дворов были разделены проходами, что придавало всему поселению прямоугольную планировку. Проходы, покрытые песком, были настолько узкими, что по ним не могли двигаться не только повозки, но даже выючные животные; видимо, они предназначались в основном для пешего хождения.

В СЕВЕРНОЙ части этого похожего на соты комплекса помещений, дворов и проходов мы обнаружили хранилища. Эта находка оказалась наиболее интересной и совершенно неожиданной. В начале раскопок предполагалось, что Ассирот-Тумба

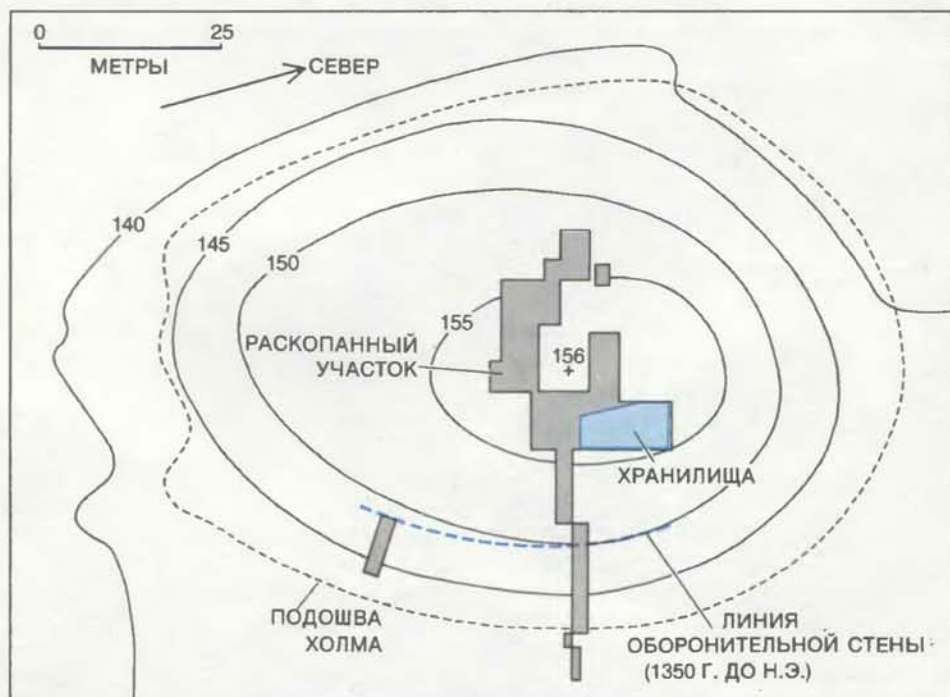
заклучает в себе поселение бронзового века, однако, что собой представляло это поселение и в течение какого времени оно было заселено, мы не знали. Первоначально планировалось раскопать примерно десятую часть холма до глубины 3 м, с тем чтобы проследить последовательность слоев жизни поселения. В ходе раскопок из каждого слоя систематически брались остатки растений. В 1977 г., после третьего сезона раскопок, было установлено, что в северной части холма растительные остатки встречаются наиболее часто. На следующий год мы сосредоточили раскопки главным образом в этой части холма и обнаружили, что благодаря благоприятному стечению обстоятельств сохранился сложный набор остатков растений, открывающий черты земледельческого хозяйства этого поселения бронзового века.

В ходе раскопок было установлено, что примерно в 1350 г. до н. э. несколько помещений поселения было уничтожено пожаром. На полу сго-





МИКЕНСКАЯ КУЛЬТУРА И АССИРОС поддерживали значительные контакты в период существования дворцов бронзового века. Ассирос расположен в той части Македонии, которая в настоящее время составляет часть северной Греции. В расцвете микенского дворцового периода (1400—1200 гг. до н. э.) Македония составляла отдельную культурную область. На севере микенская культура граничила (показано пунктирной линией) с Фессалией. Микенские дворцы находились в Микенах, Тиринфе, Пилосе и Фивах, а также, возможно, в Иолке и Афинах.

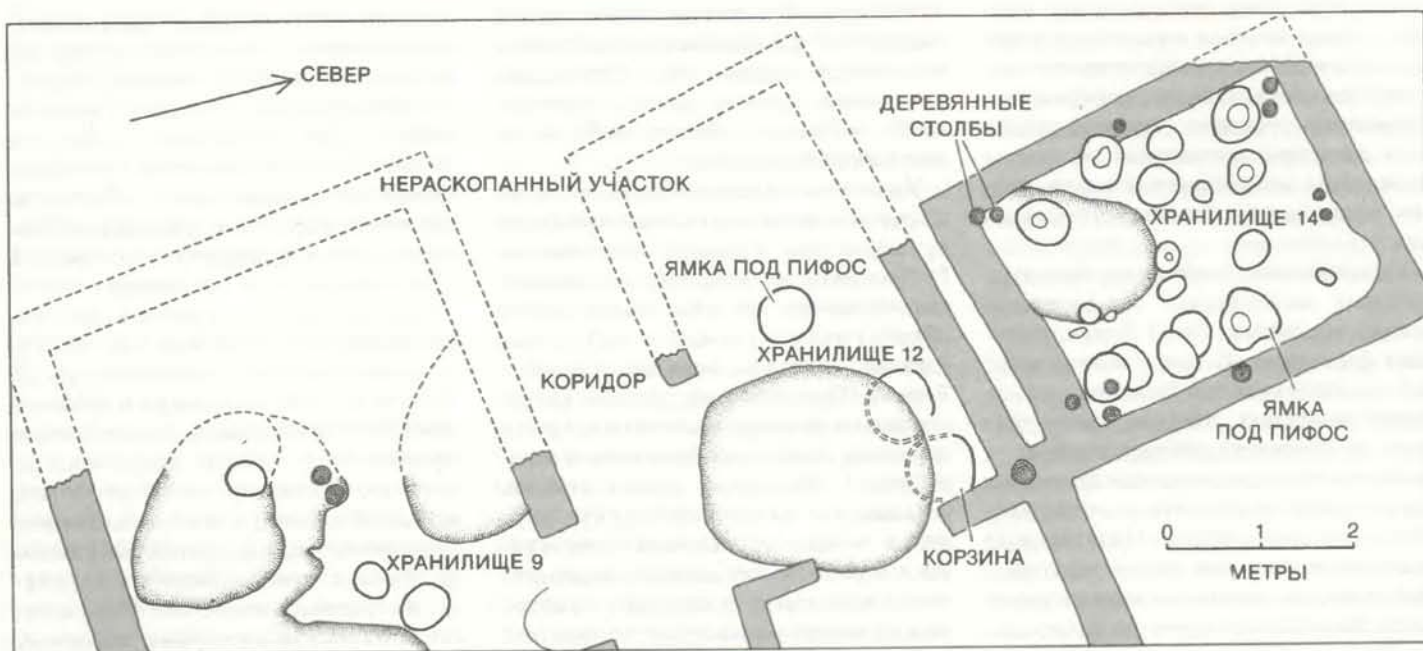


АССИРОС-ТУМБА представляет собой холм, где были обнаружены остатки поселения бронзового века. Холм, имеющий высоту примерно 14 м, постепенно образовался в результате того, что это поселение 20 раз перестраивалось между 1800 и 800 гг. до н. э.

ревших построек лежали обожженные сырцовые кирпичи и обуглившиеся остатки кровельных бревен. Жители Ассироса обычно не затрудняли себя расчисткой пожарищ и восстановлением полов сгоревших построек. Вместо этого они лишь выравнивали поверхность завалов, и она служила им основанием для нового пола. Каркасные бревна сгоревших построек срезались у основания и такие пни использовались в фундаментах новых построек. В результате применения этого строительного метода, который можно назвать как «новое на старом», значительное количество зерна оставалось в завале над старым полом. Много обуглившихся зерен оказались рассыпанными среди сырцового кирпича. Еще больше зерен лежало в виде слоя на старом полу; в некоторых местах слой зерна достигал нескольких сантиметров. В трех помещениях (обозначены как помещения 9, 12 и 14) и в соседнем с ними проходе были обнаружены толстые слои обуглившихся остатков. Помещение 4 и прилегающий к нему двор, вероятно, принадлежали тому же архитектурному комплексу, однако они не были разрушены пожаром и поэтому содержали очень мало растительных остатков.

Судя по растительным и нерастительным остаткам, можно почти определенно сказать, что комплекс в Ассиросе имел несколько помещений для хранения продуктов земледелия. Нерастительные остатки включали следы предметов, предназначенных для хранения продуктов. В полу помещения 9 имелось по крайней мере шесть ямок глубиной примерно 30 см. Эти ямки точно подходят под сужающиеся основания глиняных кувшинов, найденных в разных местах при раскопках холма. Такие кувшины, погречески *пифосы*, широко применялись в бронзовый век для хранения продуктов. Пол помещения 14 лучше сохранился, и в нем имелось более 10 ямок под пифосы. Хотя в одном из помещений был обнаружен фрагмент глиняного диска — вероятно, крышки пифоса, черепков самих кувшинов было найдено мало. По-видимому, кувшины не пострадали от пожара и были вынесены. Большая часть пола в помещении 12 была перекопана позднее в железный век, поэтому там не обнаружено ямок под кувшины. Однако в этом помещении уцелели две корзины, ивовые прутья которых были обмазаны глиной.

ПОДСЧИТАВ по результатам раскопок примерное количество сосудов для хранения продуктов и определив их типы, мы смогли оценить вместимость хранилищ всего



КОМПЛЕКС ХРАНИЛИЩ состоял из трех помещений, разрушенных пожаром. В полу хранилищ имелись ямки под основания кувшинов, называемых пифосами. В хранилище 12 были обнаружены остатки двух корзин, сплетенных из ивовых прутьев и обмазанных глиной. После пожара сельчане

вынесли кувшины из хранилищ, оставив обгорелое зерно. Слой пожарища был потом выровнен и послужил основанием для нового пола. В некоторых местах толщина слоя зерна на старом полу составляла несколько сантиметров.

комплекса или по крайней мере помещений, где были найдены обгоревшие остатки. Очевидно, помещения 9, 12 и 14 использовались исключительно как хранилища, а продукты держали в пифосах, корзинах, обмазанных глиной, и, возможно, в мешках и других не дошедших до нас вместилищах. В наших расчетах мы исходили из того предположения, что пифосы в каждом помещении размещались так же, как и в помещении (хранилище) 9, в хорошо сохранившейся части пола которого было обнаружено шесть ямок. Учитывая то, что пифосы имели емкость 100—150 л, можно подсчитать, что каждое из хранилищ 12 и 14 вмещало примерно 1000 л, а хранилище 9 — от 2000 до 3000 л. Таким образом, общая вместимость хранилищ составляла 4000—5000 л, что более чем достаточно, чтобы прокормить 20 человек в течение года. Концентрация таких больших запасов в одном месте поселения весьма необычна для древней Греции, где, как правило, существовали хранилища в каждом отдельном жилище. Хранилища в Ассиросе можно сравнить по концентрированной форме хранения лишь с хранилищами дворцов эпохи бронзы в южной Греции.

Раньше при раскопках подобных хранилищ археолог, вероятно, посчитал бы, что по зерну, рассыпанному во время пожара и после него, вряд ли можно узнать о том, как изначально хранился урожай. Однако в Ассиросе детальный отбор проб и анализ зерна позволил нам извлечь много инфор-

мации о количестве видов хранившегося зерна и их размещении в хранилищах. Большая часть этой информации получена при исследовании старого пола, находившегося под слоем обуглившихся остатков. Зерно, лежавшее на этом полу, не было перемешано в отличие от сильно разбросанного зерна, находившегося среди горелого слоя. Нами было обнаружено много мест, где рассыпанное зерно принадлежало большей частью одному виду растения. Такие скопления зерна, вероятно, оставались нетронутыми и после пожара. При любом серьезном повреждении амбарной тары произошло бы смешение содержимого нескольких вместилищ, т. е. смешение зерна различных видов растений. Поэтому мы пришли к выводу, что по таким скоплениям зерна можно узнать многое о том, как хранился урожай. Каждое скопление зерна исследовалось в отдельности. При этом пробы брались из центра и по краям скопления, а также в участках между двумя скоплениями. Из больших скоплений зерна было взято много проб.

Анализ проб зерна показал, что жители Ассироса выращивали по крайней мере семь видов зерновых. Нам удалось идентифицировать три вида пшеницы: однозернянку (*Triticum monococcum*), двузернянку, или полбу, (*T. dicoccum*) и спельту (*T. spelta*). Зерна двух других видов пшеницы — яровой (*T. aestivum*) и твердой (*T. durum*) — неотличимы друг от друга. Поскольку эти зерна

присутствовали в скоплениях, то, возможно, выращивался какой-нибудь один из этих видов пшеницы либо оба ее вида. Помимо пшеницы культивировали по крайней мере еще два вида злаков: шестирядный ячмень (*Hordeum vulgare*) и просо посевное. Были обнаружены также семена бобовых — горошка Эрвиля (*Vicia ervilia*). Урожай этих культур, вероятно, составлял основу пищи жителей Ассироса. Возможно, что зерно шло главным образом на приготовление хлеба и каши.

МНОЖЕСТВО проб из различных участков скоплений зерна в хранилищах позволили получить информацию не только о количестве выращивавшихся культур. Например, на основе анализа этих проб можно было сделать предположение о том, какие зерновые выращивались и хранились отдельно. Почти бесприемные пробы пшеницы однозернянки, проса и горошка показали, что урожай этих культур хранился и, возможно, выращивался отдельно. Преобладание яровой или твердой пшеницы, а также ячменя в некоторых пробах говорит о том, что эти культуры выращивались отдельно. Более сложным оказался анализ проб пшеницы двузернянки и спельты. Каждая из этих проб содержала два названных вида пшеницы, хотя отношение количества одного вида к другому в пробах было неодинаковым. По-видимому, двузернянка и спельта выращивались и хранились вместе. В этом

отношении они напоминают *maslin* — смесь посевов пшеницы с ячменем, что и сейчас можно встретить на полях некоторых греческих фермеров. Поскольку условия произрастания этих двух видов пшеницы не совсем одинаковы, их совместное выращивание уменьшает риск полного неурожая.

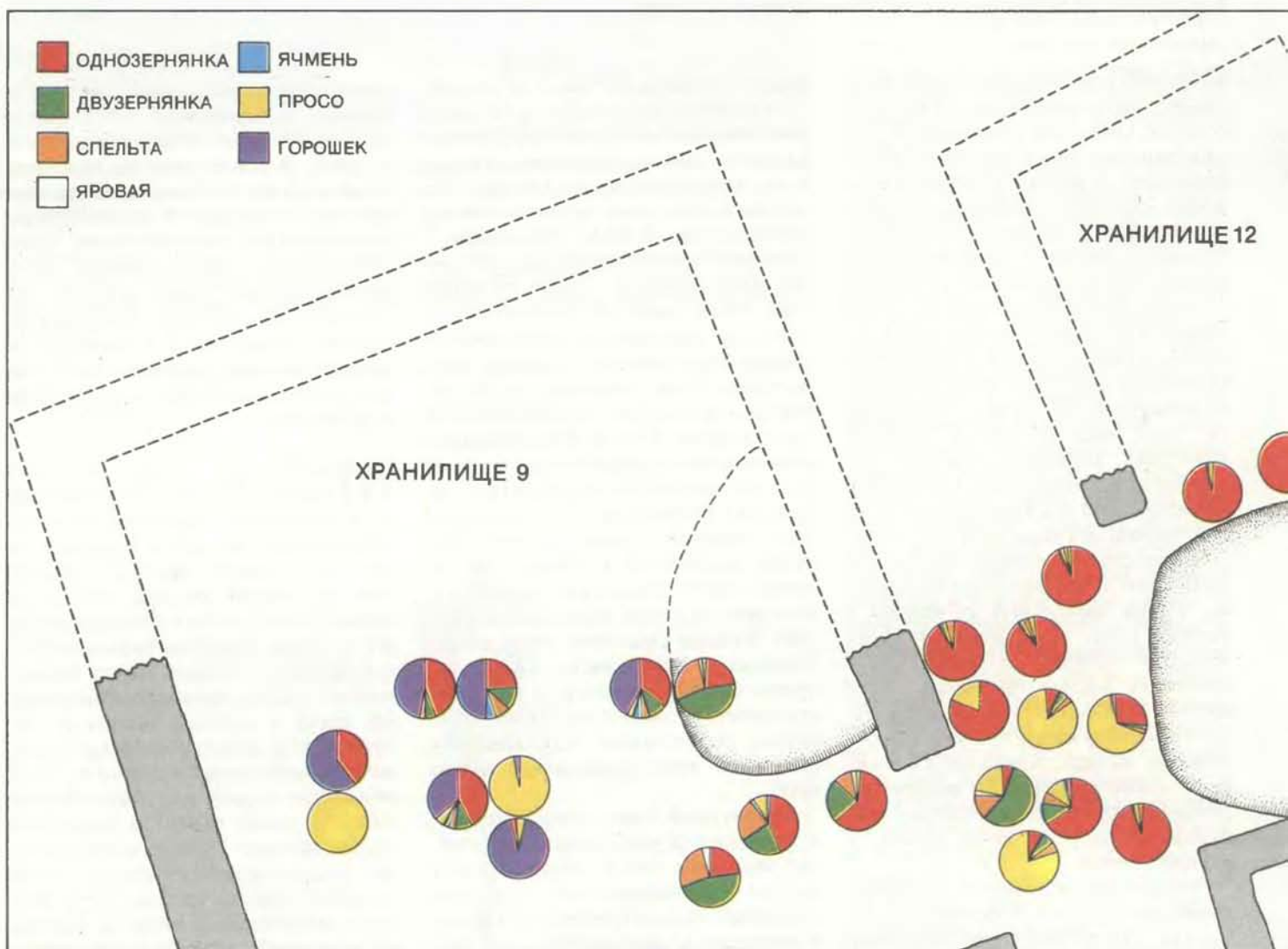
Разнообразие зерновых культур, которые выращивали в Ассиросе, также, вероятно, было благоприятным фактором. Посев и жатва каждой из этих культур (пшеница однозернянка, яровая, твердая, просо, ячмень и горошек), обнаруженных в хранилищах, помимо смеси пшеницы двузернянки и спелты осуществлялись в различное время. Поэтому выращивание стольких видов зерновых распределяло периоды напряженного земледельческого труда по всему году. Кроме того, поскольку произрас-

тание каждой культуры неодинаково зависит от климатических условий и выпадения осадков, то выращивание различных культур давало возможность избежать губительного влияния капризов погоды.

Указанные выше культуры не только сеяли и жали в различное время, но и, вероятно, хранили по-разному. Г. Хиллмэн из Лондонского университета изучал, как в настоящее время обрабатывают урожай в небольших сельских селениях, включая деревни в Турции. Поскольку их способы хозяйствования примерно таковы же, как и в греческих культурах бронзового века, работа Г. Хиллмана может помочь установить, как обрабатывали урожай в те древние времена. Результаты его работы позволяют предположить, что жатву и обмолот некоторых культур производили полностью и только затем помешали нужное ко-

личество зерна в хранилище. В древнем Ассиросе к таким культурам, вероятно, относились ячмень, просо, пшеница яровая и твердая, а также горошек. Для отделения семян от остальной части растения этим культурам достаточно одного обмолота, после чего их веяли и просеивали. Зерно поступало в хранилище готовым к приготовлению из него пищи.

Другие зерновые требуют два этапа обработки, и урожай мог поступать на хранение после каждого из этапов. К этим зерновым относятся пшеница однозернянка, двузернянка и спелта. Их семена заключены в плотную оболочку, называемую колосковой чушуйей, и эти три вида пшеницы известны как пленчатая пшеница. Вместе зерно и оболочку называют вторичным колоском. Колос состоит из многих вторичных колосков, соединенных со стеблем. Для перера-



АНАЛИЗ ПРОБ ЗЕРНА, обнаруженного на полу хранилищ, позволил получить важные сведения о хранении продуктов земледелия в Ассиросе. По этим пробам было идентифицировано по крайней мере семь видов зерновых. Среди

них четыре вида пшеницы: однозернянка, двузернянка, спелта и яровая, а также ячмень, просо и горошек. Кружочками отмечены места взятия проб и указаны относительные количества каждого из семи видов зерновых в

ботки урожая в пищевой продукт пшеницу сначала обмолачивают, с тем чтобы вторичные колоски отделились от колоса. Смесь колосков и колосьев затем провеивают, чтобы остались одни колоски, которые обмолачивают еще раз для отделения зерна от чешуи. Очищенное зерно получают просеиванием или вторичным провеиванием.

СПОСОБ обработки пшеницы в два этапа давал возможность хранить зерно в двух видах: как вторичные колоски после первого обмолота и как очищенное зерно после второго обмолота. Хранение в виде вторичных колосков имело два преимущества. Одно из них состояло в том, что обмолот этих колосков — труд сам по себе очень тяжелый — можно было производить не сразу, а в течение года, по мере необходимости

в очищенном зерне. Кроме того, колоски более устойчивы к воздействию бактерий и насекомых, чем очищенное зерно. По-видимому, именно этим преимуществами можно объяснить, почему жители Ассиросы хранили некоторую пшеницу в виде вторичных колосков. Нами были обнаружены остатки пленчатой пшеницы, содержавшие не только вторичные колоски, но и в большом количестве чешую.

До сих пор речь шла о том, как на основе многочисленных проб остатков растений была получена информация о количестве культур, которые выращивались в Ассиросе, а также об обработке урожая и его хранении. Однако подобный метод помог ответить и на другие, более конкретные вопросы, например: сколько кувшинов каждого продукта хранилось в том или ином хранилище? На его ос-

нове возможно определить по крайней мере минимальное число сосудов для каждой культуры в конкретной части хранилища. Например, если в каком-либо углу хранилища обнаружены два скопления зерна ячменя, разделенные скоплением пшеницы однозернянки, то это означает, что там находились по крайней мере три вместилища — два под ячмень и одно под пшеницу.

То, что такой анализ позволяет определить только минимальное число сосудов, объясняется тем, что скопление, скажем, пшеницы однозернянки может содержать зерно одного вида из двух кувшинов, стоявших рядом, когда произошел пожар. Однако сопоставляя минимальное количество сосудов и число ямок под пифосы, можно установить примерное число сосудов для зерна каждой культуры. Наиболее успешно этот метод был применен при исследовании хранилища 9, где на уцелевшей части пола было обнаружено несколько отдельных скоплений зерна: два скопления пшеницы однозернянки, два — пшеницы двузернянки со спельтой, два — проса и одно — горошка. Мы уже говорили, что в полу этого хранилища было по крайней мере шесть ямок под пифосы. Исходя из этого, можно заключить, что в уцелевшей части хранилища 9 находилось не менее семи кувшинов и что скопления зерна соответствуют содержанию этих кувшинов. Подобным образом, на полу хранилища 14 было обнаружено 8 скоплений зерна и имелось не менее 10 ямок под пифосы. Установить, как размещались сосуды в этом хранилище с той же определенностью, как и для хранилища 9, не удалось, так как зерно в одном или более скоплениях, вероятно, было из нескольких кувшинов. Тем не менее изучение проб вместе с анализом растительных остатков позволило составить правдоподобное описание того, как хранилось зерно в каждом хранилище.

Анализ системы хранения в каждом отдельном хранилище выявил удивительный факт: в каждом из трех хранилищ находился разный набор зерновых культур. Среди скоплений зерна в хранилище 9, о которых говорилось выше, не были обнаружены скопления яровой и твердой пшеницы. Эта пшеница находилась только в хранилище 14. С другой стороны, горошек был обнаружен только в хранилище 9. Просо отсутствовало в хранилище 12. Неодинаковое распределение зерна весьма существенно для понимания того, как функционировали хранилища. Однако для выявления общей картины необходимо



пробе. Исходя из того, что в некоторых пробах преобладает зерно одной из культур, можно сделать предположение, что зерно лежало практически нетронутым с 1350 г. до н. э. Поэтому с помощью проб узнают, как хранилось зерно.

учитывать еще несколько факторов. Прежде всего отметим, что вместимость хранилищ комплекса намного больше, чем необходимо для одного хозяйства. Исходя из этого, можно заключить, что либо каждое хранилище принадлежало одной семье, либо

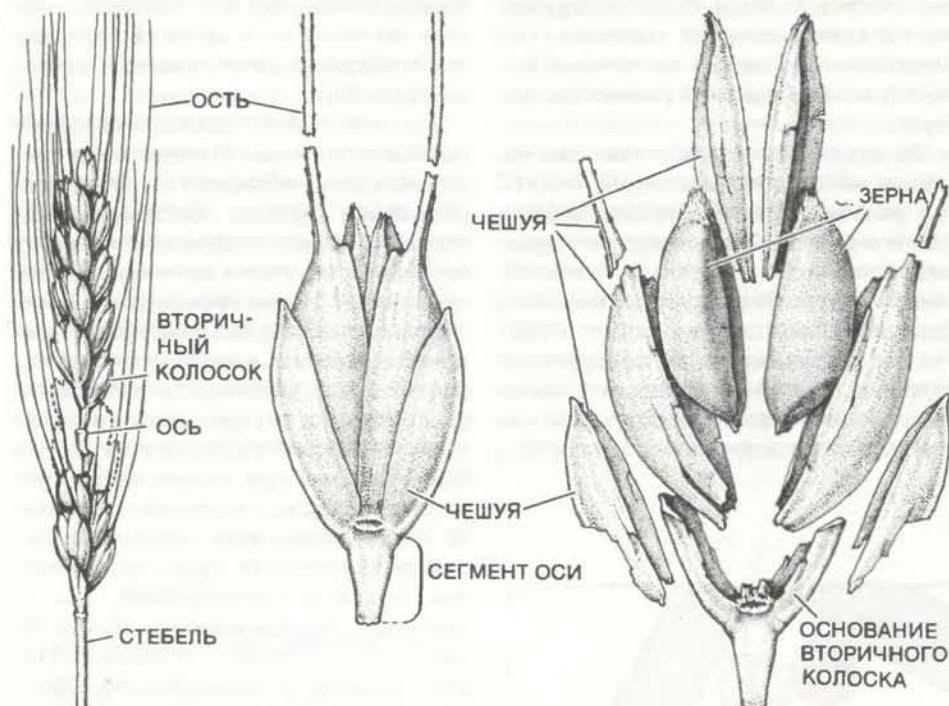
весь комплекс представлял собой общинное хранилище.

ИМЕЮТСЯ веские основания полагать, что хранилища не использовались отдельными семьями. В каждом из этих хранилищ отсутст-

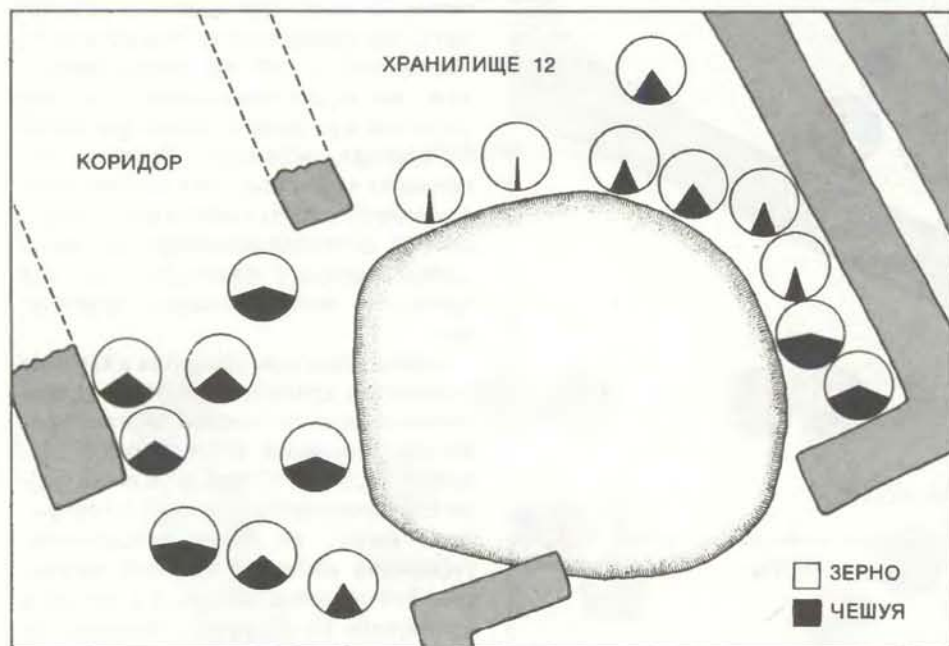
вует зерно по крайней мере одного вида растения, обладающего как сельскохозяйственная культура очень важными свойствами. Например, ячмень, который выращивается сегодня на многих островах Греции как «малорискованная» культура, отсутствует в хранилищах 9 и 14. Просо, отсутствующее в хранилище 12, засевалось в период, когда сельскохозяйственные работы были наименее напряженными. Горошек, отсутствующий в хранилищах 12 и 14, хорошо «вписывался» в цикл жатвенных работ. Таким образом, любая семья, которая выращивала бы только культуры, представленные в отдельном хранилище, намного осложнила бы себе труд, если бы ей не были доступны преимущества последовательной уборки урожая всех культур. Кроме того, рацион тех семей, которые владели бы хранилищами 12 и 14, оказался бы гораздо ниже оптимального. Горошек, отсутствующий в этих хранилищах, является превосходной питательной добавкой к зерновым культурам.

Предположим теперь, что три хранилища составляли часть единого комплекса. В этом случае группа людей, в чьем распоряжении находился комплекс, пользовалась бы всеми запасами зерна. Подтверждением тому, что хранилища составляли единое целое, являются архитектурные особенности комплекса. В отличие от большинства проходов в поселении проходы, соединившие хранилища, не были покрыты песком. На основании этого можно предположить, что проходы первоначально находились под крышами, которые объединяли хранилища в одно сооружение. Кому же принадлежал этот комплекс? Размер и вместимость хранилищ говорят о том, что хранившийся в них урожай мог принадлежать только всей общине или значительной ее части. Очевидно, то, что мы обнаружили в Ассиросе, представляет собой коллективный объект. Его использование требовало сотрудничества между жителями этого поселения.

Не следует считать, что поселение в Ассиросе имело только хранилища 9, 12 и 14. Возможно, что отдельные семьи хранили продукты в своих жилищах. Обнаруженный нами комплекс хранилищ следует рассматривать не как единственное амбарное сооружение для всей общины, но как хранилище, где держали часть запасов общих подкутков, с помощью которых община страховала себя от неурожая. Такие запасы создавались путем обязательных натуральных сборов с общины; возвращались же они обратно отдельным членам общины за выполнение различной работы для общих нужд, например за помощь в



ПЛЕНЧАТАЯ ПШЕНИЦА получила свое название из-за чешуи, окружающей зерно. В Ассиросе выращивались по крайней мере три вида пленчатой пшеницы: однозернянка, двузернянка и спельта. На рисунке изображена пшеница двузернянка. Каждый вторичный колосок в колосе, содержащий два зерна, соединен с осью — частью стебля внутри колоса. При первом обмолоте пшеницы вторичные колоски (в центре) отделяются от колоса. После второго обмолота остается очищенное от чешуи зерно (справа).



ОТНОШЕНИЕ КОЛИЧЕСТВ ЧЕШУИ И ЗЕРНА в пробах пленчатой пшеницы позволяет узнать, как хранилось зерно. Пшеница может храниться в виде колосков после первого обмолота или как очищенное зерно после второго обмолота. На зерне, поступившем в хранилище после первого обмолота, чешуя в основном сохранилась. Большое количество чешуи в пробах зерна из хранилища 12 говорит о том, что в Ассиросе по крайней мере часть пленчатой пшеницы засыпали на хранение сразу после первого обмолота.

перестройке оборонительной стены. Точную природу социального механизма, соответствующего такой форме хранения, пока восстановить невозможно. Тем не менее есть все основания предполагать о существовании определенной кооперации между членами общины, и это может воссоздать картину поселения эпохи бронзы.

СПОСОБНОСТЬ к координированной деятельности ставит Ассирос выше уровня обычного земледельческого поселения. Помимо этого заключения трудно сказать что-либо более определенное относительно экономической и социальной структуры этой общины. Один из возможных подходов к изучению отношений поселения в Ассиросе с окружающим населением состоит в исследовании «системы перераспределения». Известно, что такие системы существовали в бронзовый век в ранних культурах Передней Азии, например, в Шумере и в Угарите. Система отношений, существовавшая вокруг дворцов минойской и микенской культур, также считается системой перераспределения.

В системе перераспределения правители, находившиеся в центре, которым мог быть дворец, храм или город, имели право взимать с местного населения определенные продукты и трудовые повинности. В ответ правители должны были давать населению продукты или сырье, а также обеспечивать военную защиту или проведение ритуальных обрядов. Важной особенностью такой системы взаимных обязательств, о существовании которой свидетельствуют глиняные таблички, обнаруженные в храмах Ближнего Востока и во дворцах Кносса и Пилоса, является отсутствие денег и рынков. Потребности каждой стороны удовлетворялись по установившимся обычаям, которые обеспечивали свободное обращение продуктов без денежного обмена или товарных сделок.

Ассирос-Тумба был определенно менее значительным поселением, чем монументальные дворцы бронзового века. Возможно, это поселение следует рассматривать как «протодворцовое», т. е. такое, которое при соответствующих условиях могло бы превратиться в полностью развитый перераспределительный центр. Исходя из этого, можно сделать некоторые предположения относительно того, что будет обнаружено нами в будущем. Любой перераспределительный центр независимо от его размера и степени развития должен был поддерживать разносторонние связи с окружающими поселениями. Для от-

крытия поселений, которые были расположены вокруг Ассирос-Тумбы, мы планируем обследовать прилегающие к нему районы.

В центре проживала обычно только часть населения, входившего в данную систему перераспределения. Если Ассирос-Тумба действительно был средоточием такой системы, то на самом холме, возможно, жила только та часть населения, которая занималась строительством и перестройкой оборонительной стены. Остальное население могло жить в близлежащих поселениях и помогало в сооружении укрепления в обмен на предоставление ему защиты, пищи и т. п. Возможно, что в самом Ассирос-Тумбе проживало всего 50—100 человек. Для того чтобы проверить справедливость данного предположения потребуются дальнейшие раскопки холма.

Древние системы перераспределения находятся в настоящее время в центре внимания археологов и антропологов, поэтому раскопки в Ассирос-Тумбе могут внести существенный вклад в изучение этих систем. Одним из наиболее важных является вопрос о происхождении систем перераспределения. Хотя ответ на этот вопрос еще не найден, наиболее обещающим является предположение, что эти системы защищали земледельческие общины от голода, обеспечивая хранение излишков продуктов. В подтверждение этого предположения уместно вспомнить библейскую легенду об Иосифе. Поступая так, как подсказало ему сновидение, и запасая излишки продуктов в течение семи урожайных лет, чтобы прокормиться в последующие семь неурожайных лет, Иосиф как бы выполнял роль центральной власти в системе перераспределения.

Если в ходе раскопок мы установим, что комплекс хранилищ не заменил, а служил дополнением к кладовым в отдельных жилищах, то это будет подтверждением предположения, что система перераспределения служила для того, чтобы повысить устойчивость земледельческого хозяйства. Из этого в свою очередь будет следовать, что комплекс был не просто централизованной системой коллективного хранения продуктов для повседневного пользования, а местом хранения запасов продуктов. Таким образом, раскопки в Ассирос-Тумбе помогут ответить на многие теоретические вопросы. Однако все это предстоит в будущем.

СЕЙЧАС можно сказать, что результаты раскопок холма намного превосходили наши ожидания. До раскопок мы мало знали о том, какие напластования можно будет обнару-

жить в Ассиросе. Поначалу мы просто рассчитывали обнаружить остатки поселения бронзового века, насчитывавшего 40—50 хозяйств, независимых друг от друга, полагавшихся лишь на свой труд и не имевших социальных установлений, которые могли бы объединить эти хозяйства в общину. Вместо этого мы обнаружили общину, в которой, очевидно, существовали сложные механизмы социального сотрудничества, включая, возможно, систему перераспределения как труда, так и излишков продуктов земледелия. В этом плане Ассирос представляет намного больший интерес, поскольку, с одной стороны, он напоминает великие дворцовые города южной Греции, а с другой — простое земледельческое поселение. В предстоящие годы будет известно намного больше о том, как зарождались хозяйства в дворцах бронзового века, и в неمالой степени этому будут способствовать результаты раскопок в Ассиросе.

Издательство
МИР
предлагает:

АНОРГАНИКУМ

В 2-х томах, 4-х частях

Под редакцией Л. Кольдичца

Перевод с немецкого

Книга из серии учебных лабораторных руководств типа «Органикума» (М.: Мир, 1979) и «Аналитикума» (в русском издании — «Руководство по аналитической химии». — М.: МИР, 1975). В ГДР книга выдержала 11 изданий. Посвящена неорганической химии с изложением основ физической и аналитической химии. Приведен соответствующий лабораторный практикум.

Книга предназначена для студентов и преподавателей высших и средних химических и химико-технологических учебных заведений.

1984, Т.1 — 43 л. Цена 2 р. 50 к.
Т.2 — 41 л. Цена 2 р. 40 к.



Спортивная одежда и обувь

Повышенное внимание к проектированию спортивного снаряжения способствовало завоеванию новых рекордов в скоростных видах спорта, повышению безопасности и улучшению результатов в других видах спортивных состязаний

ЧЕСТЕР Р. КАЙЛ

РАССМАТРИВАЯ старые спортивные фотографии, можно заметить разительные перемены, которые произошли за 50 лет в спортивном снаряжении и одежде. Тогда, в 30-е годы, футболисты* играли в тонких шлемах, свободных трусах и легких щитках, бейсболисты — в мешковатых шерстяных костюмах, а женщины-теннисистки — в длинных юбках. Видно, что в то время мало уделялось внимания соответствию снаряжения тому или иному виду спорта. В настоящее время создание спортивной одежды поставлено на научную основу. В самом деле, в скоростных видах спорта правильно спроектированная одежда может помочь спортсмену опередить своих соперников. В других видах спорта она может существенно повысить его спортивные результаты или обеспечить лучшую защиту от травм.

Каждый вид спорта предъявляет свои специфические требования к спортивной одежде и снаряжению. Рассмотреть все эти требования в рамках данной статьи не представляется возможным, равно как и перечислить все достижения в области конструирования спортивной одежды и снаряжения за счет применения новых материалов и инженерного подхода к данной проблеме. Поэтому ограничимся анализом лишь аэродинамических свойств спортивной одежды и снаряжения, спортивной обуви для легкоатлетов и спортивных шлемов.

Совершенные с точки зрения аэродинамики одежда и снаряжение очень важны для лыжников, конькобежцев, велосипедистов, саночников и т. п. В этих видах спорта скорости настолько высоки, что сопротивление воздуха становится основной силой, препятствующей движению спортсмена. Испытания в аэродинамической трубе и в естественных условиях показали, что уменьшением аэродинамического сопротивления можно добиться

существенного повышения спортивных результатов.

Аэродинамическое сопротивление самого спортсмена можно уменьшить тремя способами. Наиболее простым и обычным является изменение положения тела по отношению к набегающему потоку воздуха. Лыжники-слаломисты, конькобежцы и велосипедисты приседают, наклоняют корпус вперед, принимая удобную позу, что значительно уменьшает лобовое сопротивление тела и улучшает аэродинамику. В соревнованиях по прыжкам в воду с вышки прыгуны перед входом в воду стремятся вытянуться «в струнку», чтобы уменьшить до минимума лобовое сопротивление. В других видах спорта в такой крайней мере нет необходимости, хотя, например, саночники добиваются того же эффекта, придавая корпусу почти горизонтальное положение.

Вторым способом снижения лобового сопротивления является разработка одежды и снаряжения, которые придадут телу спортсмена обтекаемую аэродинамическую форму. Примером могут служить шлемы, в которых выступала команда велосипедистов США на Олимпийских играх 1984 г. По форме они напоминали фюзеляж кабины реактивного самолета.

Третий способ — это применение гладкой и плотно облегающей одежды, снижающей до минимума трение при контакте с воздухом. По этой причине гладкие, плотно облегающие «аэродинамические» костюмы стали обычными в скоростных видах спорта. Применение их в конькобежном и велосипедном спорте по сравнению с обычными позволяет снизить сопротивление воздуха на 6—10%.

НАЧИНАЯ с 1982 г. автор совместно с П. Ванвалькенбургом, своей женой Дж. Кайл и другими коллегами занимался разработкой и испытанием одежды, шлемов и элементов велосипедов для сборной команды велосипедистов США. Было установлено, что при скорости 48 км/ч на

гладкой горизонтальной дороге сопротивление воздуха составляет около 90% общей силы сопротивления, действующей на велосипед. Остальные 10% приходятся на сопротивление трения качения шин и трения в подшипниках, причем около двух третей всего аэродинамического сопротивления приходится на долю велосипедиста. Таким образом, наибольшее выигрыша в скорости можно добиться, улучшая аэродинамику самого велосипедиста. На основе этого вывода Ванвалькенбург разработал новый шлем для велосипедистов.

Испытания в аэродинамической трубе, проведенные в Техасском университете сельского хозяйства и техники, показали, что разработанный нами прототип одежды и шлема для велосипедистов может уменьшить общее лобовое сопротивление на 6% по сравнению с лучшими прежними образцами. В гонках с преследованием на 4000 м это могло улучшить рекордное время на целых три секунды. И действительно, американские велосипедисты, использовавшие подобное снаряжение, завоевали много медалей в международных состязаниях.

П. Ванвалькенбург, П. Кавана, Дж. Лэмби и автор этой статьи разработывали также образцы обтекаемой обуви для велосипедистов. Расчеты показали, что такая обувь может дать дополнительный выигрыш во времени, равный 1,5 с в гонке на 4000 м. Однако до настоящего времени новые образцы обтекаемой обуви не были испытаны во время соревнований ввиду некоторых трудностей подгонки обуви к человеческой ноге, а также из-за опасения, что ее применение могло бы противоречить международным правилам, запрещающим использование различных обтекателей в обычных велогонках.

В легкой атлетике лишь совсем недавно было доказано, что одежда спортсмена может существенно влиять на его скорость, хотя до этого многие указывали на важность учета аэродинамического сопротивления, которое приходится преодолевать бе-

* Имеется в виду американский футбол. — Прим. перев.

гунам. В беге на средние и длинные дистанции около 6% всей энергии затрачивается на преодоление сопротивления воздуха. В олимпийских соревнованиях максимальные скорости бегунов варьируют от 19,3 км/ч в марафоне до 43,4 км/ч в стометровке. Проведенные недавно испытания в аэродинамической трубе показали, что преодолеваемое бегуном сопротивление воздуха можно уменьшить на 2—6%, если произвести небольшие изменения формы и качества его одежды.

Оказалось, что основными факторами аэродинамического торможения бега являются складки свободно висящей одежды и длинные волосы. Даже грубые длинные носки могут увеличить сопротивление примерно на 1% (по сравнению с голыми ногами). Плотная прилегающая шапочка может уменьшить аэродинамическое сопротивление примерно на 4%. Замена грубой и свободно висящей одежды гладкой и плотно облегающей может дать дополнительный выигрыш в 4%.

Влияние аэродинамического сопротивления на результаты спортсмена-бегуна трудно проверить на практике: предсказываемый выигрыш во времени оказывается меньше разброса результатов, показываемых бегунами в разных забегах. Однако в одном случае удалось показать благоприятный эффект уменьшения лобового сопротивления. В Мехико, который расположен на высоте 2255 м над уровнем моря, плотность воздуха примерно на 20% ниже, чем на уровне моря. Соответственно и аэродинамическое со-



АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СНАРЯЖЕНИЕ, разработанное автором с сотрудниками для велосипедистов-гонщиков, состоит из обтекаемых туфель и каплевидного шлема. Эти элементы в сочетании с плотно облегающим костюмом по-

зволяют снизить аэродинамическое сопротивление велосипедиста на 10%. На фотографии (сделанной на велодроме в Лос-Анджелесе) Стив Хегг, выигравший золотую медаль на Олимпиаде 1984 г.

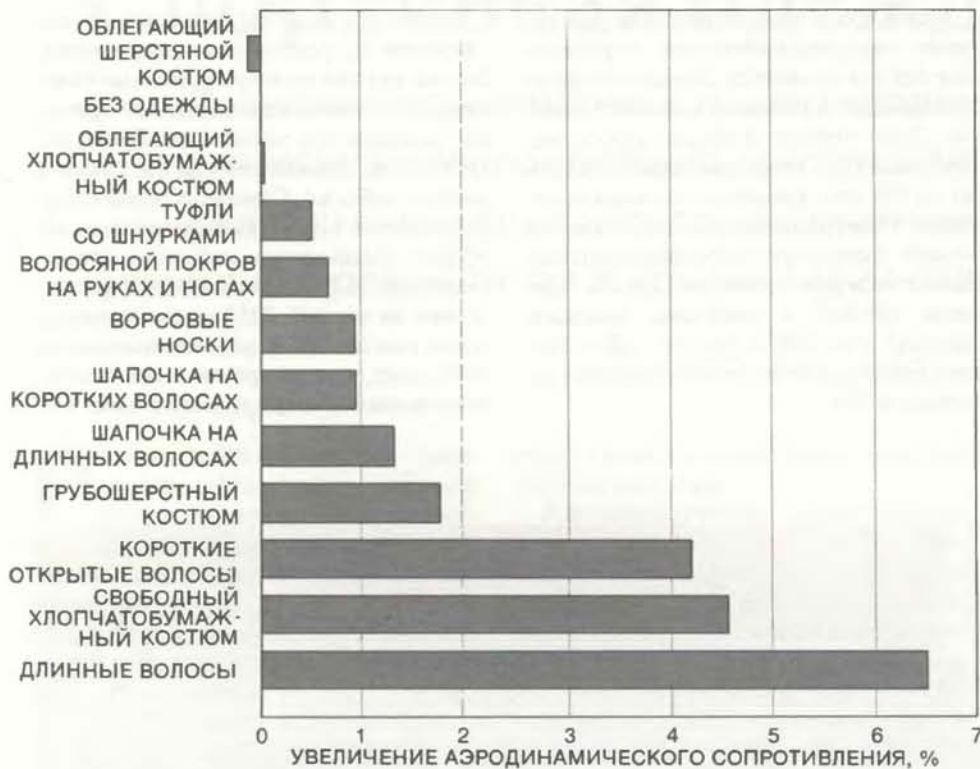
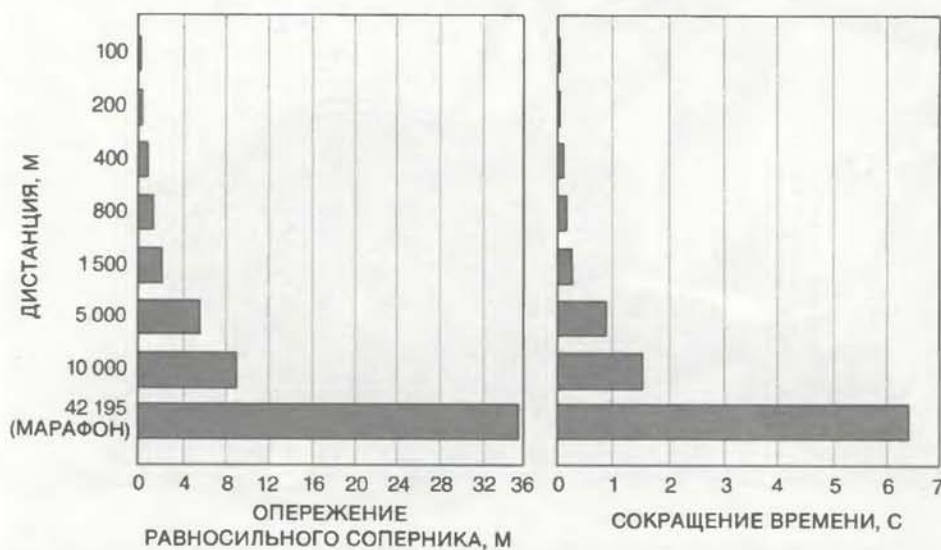


ДИАГРАММА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ различных типов одежды на сопротивление воздуха, преодолеваемое бегуном. Наименьшее сопротивление испытывает спортсмен, одетый в костюм из тонкой шерсти (даже меньше, чем голое тело): вероятно, шерстяные ворсинки оказывают примерно такой же эффект, что и ямки на мяче для игры в гольф.

противление также меньше на 20%. Результаты анализа, проведенного А. Уорд-Смитом из Брунельского университета в Англии, показали, что скорости бегунов-спринтеров в Мехико оказались на 1,7% выше результатов, зарегистрированных на стадионах, расположенных на уровне моря.

Используя математические моде-

ли бега на короткие и длинные дистанции, автор вычислил, что уменьшение аэродинамического сопротивления бегуна всего лишь на 2% может существенно помочь бегуну опередить его соперников: в забегах спортсменов с равными возможностями победитель может опередить соперников у финиша на 10 см в сто-



СНИЖЕНИЕ ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ может содействовать достижению спортсменом лучших спортивных результатов. Диаграмма показывает результаты снижения сопротивления на 2% за счет применения аэродинамически совершенной одежды или за счет естественных условий при беге в высокогорной местности.

метровке и на 30 м и более в марафоне. В международных соревнованиях расстояния, отделяющие победителя от его соперников, часто бывают еще меньше, так как спортсмены на такие забеги отбираются строже и меньше различаются по своим физическим возможностям. Поэтому улучшение аэродинамических характеристик одежды бегуна может дать ему некоторое преимущество в соревнованиях. В легкой атлетике в последнее время вошли в практику и начинают все шире применяться плотно облегающие костюмы, аналогичные тем, которые в других видах спорта используются уже давно.

СПЕЦИАЛЬНАЯ обувь для легкоатлетов-бегунов также является сравнительно недавним нововведением в этом древнем виде спорта. Официальные легкоатлетические соревнования были впервые проведены в Итоне в 1837 г., а в 1864 г. состоялся первый легкоатлетический матч между командами Оксфордского и Кембриджского университетов. Пара шиповок тех времен хранится в Центральном музее и художественной галерее в Нортгемптоне (Англия). К 1894 г. сложилась определенная форма шипованных беговых туфель, сделанных из легкой кожи, которая оставалась почти неизменной в течение последующих шестидесяти лет.

Первые туфли для бега на длинные дистанции имели высокий кожаный верх, а подметку и каблук из кожи или резины; они мало отличались от обычных ботинок. Конструкция туфель для бега на длинные и короткие дистанции начала существенно меняться в конце 50-х годов, но только лишь в 70-е годы благодаря конкуренции и появлению новой технологии новые прогрессивные виды спортивной обуви получили быстрое распространение.

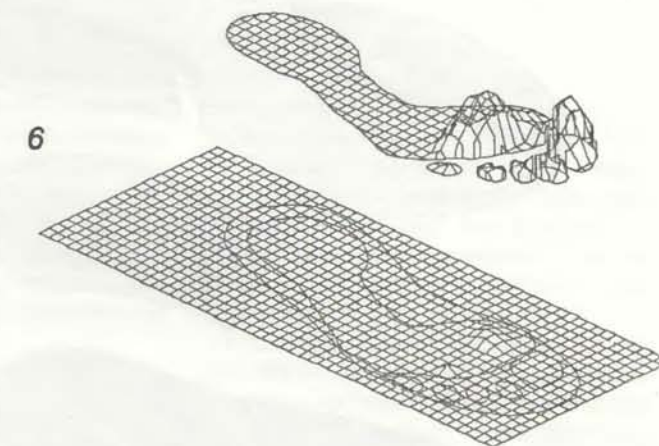
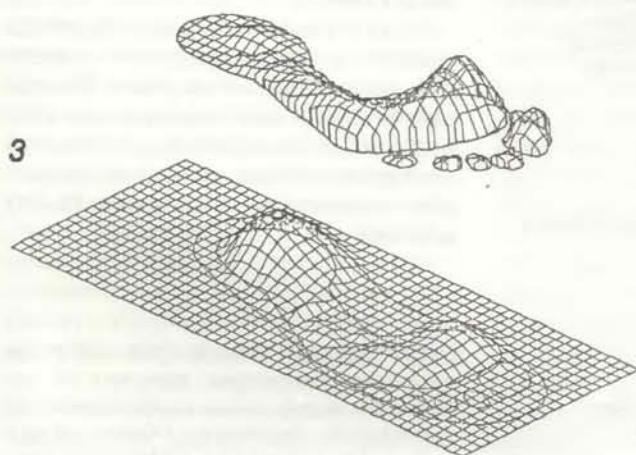
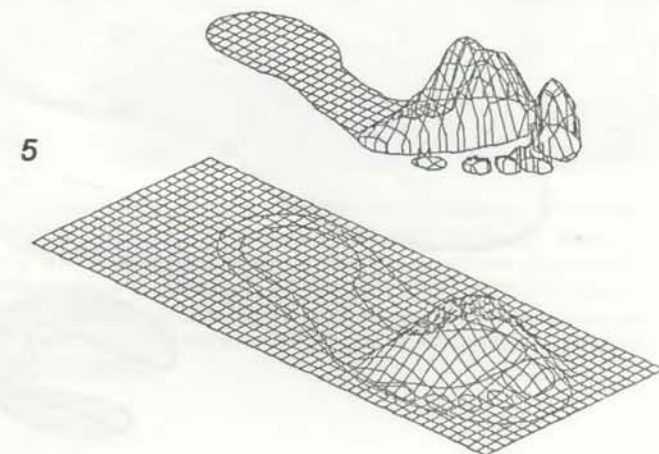
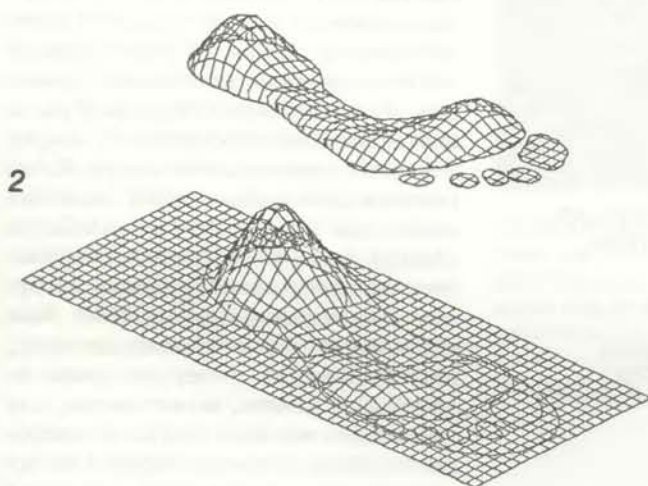
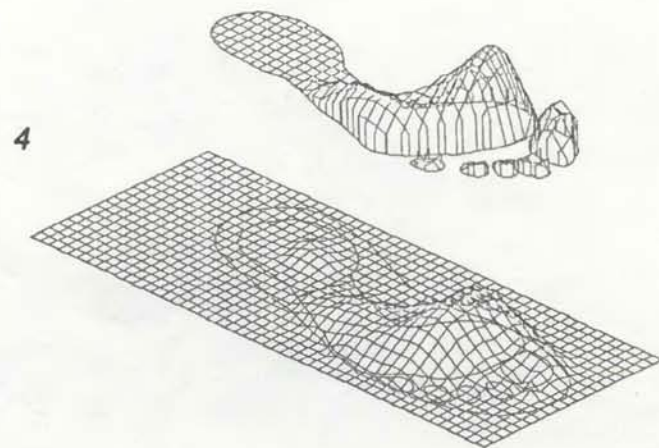
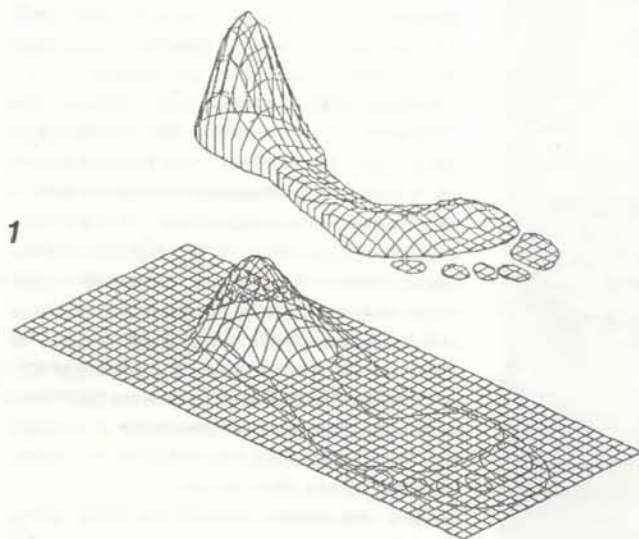
В значительной степени радикальным изменениям конструкции спортивной обуви для бега способствовали результаты проведенного в предшествующее десятилетие изучения основ механики бега. Специалисты по биомеханике подробно исследовали основные параметры бега, применяя высокоскоростную фотосъемку, видеокамеры, датчики давления, динамометры, приборы для измерения уровня поглощения кислорода и другую технику. В процессе исследования анализировался характер изменения параметров, описывающих движение стопы и ног, фиксировались время каждого элемента движения, силы, действующие на бегуна, и энергия, затрачиваемая спортсменом в каждом виде бега.

Обнаружилось, что с ростом скорости бегуна некоторые параметры претерпевают критические изменения: в частности, изменяются характер движения ног и стоп, действующие на них силы и энергетические затраты спортсмена на обмен веществ.

С увеличением скорости увеличиваются частота и длина махового шага. То же самое происходит со временем полета, т. е. временем, в течение которого ноги спортсмена не касаются земли. На спринтерских дистанциях время полета может составлять более

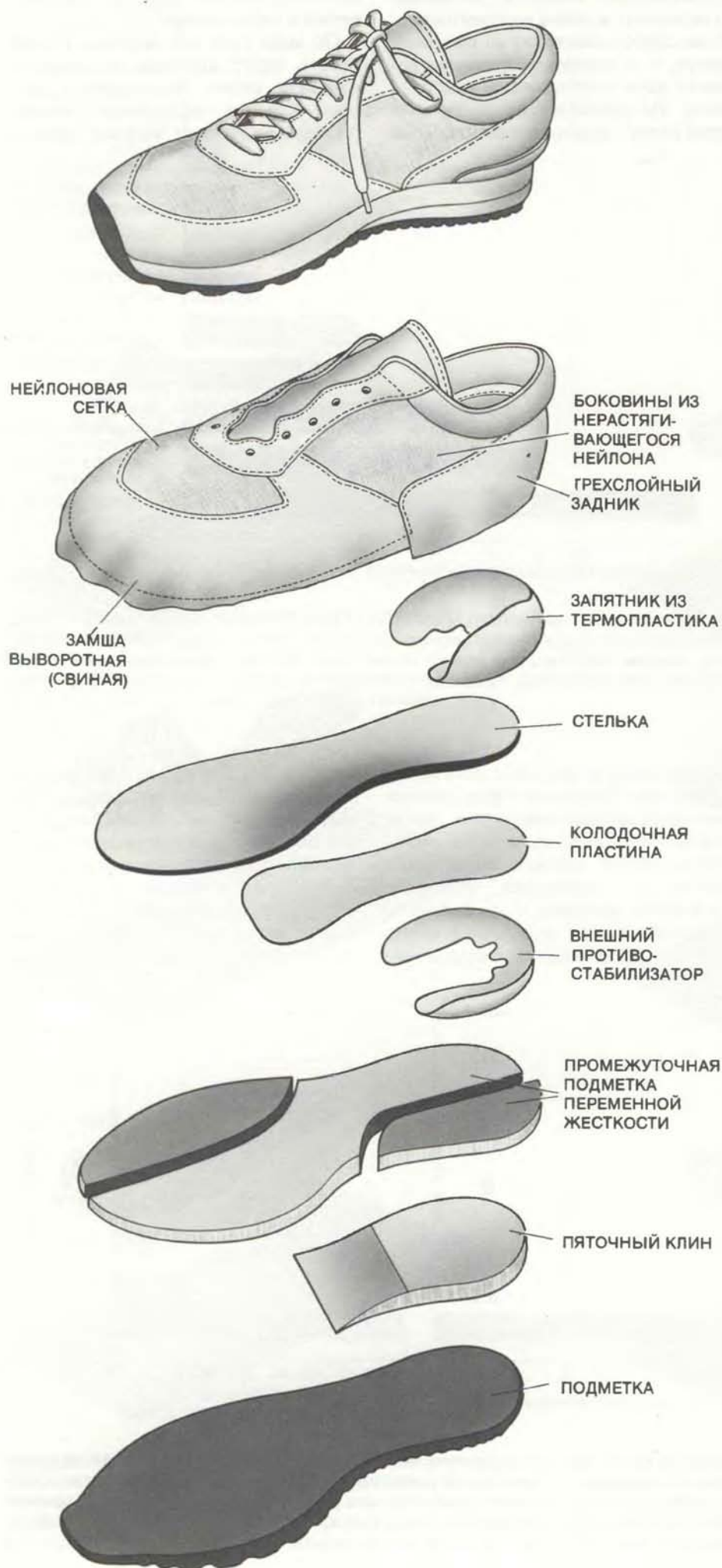
половины общего времени, затрачиваемого спортсменом.

По мере того как скорость бегуна растет, центр давления на площади контакта стопы перемещается вперед. Обычно медленные бегуны (стайеры) опускают ногу на заднюю



ЭПЮРЫ ДАВЛЕНИЯ босой правой ноги бегуна на жесткой поверхности и на пористой подушке, снятые в беговых испытаниях за время 500 мс после контакта стопы с дорожкой. Высота линий контура на эпюрах пропорциональна величине давления. Во всех случаях давление на жесткой

поверхности оказалось выше, чем на сжимаемой подушке (для соответствующих моментов времени). Аналогично беговой туфле подушка распределяет давление по большей площади и «гасит» ударную нагрузку. Результаты получены П. Кавана из Пенсильванского университета.



часть внешнего края стопы, тогда как спринтеры начинают касание с передней части внешнего края стопы. Установлено, однако, что 20% стайеров опускают ногу на переднюю часть стопы. П. Кавана, один из пионеров детального исследования спортивной обуви, установил в своих экспериментах, проведенных в Университете штата Пенсильвания, что американский марафонец Б. Роджерс вообще не касается земли пятками (при беге на горизонтальной трассе). Он мог бы носить туфли без каблуков.

Силы, действующие на бегуна, возрастают с увеличением скорости. Скорость, с которой стопа опускается на землю, увеличивается, равно как и максимальная сила реакции грунта, действующая на стопу. Кроме того, увеличивается потеря энергии при ударном контакте. С ростом скорости бега изменяются угол и скорость сгиба ноги в колене и бедре. Вероятно, таким способом организм автоматически приспособляется к тому, чтобы воспринимать возросшие ударные нагрузки без травм.

При высоких скоростях бега прогрессирует супинация стопы, т. е. перед касанием земли стопа как бы перекачивается наружу. После удара о землю, напротив, происходит пронация, т. е. поворот стопы внутрь, а центр давления перемещается вперед и ближе к средней линии стопы. Из-за высоких давлений и усилий, возникающих при беге, одной из наиболее важных функций беговой обуви является демпфирование ударных нагрузок. Сотрудники фирмы Nike, Inc. установили, что максимальная сила, действующая на стопу во время ее контакта с землей, может в три раза превышать вес тела бегуна, а ускорение, сообщаемое ноге, может в 10 раз превосходить нормальное ускорение силы тяжести.

Энергетические затраты на обмен веществ при беге возрастают в линейной зависимости от скорости. Так как с увеличением дистанции средняя скорость бега уменьшается, уровень потребления энергии на любых дистанциях составляет в среднем 70—90 ккал/км.

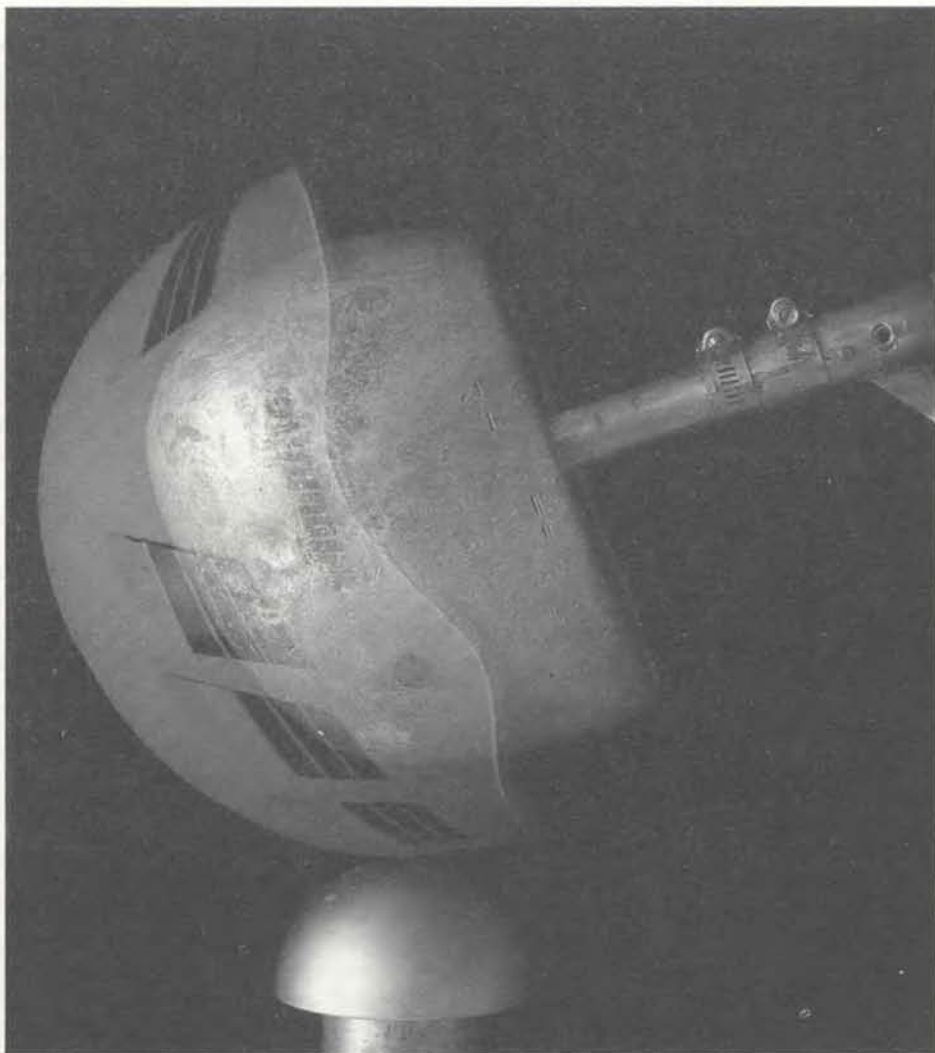
СПОРТИВНАЯ ТУФЛЯ ДЛЯ БЕГА на длинные дистанции: сверху — в собранном виде, ниже изображены ее составные элементы. Конструкция туфли обеспечивает смягчение ударов, создает удобную опору своду стопы и предотвращает излишнюю пронацию (перекачивание стопы вовнутрь) после контакта стопы с дорожкой. Пронация может приводить к травмам голеностопного сустава.

Эти и другие результаты экспериментов позволили разработать серию образцов спортивной обуви для различных видов бега. Например, спринтерские туфли имеют очень малый вес и снабжены тонкими шипами. Шипы необходимы, так как сила толчка спринтера при беге приближается к весу его тела. (На длинных дистанциях сила толчка обычно составляет около 40% веса тела, так что в шипах нет необходимости.) Шипы сконструированы таким образом, чтобы как можно меньше деформировать поверхность беговой дорожки и тем самым свести к минимуму энергетические затраты. Так как спринтер опускает ногу на внешний край стопы, туфли с внешнего края подметки имеют рубцы для уменьшения проскальзывания. Туфли прыгунов в высоту имеют иную конструкцию: туфля толчковой ноги имеет шипы, расположенные в соответствии со стилем движения спортсмена: туфля другой ноги значительно легче и не имеет шипов.

СОВРЕМЕННЫЕ туфли для бега на длинные дистанции имеют несколько характерных особенностей, позволяющих снизить травматизм и повысить спортивные результаты бегуна. В средней части подошвы они имеют утолщение из пенорезины для смягчения ударной нагрузки. В пяточной части заложены клин, приподнимающий пятку и тем самым разгружающий ахиллово сухожилие и предотвращающий тендинит (разрыв ахиллова сухожилия). Супинаторная выпуклость, жесткий запяточный и переменная жесткость подметки — все это позволяет ограничить подвижность стопы при касании о землю.

Некоторые элементы спортивных беговых туфель все еще обладают излишней мягкостью. В результате не достигается достаточно жесткой фиксации стопы в обуви, что приводит к излишней пронации. По некоторым данным, такая свобода ноги в обуви является причиной некоторых травм коленного сустава. Поэтому многие усилия проектировщиков спортивной обуви направлены на ограничение возможной пронации стопы. Перекачивание стопы внутрь можно предотвратить, подобрав соответствующую жесткость подметки и профиль стельки. Кроме того, внутреннюю часть пяточного клина можно сделать более жесткой, чем наружную. Эти меры, а также использование супинатора, подпирающего свод стопы, позволяют ограничить пронацию.

Нижний слой подметки выполняется из более жесткого и стойкого материала, чем промежуточный слой, по-



БОЛВАНКА, использовавшаяся в лаборатории фирмы Bell Helmets, Inc. в Норуолке (шт. Калифорния) для механических испытаний спортивных шлемов. На фотографии, сделанной с двойной экспозицией, хорошо видны и болванка, и шлем при ударе о полусферическую наковальню. В испытаниях измерялось отрицательное ускорение, сообщаемое болванке. Сравнение полученного результата с ускорением, измеренным при падении незащищенной болванки, позволяет судить об эффективности шлема.

скольку он должен обеспечивать нужное сцепление с грунтом, требуемую гибкость и долговечность, «гасить» ударные нагрузки и отвечать некоторым другим специфическим требованиям. Внутри беговые туфли облицовываются мягким и гибким материалом, а форма внутреннего пространства делается такой, чтобы обеспечить лучшую опору своду стопы (особенность, которая ранее была характерна только для ортопедической спортивной обуви).

Верх спортивной туфли имеет единственное назначение — удержать стопу на подметке. Если бы можно было приклеить подметку к стопе нераздражающим клеем, то верх был бы вообще не нужен. Таких «странных» туфель, правда, хватило бы только на один забег, и, кроме того, они могли бы быть причиной травматизма.

Стандартная беговая туфля обычно весит около 270 г, причем 30% приходится на вес верха. Поэтому проектировщики обуви стремятся сделать верх как можно легче. Кроме того, он должен обеспечить вентиляцию стопы и выдерживать длительные ударные нагрузки и истирание. Типичный верх, выполняемый, как правило, из нейлоновой сетки и композитного материала, вполне удовлетворяет этим условиям.

Стремясь усовершенствовать беговую обувь, технологи ищут легкие материалы, которые обладали бы высокой способностью демпфировать ударные нагрузки. В общем, чем легче туфли, тем меньше энергетические затраты бегуна. Э. Фредерик и Дж. Даниэльс из фирмы Nike проводили измерение субмаксимального потребления кислорода спортсменами-бегунами.

ми и установили, что уменьшение веса каждой туфли на 30 г уменьшает расход энергии бегуна на 0,28%. Однако они обнаружили и другой парадоксальный факт: мягкое выстиланье туфель отрицательно влияет на энергозатраты, в частности легкие туфли на мягкой пружинящей подкладке увеличивают расход энергии спортсменом.

ИДЕАЛЬНЫЕ материалы для беговой обуви должны обладать способностью поглощать удары без разрушения. Применяемые для этой цели пеноматериалы, к сожалению, сминаемы, т. е. с течением времени теряют упругость. Некоторые обувные фирмы выпускали пробные партии спортивной обуви с подметкой из пеноматериала, содержащего в порах сжатый газ. К сожалению, вес таких «воздушных» подметок оказался выше стандартных.

Ударопоглотительная способность материала зависит главным образом от его толщины. Более толстые материалы обеспечивают лучшую защиту от ударов. Теоретически материал,

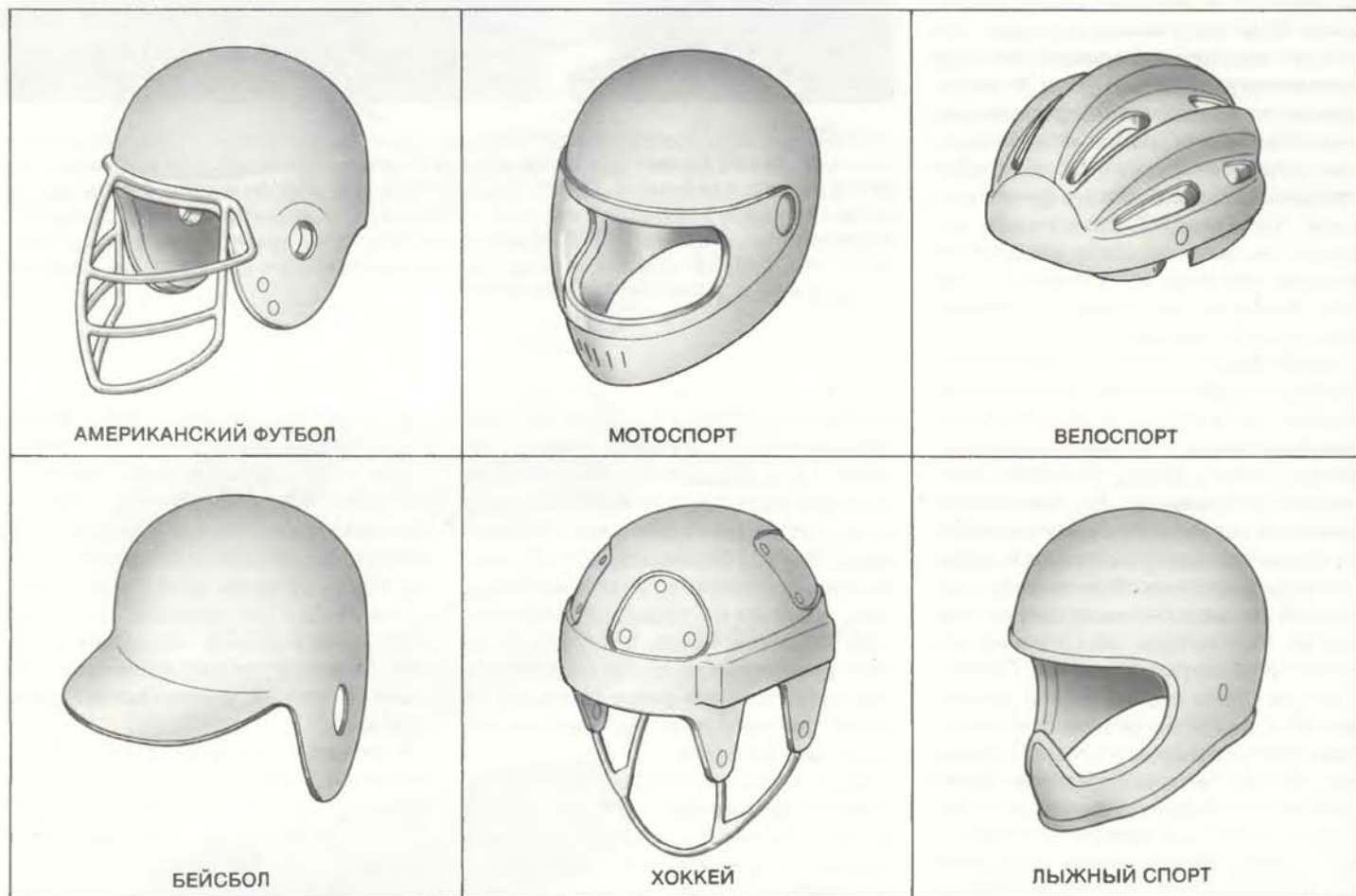
равномерно сжимающийся под нагрузкой и с постоянно уменьшающейся степенью сжимаемости по мере увеличения давления, обеспечивает минимальную силу реакции при контакте. Однако такой материал будет полностью поглощать всю энергию, не воздействуя на стопу. В результате эффективность бега существенно снизится. С другой стороны, идеально упругий (действующий как пружина) материал будет возвращать всю энергию стопе, но теоретически усилие сжатия в этом случае должно быть вдвое больше. Реальные материалы обладают некоторыми промежуточными характеристиками и возвращают стопе примерно 40% приложенной энергии.

Р. Банч с коллегами из фирмы Converse, Inc. проводил исследования, направленные на выявление условия, при котором реакция обуви на стопу максимально согласуется с шагом спортсмена и, стало быть, обеспечивается наибольший возврат энергии стопе. Это условие выполнимо, если при отрыве стопы от земли сжатый материал подметки расправляет-

ся с той же скоростью, с какой движется нога. Данный принцип был использован при проектировании искусственных беговых дорожек. Однако бегуны могут сильно отличаться друг от друга и массой тела, и характером распределения массы при беге, и манерой опускания стопы на землю, вследствие чего данное требование может быть удовлетворено только при изготовлении обуви по индивидуальным заказам, что приемлемо только для фирм, изготавливающих обувь для выдающихся спортсменов.

Заманчива идея бега без обуви (босиком) по дорожкам из эластичных искусственных материалов, которые находят все более широкое применение даже на открытых стадионах. Помимо того что при беге босиком отсутствует всякая дополнительная нагрузка на стопы бегуна, при этом еще исключается и пронация. Однако на жестких беговых дорожках обувь необходима.

ГОЛОВНОЙ шлем является, пожалуй, наиболее совершенно разработанным защитным элементом в



ОБРАЗЦЫ ШЛЕМОВ, применяемых в различных видах спорта. Шлемы для американского футбола и хоккея рассчитаны на многократное противостояние ударным на-

грузкам; остальные обеспечивают защиту от одиночного сильного удара.

спортивном снаряжении. Первая попытка провести испытания шлемов на научной основе была предпринята в США Фондом Снелла в Уэйкфилде (шт. Род-Айленд). Фонд назван в честь Питера Снелла, автогонщика, погибшего от черепных травм, полученных в скоростной автогонке. Фонд был основан в 1957 г. Дж. Снайвли и К. Чичестером; вместе со Снеллом они владели автомобилем, в котором разбился гонщик. Фондом Снелла были разработаны и в 1966 г. опубликованы методы испытаний и стандарты на шлемы для мотоциклистов и автогонщиков. Впоследствии эти стандарты были приняты ассоциациями мото- и автогонщиков по всей стране. В настоящее время Фонд Снелла издает стандарты на шлемы для лыжников, велосипедистов, мотоциклистов и конников.

Одним из параметров, обычно подвергаемых проверке, является сила удара, которую должен выдерживать шлем, сохраняя неповрежденной голову. При испытании шлем надевается на болванку, которую сбрасывают с высоты около 3 м на плоскую или полукруглую наковальню. Максимальное отрицательное ускорение головы-болванки при ударе измеряется акселерометром, вмонтированным в центре тяжести системы шлем — болванка. Физиологические исследования показали, что сотрясение мозга и другие ударные травмы головы могут быть минимизированы, если измеренное пиковое мгновенное значение ускорения не превышает 300 g. По нормам Фонда Снелла максимальное допустимое ускорение по модулю составляет 285 g; большинство автомобильных и мотоциклетных шлемов выдерживают ускорение ниже этого уровня. Более того, так как металлическая болванка не является точной копией человеческой головы, в смысле ее физической выносливости, то пиковые ускорения, измеренные в испытаниях, вероятно, соответствуют действительно допустимым для человеческой головы значениям ускорения, не превышающим 200 g.

Шлем считается не отвечающим своему назначению, если он не удерживается на голове при ударе или легко ломается и протыкается. Поэтому проводят дополнительные испытания, которые ставят своей целью измерение прочности ремешка и способности внешней оболочки шлема сопротивляться проколу острым предметом. Обычно внешнюю оболочку делают из стекловолокна или формованного под давлением пластика. Из этих двух материалов стекловолокно прочнее и долговечнее.

Большинство современных шлемов

для мотоспорта имеют внутреннюю ударопоглощающую подкладку из сжимаемого пенополистирола или гибкого или жесткого пенополиуретана. Как и в спортивной обуви, сжимаемые материалы подкладки являются здесь идеальным поглотителем энергии. Шлемы для мотоциклистов, конников, лыжников, велосипедистов и бейсболистов могут быть рассчитаны на одиночный сильный удар, так что сжимаемая подкладка здесь вполне уместна. В игровых видах спорта с силовыми приемами, таких, как американский футбол или хоккей, шлем должен обеспечивать многократную защиту от ударов, и поэтому подкладка должна быть сделана из упругого материала.

Во многих других видах спорта конструкция шлема в большей степени определяется сложившимися традициями и опасением, что шлем может мешать спортсмену, чем соображениями безопасности. По существующим нормам, шлем отбивающего (бэттера) в бейсболе должен обеспечить надежную защиту от удара мяча, летящего со скоростью около 100 км/ч, хотя многие подающие (питчеры) даже в студенческих командах обладают значительно более мощным ударом. Так как тип удара полностью предсказуем, современная технология в состоянии разработать бейсбольный шлем, обеспечивающий надежную защиту игроков.

Аналогичная ситуация наблюдается в велосипедном спорте. Традиция здесь так сильна, что многие гонщики не защищают голову или надевают кожаную сеточку для волос, которая не обеспечивает надежной защиты головы и не удовлетворяет стандартам Фонда Снелла или Национального института стандартов США. Так как скорости в велосипедных гонках часто превышают 40 км/ч, удар головой о землю при падении может привести к смерти или тяжелой травме. В испытаниях болванку, защищенную легкой кожаной сеточкой, бросали с высоты 2 м на плоскую наковальню. Измерения показали, что голова велосипедиста с такой защитой может при ударах испытывать отрицательные ускорения выше 700 g. Некоторые фирмы выпускают шлемы, предохраняющие головы велосипедистов даже от значительно больших нагрузок: в подобных испытаниях измеренные ускорения болванок под такими шлемами не превышали 170—270 g.

В ТЕЧЕНИЕ последних 15 лет В. Ходжсон с коллегами из Медицинской школы при Уэйкском университете (шт. Айова) исследовали эффективность шлемов, используе-

мых американскими футболистами. По полученным ими результатам были разработаны нормы, опубликованные в 1973 г. Национальным оперативным комитетом стандартов на спортивное снаряжение. Несколько позже в правила игры были внесены изменения, запрещающие игрокам контакты головой при блокировке и перехвате мяча. Результаты не замедлили сказаться: число черепных переломов, сотрясений мозга, парализующих шейных травм и других тяжелых повреждений головы в американском футболе сократилось более чем на 50%.

В исследованиях, проводимых в Уэйкской медицинской школе и в других организациях с целью определения силы удара, ведущей к пролому черепа или травме шеи, использовались трупы. В более поздних исследованиях в черепные артерии трупов нагнетался краситель, чтобы изучить характер разрыва кровеносных сосудов при ударе головы. В результате испытаний было установлено, что головные травмы вероятны в очень широком спектре интенсивностей удара; обнаруженные различия были следствием неодинаковой прочности костей или состояния кровеносных сосудов.

В большинстве случаев головные травмы не происходят, если пиковые ускорения не превышают 100—200 g. Чем продолжительнее действие высокого отрицательного ускорения, тем тяжелее травма. По этим результатам был определен опасный диапазон отрицательных ускорений как критерий черепных травм.

Ходжсон с сотрудниками разработали модель человеческой головы для более точных ударных испытаний. Модель имеет такие же размеры, вес, распределение масс и динамическую реакцию, что и голова трупа. Модель использовалась в испытаниях с падением для определения эффективности футбольных шлемов. Разработанный на основе результатов этих испытаний стандартный образец футбольного шлема является обязательным для использования всеми организованными футбольными командами США. В основу стандарта положены вычисленные ускорения как функции времени.

Никакой даже самый совершенный шлем не может гарантировать полную защиту от головных травм. Например, скручивание и другие формы ускоренного вращательного движения часто вызывают разрыв кровеносных сосудов головы и другие серьезные травмы, и здесь никакой шлем не поможет.

Одним из видов спорта, где защита головы могла бы облегчить условия соревнования, является бокс. Ходж-

сон в настоящее время изучает взаимодействие перчатки с головными протекторами для того, чтобы создать улучшенный шлем для любительского бокса. Возможно, в будущем бокс будет во многом схож с фехтованием, т. е. потенциально смертоносный спорт станет совершенно безопасным, а победитель и побежденный будут определяться по технике боя и по очкам.

К сожалению, многие спортсмены пренебрегают защитными средствами, считая, что они слишком тяжелы и неудобны, или потому, что, как им кажется, их использование создает впечатление отсутствия спортивного мужества. Что касается первых двух причин, то они могут быть устранены разработкой более легких и удобных шлемов. Например, хоккейный вратарь мог бы двигаться быстрее и задерживать больше шайб, если бы вместо современных стандартных доспехов он имел более легкие, но обеспечивающие адекватную защиту. Исследования в этой области обещают быть перспективными.

БЫСТРЫЙ прогресс в производстве спортивного снаряжения стимулируется несколькими основными факторами. Один из них — это деньги. Годовой торговый оборот промышленных компаний, занятых производством и сбытом спортивного и атлетического снаряжения в США, составляет почти 4 млрд. долл. Фирмы, специализирующиеся на спортивных товарах, жестоко конкурируют друг с другом, заключая с профессиональными спортсменами и спортсменами-любителями контракты, по которым спортсмены обязуются пользоваться только изделиями той или иной фирмы. Таким образом, фирмы надеются, что победа спортсмена увеличит сбыт их товаров. Подобная стратегия создает напряжение в конкурентной борьбе, заставляя фирмы непрерывно улучшать производимое ими спортивное снаряжение, чтобы обеспечить законтрактованным спортсменам преимущество перед соперниками.

Другим фактором является содействие правительства, а также национальных спортивных организаций, которые полагают, что победы спортсменов на международных состязаниях могут повысить их престиж. Наконец, сами спортивные команды постоянно требуют все более совершенного спортивного снаряжения. В совокупности все эти факторы делают технологию заметным и важным партнером в деле разработки более совершенных видов спортивной одежды и снаряжения.

Особенности и механизмы восприятия цветовой окраски черно-белой решетки

ДЖИРЛ УОЛКЕР

В 1965 г. Селеста Мак-Коллаф из Оберлинского колледжа сообщила об открытии загадочного явления: при определенных условиях человек воспринимает черно-белую решетку как окрашенную. Посмотрите вначале на решетку, состоящую из черных полос, которые чередуются с цветными полосами. Затем посмотрите на черно-белую решетку с той же ориентацией и тем же периодом (расстоянием между полосами). Белые полосы решетки покажутся вам окрашенными, причем их цвет будет дополнительным цвету полос в первой решетке.

У этой кажущейся окраски есть несколько удивительных свойств. Она появляется только в том случае, когда вторая решетка ориентирована так же, как и первая, и состоит из полос такой же ширины. Хотя с течением времени эта кажущаяся окраска может бледнеть, она остается заметной даже в том случае, когда наблюдатель смотрит на вторую решетку после большого перерыва, скажем спустя несколько часов, дней и даже недель. (Яркость окраски зависит от того, как ест и спит наблюдатель в перерыве между наблюдениями.)

Люди с нормальным цветовым восприятием могут увидеть окраску Мак-Коллаф, рассматривая решетки, которые изображены на следующей странице. (Заметим, что в горизонтальной решетке черные полосы чередуются с зелеными, а в вертикальной — с пурпурными.) Убедитесь, что картинки хорошо освещены. Не останавливайте взгляд на одном месте, а смещайте его, чтобы видеть по-разному окрашенные области в течение примерно одинакового интервала времени. Минут через пять после этого начните рассматривать черно-белые решетки на с. 87. На этот раз, для того чтобы эффект проявился лучше, освещение следует убавить. Вы должны увидеть бледную ненасыщенную окраску белых полос.

Цвета, которые вы видите, зависят от ориентации черных полос. Горизонтальные черные полосы, чередовавшиеся с зелеными, теперь будут

чередоваться с пурпурными. Цвет вертикальных полос меняется прямо противоположным образом. Проверить утверждение о том, что цвета связаны с ориентацией полос, можно, повернув рисунок на 90°. В этом случае между горизонтальными черными полосами вновь появляются пурпурные полосы, а между вертикальными — зеленые. Форма областей не играет никакой роли, цвет зависит только от ориентации.

Не следует путать эффект Мак-Коллаф с явлением, которое известно под названием негативного послеобраза. По сравнению с окраской Мак-Коллаф последнее менее устойчиво. Чтобы увидеть негативный послеобраз, смотрите в течение пяти минут на некоторую область, окрашенную в зеленый цвет, а затем переведите взгляд на бесцветную ровную поверхность. В течение короткого времени вы будете видеть пурпурный цвет. Если выждать минут десять или больше, прежде чем посмотреть на белую поверхность, то негативный послеобраз не появится.

Когда вы смотрите в обычных условиях на белую поверхность, все рецепторы сетчатки, ответственные за восприятие цвета, посылают в мозг сигналы — каждый о наличии своего цвета. На каком-то этапе сигналы анализируются в соответствии с принципом дополнительности цветов. Если два дополнительных цвета присутствуют в равных пропорциях, то результирующий сигнал соответствует восприятию «близны». К примеру, зеленый и пурпурный цвета являются дополнительными. Если в глаз попадает одинаково сильный зеленый и пурпурный свет, они как бы уничтожают друг друга, и вы видите неокрашенный (белый) свет.

Возникновение послеобраза принято связывать с уменьшением чувствительности рецепторов сетчатки к одному из дополнительных цветов. Например, если вы долго смотрите на зеленое пятно, рецепторы, которые передают соответствующий сигнал в мозг, адаптируются. Предположим, что уже после того, как эти «зеленые»

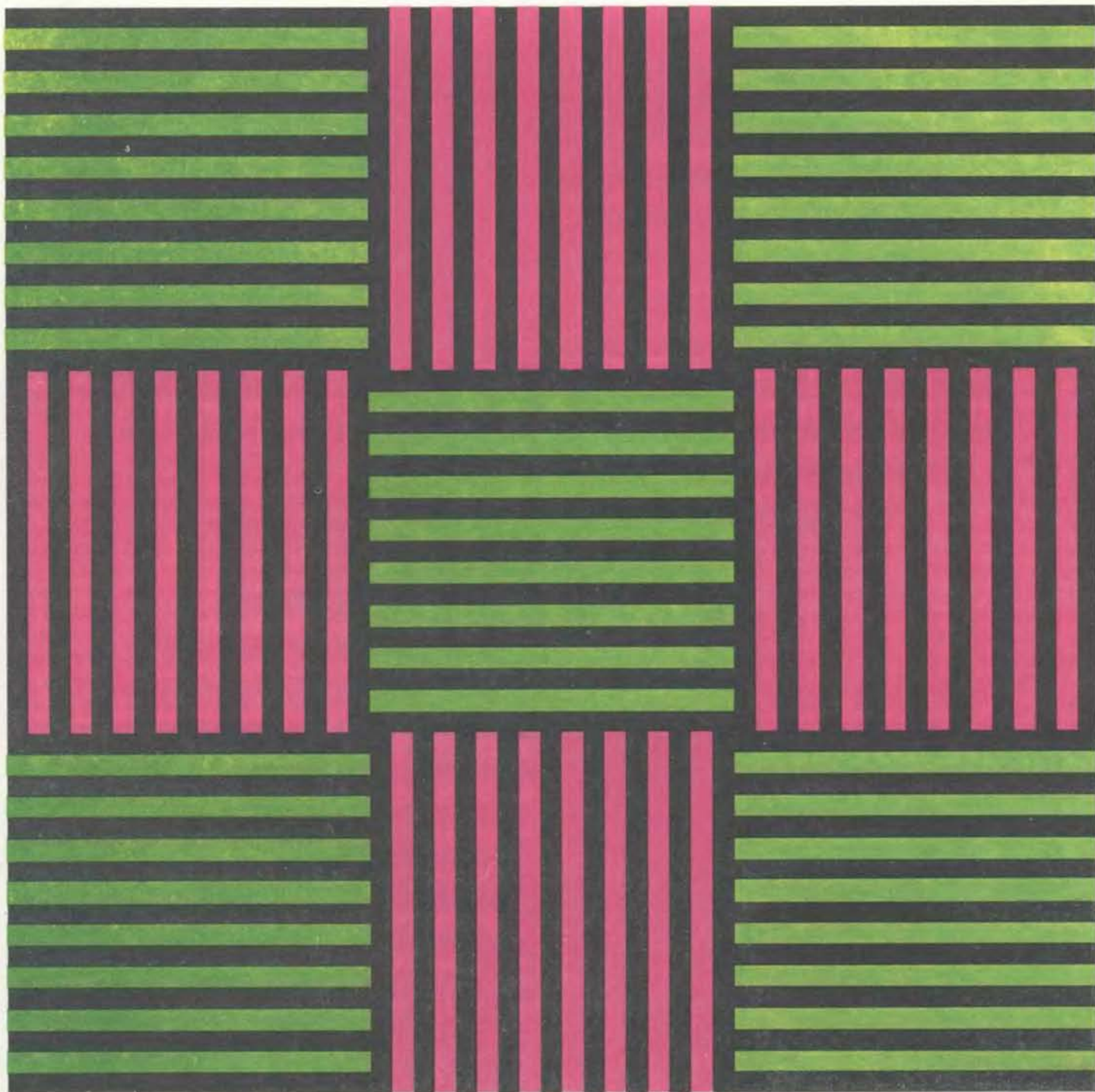
рецепторы адаптировались, вы переведете взгляд на белый лист. Хотя в глаз теперь попадут равные «количества» зеленого и пурпурного света, более слабый отклик «зеленых» рецепторов приведет к тому, что сигнал от «пурпурных» рецепторов будет преобладать. В результате на белом листе вы увидите пурпурное пятно. Когда рецепторы «отдохнут», сигналы о наличии двух дополнительных цветов вновь станут равными, и вы увидите белую поверхность.

Окраска Мак-Коллафа отличается от обычного послеобраза еще и тем, что на ее продолжительность влияют лекарства, принимаемые наблюдате-

лем. Отсюда следует, что за этот эффект ответственны нейроны, находящиеся на пути между сетчаткой и мозгом. К. Шют из Кембриджского университета заметил, что кофеин ускоряет исчезновение эффекта, в то время как свежий женьшеневый чай замедляет. Б. Амюр из Кембриджского университета отмечает, что никотин удлиняет продолжительность эффекта. В дополнение к этому Д. Мак-Кей и В. Мак-Кей из Кильского университета в Великобритании показали, что сон удлиняет продолжительность эффекта и что цветовая насыщенность может в значительной мере зависеть от того, хорошо ли спал наблюдатель

накануне того дня, когда он рассматривает цветную решетку.

Я провел опыты по изучению эффекта Мак-Коллафа, изготовив несколько решеток с черными полосами и сделав их фотокопии, которые сохранили «черноту» полос, а затем раскрасил области между полосами. Больше всего опытов было проведено с горизонтальной решеткой, в которой черные полосы чередовались с зелеными. Я смотрел на решетку в течение примерно пяти минут, а перед тем, как начать рассматривать черно-белую решетку, делал пятиминутный перерыв. Такая задержка гарантировала, что окраска, обусловленная не-



Решетки, на которых «настраивается» глаз в опытах по изучению эффекта Мак-Коллафа

гитивным послеобразом, не проявится. Строго говоря, проблема устранения послеобраза передо мной не стояла вовсе, так как я не фиксировал свой взгляд. Гораздо больше хлопот доставила мне другая трудность: нужно было, чтобы за время между опытами окраска Мак-Коллаф полностью исчезла. Иногда на это уходил целый день.

Требуют ли эти опыты, чтобы края полос были прямые? Я изготовил несколько решеток, в которых черные полосы были заменены рядами маленьких черных точек. Окраска Мак-Коллаф не появилась. Тогда я заменил точки закрашенными черными кружками, но опять не обнаружил ожидаемой окраски.

Можно было предположить, что на цвет окраски влияет расстояние между полосами. Вначале я давал глазам привыкнуть к черно-зеленой решетке, а затем смотрел на черно-белую решетку с такой же ориентацией, но в которой ширина черных и белых полос была вдвое меньше первоначальной. Окраска не появилась.

Затем я задался вопросом: какая часть поля зрения должна быть первоначально занята решеткой, чтобы глаза «настроились» на цветовой эффект? Чтобы ответить на этот вопрос, я накрыл большую часть первой решетки непрозрачным листом бумаги и смотрел на тот небольшой кусочек решетки, который был виден. После этого я рассматривал полностью открытую черно-белую решетку. Окраска не появилась. Очевидно, для того чтобы возник эффект Мак-Коллаф, необходимо видеть достаточно большую часть первой решетки и тем самым опознавать ее как решетку.

После этого я изменил порядок действий на обратный: вначале смотрел на первую решетку целиком, а затем на небольшой кусочек черно-белой решетки, большая часть которой была скрыта под непрозрачной бумагой. Появилась слабая пурпурная окраска. Она появлялась даже в том случае, когда я закрывал почти всю решетку, оставляя лишь кусочки одной или

двух черных полос. Исследователи, изучавшие эффект Мак-Коллаф, высказывали предположение, что, если полосы решетки отстоят далеко друг от друга, зрительная система настраивается на восприятие краев полос. Если же расстояние между полосами мало, то основное внимание уделяется их периодичности. Когда я рассматривал небольшую часть черно-белой решетки, окраска Мак-Коллаф была, вероятно, связана с восприятием краев полос, а не их периодичности.

В 1974 г. Ч. Стромейер из Станфордского университета сообщил, что окраска Мак-Коллаф заметна лучше, если черно-белую решетку рассматривать при слабом освещении. Окраска видна даже при таком слабом освещении, когда колбочки (рецепторы, воспринимающие цвет) не работают. Я проверил эти выводы, сначала привыкнув к яркому свету, при котором я рассматривал черно-зеленую решетку, а потом уменьшив освещение. Когда мои глаза привыкли к слабому освещению, пурпурная окраска черно-белой решетки стала более яркой, хотя цвета других предметов в комнате я уже не воспринимал.

Стромейер сообщил также, что на окраску Мак-Коллаф может влиять расстояние между полосами. Вначале наблюдатель рассматривает черно-зеленую решетку с большим расстоянием между полосами. Затем он смотрит на черно-пурпурную решетку, в которой полосы расположены более тесно. (Ориентация решеток должна быть одинаковой.) Через некоторое время он начинает рассматривать черно-белую решетку, ориентированную так же, как и две первые. Если эта решетка имеет тот же период, что и первая из цветных, то наблюдатель увидит пурпурную окраску. Если же период черно-белой решетки равен периоду второй цветной решетки, окраска будет зеленой. Мозг каким-то образом «запоминает» цвет наряду с величиной расстояния между полосами.

Как же создается эффект Мак-Коллаф? Точного ответа на этот вопрос пока нет, однако некоторые догадки можно высказать. Одна из простых моделей, предлагавшихся исследователями, иллюстрируется верхним рисунком на с. 88. Эта модель грубая, поскольку ее детали остаются неизвестными. Слева на рисунке показан участок сетчатки, на который проецируется горизонтальная решетка с черно-зелеными полосами. Цепь справа характеризует начальный этап процесса восприятия. Сигналы передаются слева направо, достигая все

более высоких уровней обработки информации. Надо иметь в виду, что на рисунке дана не более чем схема. Я не знаю, где находятся компараторы — устройства сравнения дополнительных цветов — в зрительной системе и можно ли их вообще локализовать. Мне не известно и то, как они на самом деле функционируют.

Сигналы, несущие информацию о цвете полос, посылаются колбочками. Колбочки делятся на три типа, каждый из которых чувствителен определенному участку спектра. После того как колбочки переходят в состояние возбуждения, сигналы, идущие от них, сравниваются между собой и дальше в зрительную систему посылаются другие сигналы. Эти новые сигналы несут информацию об освещенности и относительных вкладах пурпурного цвета в сравнении с зеленым и желтого цвета в сравнении с синим. На более поздней стадии обработки, которая, вероятно происходит уже в мозгу, новые сигналы сравниваются между собой; при этом определяются относительные вклады дополнительных цветов.

Рассмотрим, например, как происходит сравнение пурпурного и зеленого цветов, выразив силу сигнала в численном виде и приписав знак плюс «зеленому» сигналу, знак минус — «пурпурному», а число нуль — «смеси» этих цветов в равных пропорциях. Когда человек видит зеленый цвет, возбуждается сигнал, скажем в +200 единиц, когда пурпурный — сигнал в -200 единиц. Если зеленый и пурпурный цвета воспринимаются в равных пропорциях (как в случае, когда вы видите белый лист), результирующий «цветовой» сигнал — нулевой.

Края полос воспринимаются группами фоторецепторов, лежащих на тех участках сетчатки, куда попадает изображение края полосы. Информация, поступающая от множества рецепторов, накапливается в детекторе, настроенном на выделение решетки, который посылает дальше в зрительную систему сигнал о том, что видимая решетка имеет определенную ориентацию и период. Как работает детектор решетки, точно неизвестно. Предположим, что он выделяет решетку, сравнивая ее с некоторыми эталонами. После того как совпадение произошло, по выходному пути посылается сигнал. Выбор выходного нервного пути определяется тем, с какой из эталонных решеток совпала наблюдаемая. В случае горизонтальной решетки с определенным расстоянием между полосами сигнал посылается по одному из выходных нервных путей. Если решетка повернута так, что полосы ее расположены верти-

| | |
|------------|-----------|
| Зеленый | Пурпурный |
| Голубой | Красный |
| Синий | Оранжевый |
| Фиолетовый | Желтый |

Дополнительные цвета

кально, сигнал посылается по другому выходному пути. Если расстояние между полосами решетки изменить, ее отображение совпадет с другим эталоном, а сигнал будет послан по третьему выходному пути.

Опираясь на эту модель, можно объяснить возникновение эффекта Мак-Коллафа. Когда вы смотрите на горизонтальную решетку, состоящую из черных и зеленых полос, сильные сигналы идут по двум путям. Один сигнал сообщает о зеленой окраске, другой — об ориентации и периоде решетки. Между двумя путями устанавливается такая связь, которая приводит к некоторому ослаблению сигнала о наличии цвета. Эта

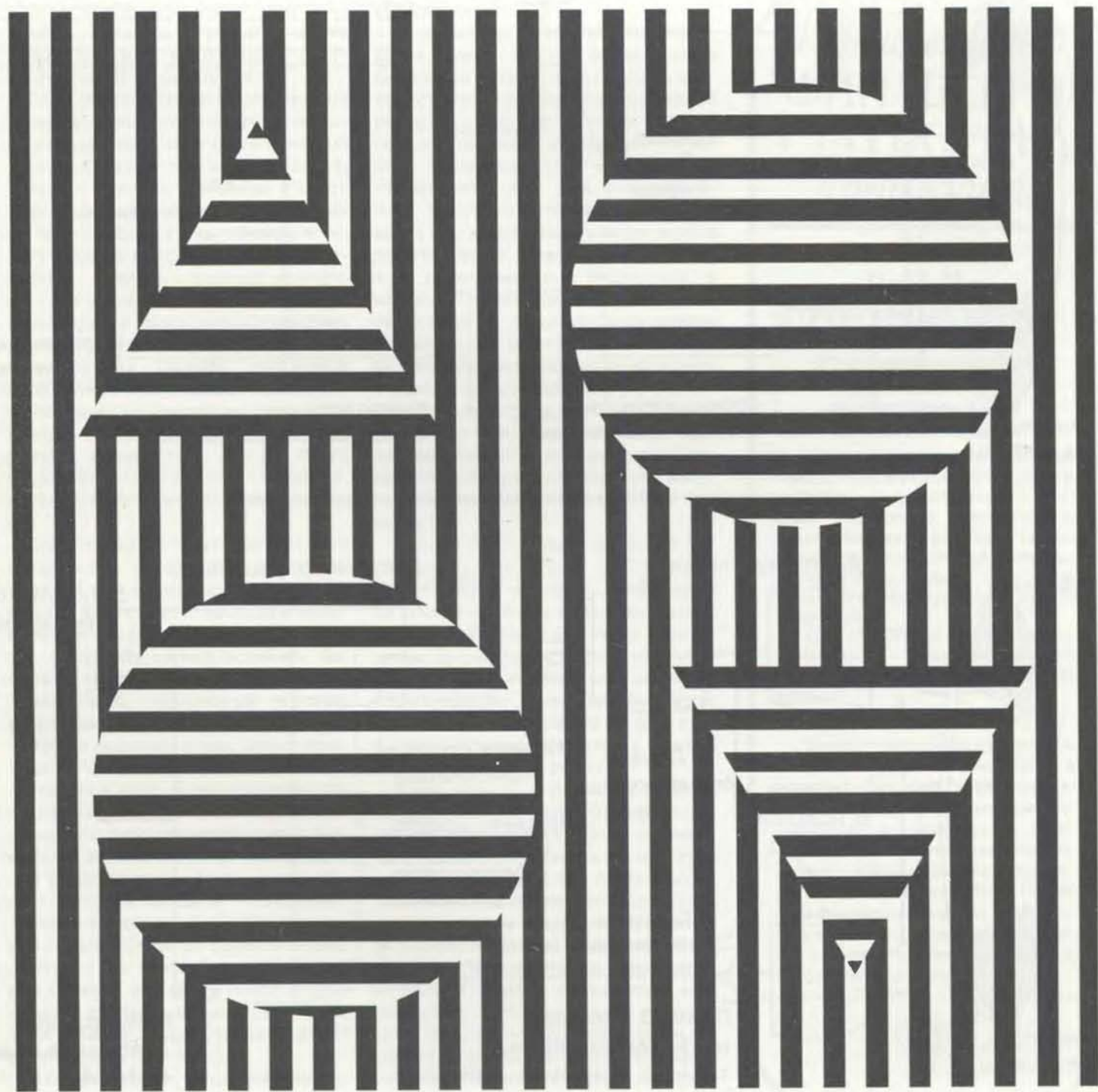
связь не очень сильная, и при нормальном освещении вы не замечаете ослабления цвета. Хотя эта связь устанавливается в течение примерно пяти минут, существовать она может на протяжении часов и даже дольше.

Предположим, после этого вы смотрите на черно-белую решетку с той же ориентацией и периодом, что и у первой решетки. Нервный путь, ответственный за передачу цветового сигнала, бездействует, поскольку решетка имеет белые полосы. Если бы сигнал о наличии цвета отсутствовал, мы продолжали бы видеть белые полосы. Однако установление связи между путями вызывает ослабление сигнала о наличии цвета. В результа-

те появляется «пурпурный» сигнал, и на решетке вы видите пурпурную окраску.

Ослабление, возникающее на нервном пути, передающем сигнал о наличии цвета, возникает только в том случае, когда он активируется детектором решетки. В противном случае путь, передающий сигнал о наличии цвета, не затрагивается. Допустим, вы повернули решетку и ее полосы стали вертикальными. Сигнал от детектора решетки идет теперь по другому пути. Путь, передающий сигнал о наличии цвета, не затрагивается, и эффект Мак-Коллаф не возникает.

Хотя изложенная модель согласуется с результатами многих опытов,



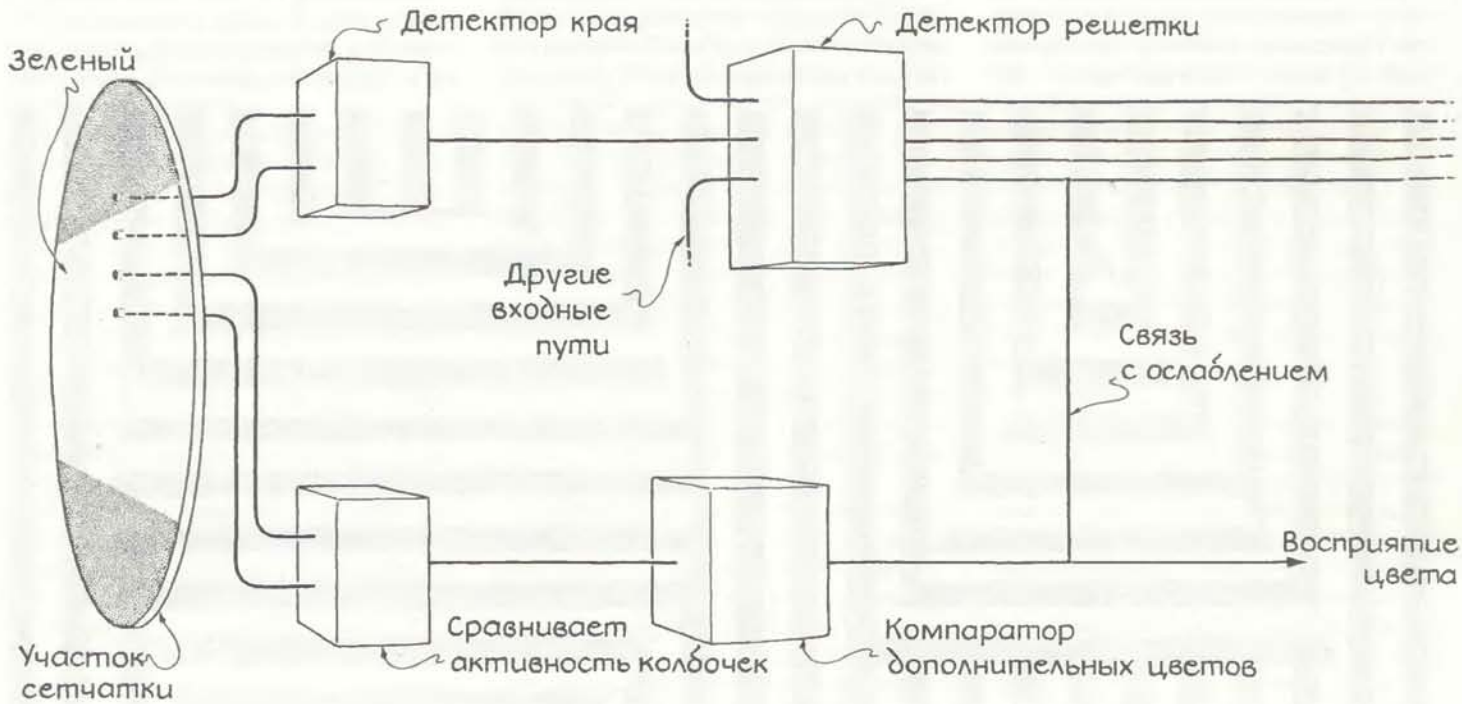
Решетки, создающие эффект Мак-Коллафа

ее нельзя считать удовлетворительной. Почему выходной нервный путь детектора решетки играет роль в ослаблении сигнала, передающего информацию о цвете? Далее, если описанная модель верна, то связь с ослаблением должна устанавливаться и в том случае, когда взгляд скользит по черно-белой решетке рядом с областью зеленого цвета. Однако в действительности при таких условиях окраска Мак-Коллафа не наблюдается.

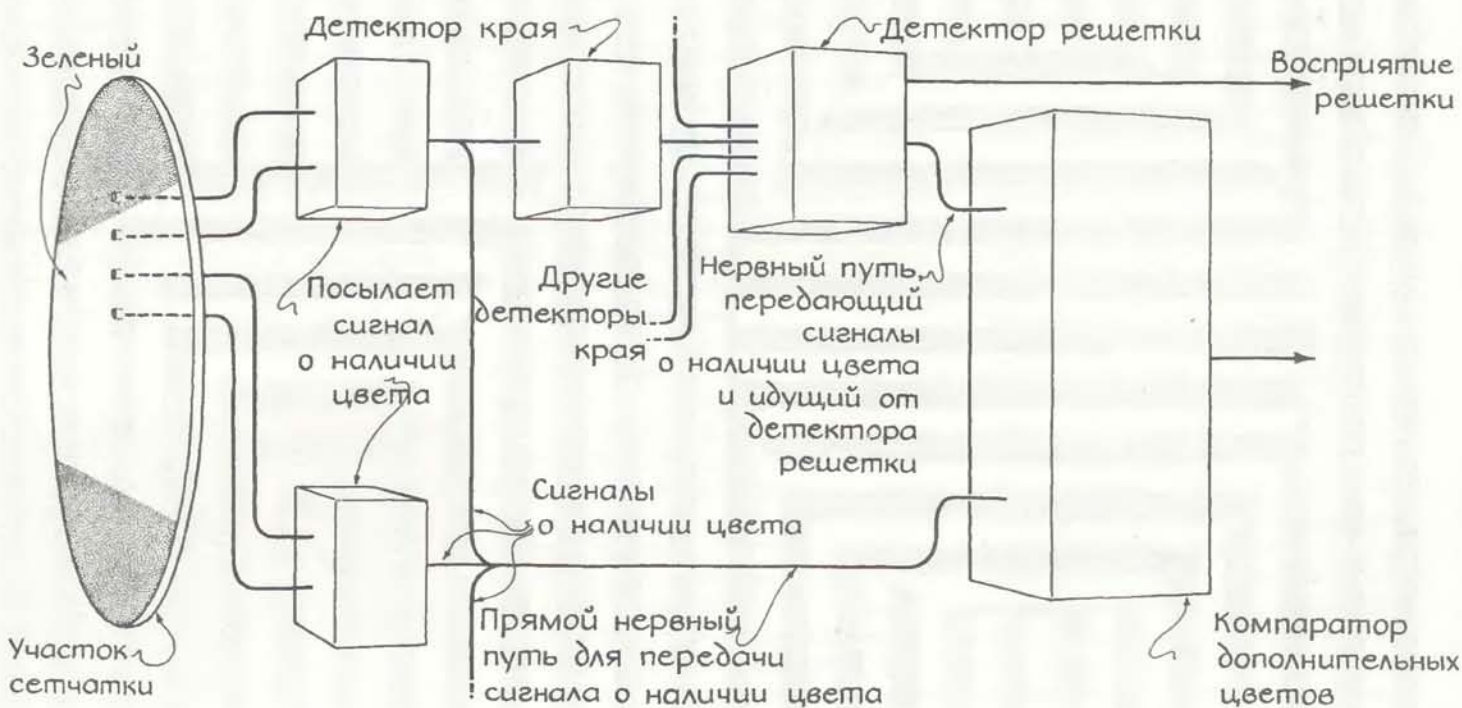
Пытаясь согласовать между собой данные наблюдений, я создал несколько иную модель эффекта Мак-Коллафа (см. нижний рисунок на этой странице). Не знаю, исследовалась ли эта схема до меня. От описанной выше она отличается тем, что детектор решетки сам по себе является чувствительным к цвету и посылает сигнал о наличии цвета в компаратор, который сравнивает дополнительные цвета. Компаратор складывает сиг-

налы, идущие от детектора и непосредственно с сетчатки. Сила «цветового» сигнала детектора решетки, зависит от того, выделил ли детектор решетку.

Чувствительность этого детектора к цвету может определяться тем, что и он сам, и детекторы края анализируют сигналы, идущие от рецепторов сетчатки, воспринимающих цвет. Распознавание края может частично основываться на контрасте цвета по



Модель, в которой предполагается ослабление сигнала о наличии цвета



Модель, использующая чувствительный к цвету детектор решетки

обеим сторонам границы. Таким образом, не стоит удивляться, если детектор решетки, действительно посылает сигнал о наличии цвета.

Предположим, вы смотрите на горизонтальную решетку с черно-зелеными полосами. Проверив совпадение ее с одним из эталонов, детектор решетки, посылает сигнал об ориентации и периоде решетки по выходному нервному пути. Поскольку совпадение имеет место, детектор посылает в компаратор цвета и сигнал о наличии зеленого цвета, присутствующего в решетке. Предположим, что непосредственно от рецепторов сетчатки идет сигнал в +200 единиц, а сигнал о наличии зеленого цвета, идущий от детектора, имеет силу +10 единиц. Тогда в компаратор цвета придет сигнал в +210 единиц, соответствующий зеленому цвету.

Если вы продолжаете смотреть на решетку, чувствительность детектора к выделению решетки и к цвету падает. Спустя некоторое время сигнал, который идет от детектора и несет информацию о характеристиках решетки, ослабевает и вы начинаете видеть решетку хуже. Одновременно ослабевает и сигнал о наличии зеленого цвета, и детектор начинает посылать в компаратор цвета сигнал о наличии пурпурного цвета. Допустим, сила «пурпурного» сигнала составляет -10 единиц. Если прямой «зеленый» сигнал имеет по-прежнему силу +200 единиц, то сигнал, который зарегистрирует компаратор цвета, будет иметь силу +190 единиц, соответствующую более бледной зеленой окраске.

Если заменить цветную решетку черно-белой, имеющей ту же ориентацию и тот же период, детектор решетки, будет вновь посылать «пурпурный» сигнал в компаратор, так как «зеленый» сигнал ослаблен. Заметьте, что на этом этапе сигнал о наличии цвета, посылаемый детектором решетки, связан именно с параметрами решетки, а не с силой «цветовых» сигналов, поступающих от детекторов края. Если «пурпурный» сигнал имеет силу -10, а «цветовой» сигнал от сетчатки отсутствует (поскольку вы смотрите на белый лист или на белую полосу), то компаратор цвета выдаст сигнал в -10 единиц, соответствующий бледной пурпурной окраске. Следовательно, когда вы смотрите на черно-белую решетку, вам кажется, что белые полосы окрашены в пурпурный цвет. Появление этой окраски и представляет собой суть эффекта Мак-Коллафа.

Что происходит, когда вы смотрите на черно-белую решетку при слабом освещении? Окраска становится

более яркой — и не потому, что сигнал усилился, а потому, что стал слабее свет, идущий от белых полос. При этом пурпурная окраска заметна лучше. Она остается различимой и когда свет настолько слабый, что колбочки уже не работают. При таком освещении нагрузка падает на рецепторы, называемые палочками. Они реагируют не на цвет, а на границы, посылая сигналы в детектор решетки. Чувствительность этого детектора все еще ослаблена, поскольку до того вы смотрели на решетку, и, значит, сигнал, который детектор посылает в компаратор цвета, имеет интенсивность -10 единиц и соответствует пурпурному цвету. Эту окраску вы и воспринимаете.

Основываясь на этой модели, я пришел к выводу, что при определенном освещении «пурпурный» сигнал, идущий от адаптировавшегося детектора решетки, может превозобладать над слабым прямым «зеленым» сигналом. Например, если «пурпурный» сигнал имеет силу -10, а «зеленый» +10, то при сложении в компараторе цвета они дадут ноль. Зеленая полоса решетки будет казаться тогда серой, т. е. одновременно и бесцветной, и неяркой. Происходит ли это на самом деле? Если да, то появится ли зеленая окраска полос решетки, если я поверну решетку, расположив полосы вертикально и заставив детектор решетки вновь принять за работу? Предположим, что в другой части поля зрения находится зеленое пятно. Будет ли оно казаться зеленым, когда зеленые полосы решетки станут серыми?

Готовя этот опыт, я сделал несколько пятен сбоку от обычной черно-зеленой решетки. Некоторые из этих пятен были зелеными, другие черными. Одни из них были небольшими, другие представляли собой полосы — такие же длинные и широкие, как и в решетке. Уменьшив освещение в комнате, я дал глазам 15 мин привыкнуть к темноте и затем в течение 20 мин смотрел на решетку.

Хотя вначале я различал зеленую окраску полос в решетке, вскоре они начали приобретать серый оттенок. Саму решетку я также различал с трудом. На этом этапе чувствительность детектора решетки должна была уменьшиться, а ослабление его чувствительности к цвету должно было привести к ослаблению «зеленого» сигнала. Однако я не исключал возможности, что серая окраска возникла из-за того, что прямой «зеленый» сигнал ослаблялся в результате адаптации колбочек. Я проверил это предположение, переведя взгляд на отдельные пятна зеленого цвета рядом с

решеткой. Их цвет я все еще воспринимал. Затем я повернул решетку, чтобы ее полосы расположились вертикально. Зеленая окраска полос сразу же проявилась вновь. Из этого следовало, что серый цвет полос при первоначальной ориентации связан с ослаблением «зеленого» сигнала от детектора решетки.

В опубликованных работах описано много других экспериментов по изучению эффекта Мак-Коллафа. Быть может, вы придумаете свои собственные опыты и предложите более совершенные модели.

Издательство ФИНАНСЫ И СТАТИСТИКА предлагает:

Г. Коллинз,
Блэй Дж.

СТРУКТУРНЫЕ МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ: От стратегического планирования до тестирования

Перевод с английского

В работе описывается полный набор современных методов разработки информационных систем широкого назначения, сформирована целостная технология проектирования, охватывающая весь процесс от стратегического планирования до тестирования.

Для специалистов в области применения вычислительной техники, аспирантов и студентов вузов.

1986, 23 л. Цена 1 р. 70 к.

Книги издательства «Финансы и статистика» можно приобрести в книжных магазинах, распространяющих общественно-политическую литературу, и в магазинах — опорных пунктах. Там же можно ознакомиться с планом выпуска литературы издательства на 1986 г. Прием предварительных заказов на эти издания будет производиться в пределах плановых тиражей, указанных в аннотированном плане.



Занимательный компьютер

Две незамысловатые программы демонстрируют гениальные способности в тестах на умственное развитие

А. К. ДЬЮДНИ

НАВЕРНОЕ, всем знаком старший шуточный номер, который часто показывают в цирке и на ярмарочных клоунадах. На сцену выходит мужчина с могучей мускулатурой в сопровождении сравнительно хрупкой ассистентки. Мужчина берется за штангу невероятных размеров, и с нечеловеческим напряжением сил ему удается поднять ее над головой. Зрители аплодируют, однако аплодисменты тут же сменяются смехом, когда ассистентка небрежно подхватывает штангу одной рукой и уносит ее за кулисы.

Существуют две компьютерные программы, которые как бы воспроизводят этот комический номер, показывая нам, чего в действительности стоят умственные «мускулы», демонстрируемые теми, кто набирает высокий балл по результатам обычного теста на умственное развитие. Обе программы работают, если не на уровне гения, то близком к нему, решая две задачи, широко используемые в тестах: дополнение числовой последовательности и поиск геометрических аналогий. Однако, разобравшись в механизме работы этих программ (что можно сделать без особого труда), невольно удивляешься тому, насколько они, если можно так выразиться, глупы.

Мне вовсе не хочется обижать читателей, считающих себя щедро одаренными умственными способностями, и если я с иронией говорю о тесте умственного развития, то делаю это умышленно. Цель этого теста, как нам говорят, заключается в том, что-

бы определить, каков уровень умственного развития индивидуума. Интеллект относится к тем немногим качествам, которыми человек гордится, если они у него есть, и испытывает неудовлетворение, если их у него нет. Однако говорить об интеллекте, когда речь пойдет об обычном тесте на умственное развитие, по-видимому, в корне ошибочно. Эта точка зрения убедительно аргументирована С. Гуллом из Гарвардского университета в его книге, посвященной тестам на умственные способности (см. библиографию на с. 104). В основном его рассуждения сводятся к следующему. Традиционные тесты такого рода основаны на неявно допускаемом ошибочном предположении, что человеческий интеллект, подобно физической силе, — это некий обобщенный физиологический показатель, поддающийся количественному измерению при помощи последовательности задач, упорядоченных по уровню сложности.

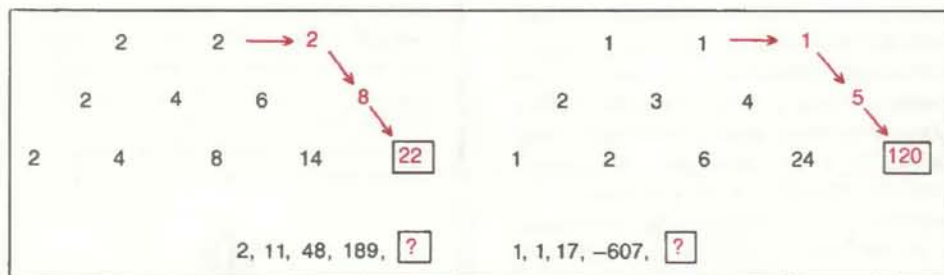
Хороший пример задач подобного рода — продолжение числовой последовательности. Каким должно быть следующее число в последовательности 2, 4, 6, 8, ... ? Или, например, в последовательности 2, 4, 8, 14, ... ? Или 1, 2, 6, 24, ... ? Количество правильных ответов на такие вопросы, выраженное в процентах, измеряет ваше «общее умственное развитие», подобно тому, как динамометр измеряет вес, который вы можете поднять, и, стало быть, силу ваших рук. Заметим, что если результаты теста трактуются как мера «общего умст-

венного развития», то должно существовать некое «ядро» — центральная способность или несколько таких способностей, которые могли бы служить критерием общего умственного развития. Поскольку в самом понятии общего умственного развития предполагается наличие сильной взаимозависимости, или корреляции, между наиболее важными центральными способностями, то не так уж существенно, какие конкретно задачи были включены в тест. Одна задача не хуже и не лучше других.

Одна из рассматриваемых здесь программ, решающих задачи из тестов на умственное развитие, представляет собой упрощенную версию программы, написанной М. Феенстра, студентом из Роттердама. Программа под названием NI Q решает два вида задач, часто встречающихся в стандартных тестах, а именно дополнение числовой последовательности и обнаружение цифровых аналогий. Недавно Феенстра опробовал свою программу на ряде тестов, приведенных в книге Г. Айзенка «Know Your Own I. Q.» («Ваш коэффициент умственного развития»). Суммарное количество очков, набранных программой, оказалось равным примерно 160. И хотя условия и результаты эксперимента не были тщательно зафиксированы, едва ли следует сомневаться в том, что программа покажет хорошие результаты в реальных условиях, в которых проводятся подобные тесты.

Программа, которую мы здесь рассмотрим, называется SE Q. Она копирует поведение программы NI Q при решении задач на продолжение числовой последовательности. У читателей, которые напишут и испытают программу SE Q, возможно, сложится впечатление, что их умственные способности в решении числовых задач значительно повысятся. В основу программы положена довольно простая идея. Когда задана последовательность чисел и требуется найти следующее число, никто не пытается сразу угадать его. Стремятся найти правило, которому подчиняются заданные члены последовательности. Заметим, что с математической точки зрения для любой конечной последовательности чисел существует бесконечное количество правил, которым она подчиняется. Таким образом, задача сводится к отысканию простого правила, задающего последовательность.

В программе SE Q рассматриваются лишь два вида правил: аддитивные и мультипликативные. Например, чтобы найти следующее число в последовательности 2, 4, 8, 14, ...,



Продолжение числовой последовательности методом пирамиды. Предлагается решить две задачи, приведенные внизу

можно попытаться найти аддитивное правило, а лучший способ поиска такого правила заключается в построении так называемой пирамиды разностей (см. рисунок на с. 90). В основании пирамиды лежит заданная последовательность чисел, и пирамида строится снизу вверх вычислением разностей между каждым последующим и предыдущим числами, находящимися на предыдущем уровне пирамиды. Так, первое число на втором уровне пирамиды есть разность первых двух чисел первого уровня, а именно 2 и 4. Их разность равна 2, и, таким образом, 2 — это первое число на втором уровне. Аналогично два других числа на втором уровне находятся вычитанием: $8 - 4 = 4$ и $14 - 8 = 6$; полученная в результате последовательность на втором уровне: 2, 4, 6. С помощью аналогичной процедуры находим числа третьего уровня пирамиды — их два, причем оба равны 2.

Равенство всех чисел на определенном уровне пирамиды является своеобразным сигналом, говорящим о том, что процесс наращивания пирамиды вверх следует прекратить и достраивать ее сбоку. Предположим, что третье число в третьем ряду пирамиды также должно быть равно 2. Но в таком случае логично считать, что следующее число во втором ряду пирамиды должно получаться путем прибавления к последнему числу 2, т. е. $6 + 2 = 8$. В свою очередь это число можно прибавить к последнему члену последовательности на первом уровне пирамиды: $14 + 8 = 22$; и действительно, 22 — это правильный ответ, за получение которого, согласно условиям теста, начисляют полное число баллов. Стоит таким образом прийти к последовательности одинаковых чисел на верхнем уровне пирамиды, как все остальные уровни будут достраиваться путем применения соответствующего правила к каждому нижележащему уровню вплоть до основания.

Очень многие задачи из тестов, касающиеся числовых последовательностей, сводятся к этой простой процедуре. Читатели, хорошо помнящие алгебру из курса средней школы, сразу же видят, что приведенные в качестве примера последовательности обладают свойствами полиномов. Любой полином, вычисленный для последовательного набора целых значений аргумента, дает последовательность, из которой можно построить пирамиду разностей. При достаточно большом количестве вычисленных значений на верхнем уровне пирамиды в конце концов получится последовательность одинаковых чисел. Коли-

чество требующихся для этого уровня минус единица — это степень полинома. Последовательность 2, 4, 8, 14, дающая постоянную последовательность, состоящую из двоек, на третьем уровне пирамиды разностей, образуется, например, в процессе последовательного вычисления значений квадратичного полинома, или полинома второй степени: $x^2 - x + 2$.

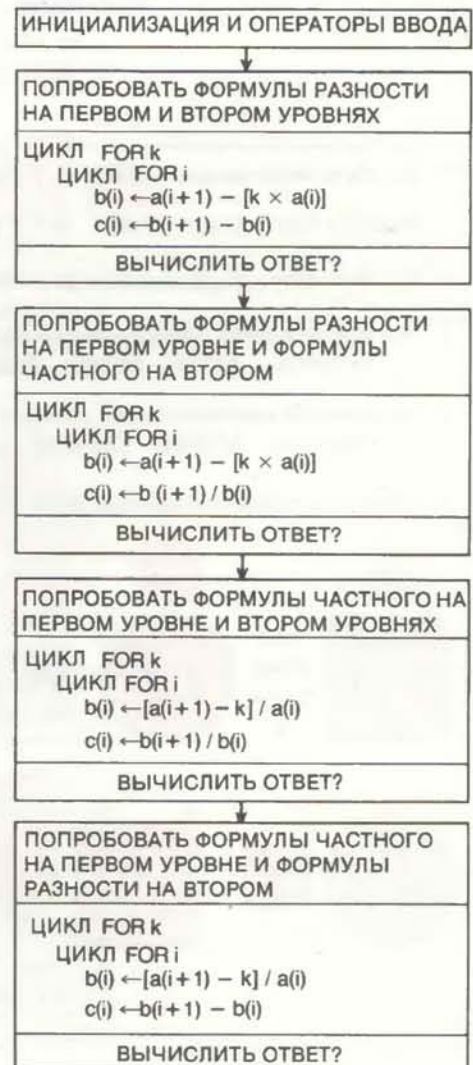
К сожалению, не все задачи на числовые последовательности можно решить путем построения пирамиды разностей. Например, последовательность 1, 2, 6, 24, ... дает пирамиду разностей, на верхнем уровне которой находятся числа 3 и 14. Однако быстрый рост членов последовательности говорит в пользу ее геометрического характера: соседние члены геометрической прогрессии отличаются друг от друга на постоянный множитель, а не на постоянную прибавляемую или вычитаемую величину. Разумно поэтому было бы построить множество величин, являющихся частным от деления соседних членов последовательности друг на друга, а не их разности (см. рисунок на с. 90). Вычисляя частные от деления каждой пары чисел в последовательности 1, 2, 6, 24, ..., мы получаем на втором уровне пирамиды числа 2, 3, 4, Вторая последовательность говорит о резком изменении правила, задающего последовательность: третий ряд пирамиды нужно строить уже по разностям, а не по частным от деления. Наверное, ни у кого не возникнет сомнения в том, что в конце второго ряда должно стоять число 5? Таким образом, ответ будет равен 120, т. е. произведению 24, последнего заданного числа в первом ряду, и 5.

Программа SE Q, решающая задачи на продолжение числовых последовательностей, строит пирамиды, рассматривая как последовательности из разностей между соседними членами нижнего уровня, так и последовательности частных от их деления друг на друга. Более того, она исследует соседние пары чисел последовательности в поисках более общих аддитивных и мультипликативных правил. В аддитивном правиле первый член каждой пары может предварительно быть умножен на константу k , перед тем как произвести обычное сложение, а в мультипликативном правиле после обычного умножения к результату может быть прибавлена константа k . Написать такую программу — это довольно несложное упражнение для начинающих программистов (см. рисунок справа).

Несколько простых формул, на которых основаны общие правила по-

строения пирамиды, представляют собой главную часть программы SE Q. Предположим, что числа заданной последовательности уже были присвоены в качестве значений четырем переменным $a(1), a(2), a(3), a(4)$. Чтобы получить второй ряд, $b(1), b(2), b(3)$, программа пытается применить либо обобщенную формулу разности вида $b(1) - a(2) - k \times a(1)$, либо обобщенную формулу частного вида $b(1) - [a(2) - k]/a(1)$. В обоих случаях k означает произвольное целое число из определенного диапазона. Программа пытается также сделать аналогичные подстановки для $b(2)$ и $b(3)$ при одном и том же значении константы k : для $b(2)$ она пробует формулу $a(3) - k \times a(2)$ или $[a(3) - k]/a(2)$, а для $b(3)$ она пробует $a(4) - k \times a(3)$ или $[a(4) - k]/a(3)$.

Третий ряд, $c(1), c(2)$, получается еще проще: программа пробует подставлять лишь формулу простой разности $c(1) - b(2) - b(1)$ и $c(2) - b(3) - b(2)$ или простого частного: $c(1) - b(2)/b(1)$ и $c(2) - b(3)/b(2)$.



Очевидно, в тестах на умственное развитие очень редко встречаются задачи с числовыми последовательностями более сложными, чем те, которые охватываются рассмотренными формулами.

При построении пирамиды программа SE Q каждый раз пробует применить обобщенную формулу для вычисления значений b и простую формулу для значений c . Таким образом, программа создается как бы из четырех сегментов. Каждый сегмент представляет собой цикл с какой-то одной комбинацией подстановочных формул. Например, в одном из таких сегментов сначала применяются три обобщенные формулы частного вида $b(1) = [a(2) - k]/a(1)$ для вычисления значений $b(1)$, $b(2)$ и $b(3)$, образующих второй уровень пирамиды. Затем в этом сегменте применяются две простые формулы разности вида $c(1) = b(2) - b(1)$, чтобы получить значения $c(1)$ и $c(2)$ третьего уровня пирамиды. Весь набор из пяти формул вложен в так называемый цикл полного перебора возможностей, в котором пробуются каждое значение константы k . Феенстра рекомендует ограничивать значения k диапазоном от -5 до 5 .

Внутри цикла, после того как вычисляются новые значения $c(1)$ и $c(2)$, они проверяются на равенство. Если они оказываются равными, то их общее значение присваивается переменной k , а текущее значение константы k присваивается переменной kk . Сразу за циклом расположены операторы, строящие искомое число, продолжающее заданную последовательность (если решение было найдено) по значениям c и kk . В рассматриваемом примере получаем $b(4)$, новый член второго уровня, путем прибавления c к значению $b(3)$. Ответ, т. е. значение $a(5)$, получается затем умножением $a(4)$ на $b(4)$ и прибавлением значения kk к произведению.

Таким образом, двух операторов в конце каждого цикла оказывается достаточно, чтобы получить решение задачи, если поиск, осуществляемый в цикле, оказался успешным. Конкретный вид этих операторов зависит от формул, применяемых в соответствующем цикле, и я предоставляю читателям, желающим самостоятельно написать программу SE Q, установить, какими должны быть операторы, завершающие каждый цикл. Чтобы выделить переменную, представляющую наибольший интерес в каж-

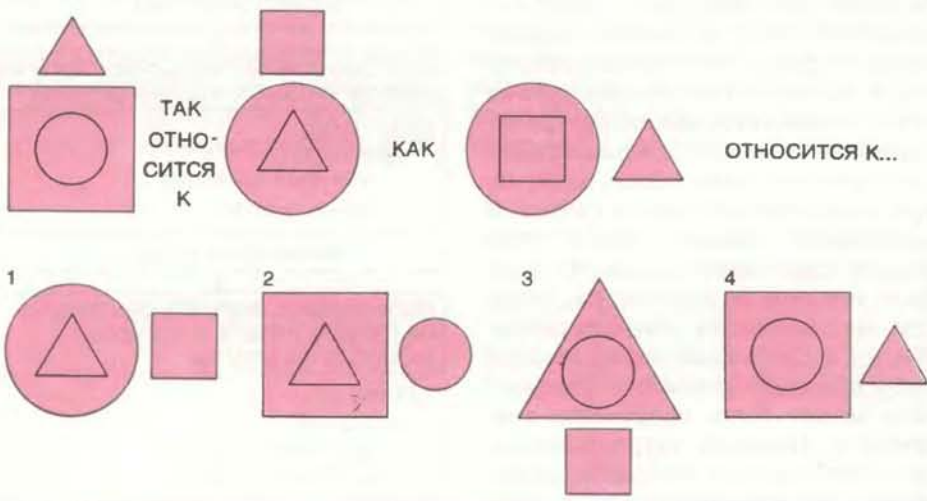
дом конкретном случае, воспользуйтесь приемами алгебры. И конечно, если один из описанных циклов программы приводит к решению задачи, то оно должно быть выведено на печать специальным оператором печати. При этом программа может уже не выполнять оставшиеся циклы и остановиться, или же она может выполнить все циклы, чтобы найти другие решения. Выполняя все циклы своей программы, Феенстра выявил несколько «некорректных» задач в тестах, имевших более одного правильного ответа. Если ни в одном из четырех циклов не удастся найти никакого решения, то разумно на этот случай предусмотреть вывод на печать сообщения о неудаче поиска. Каким именно должно быть это сообщение — дело вкуса. Те, кто хочет придать своей программе оттенок одушевленности, могут, например, заложить в нее сообщение «Помогите!».

Программу SE Q можно испытать на вопросах, взятых из нескольких широко известных книжек, посвященных тестированию. В книге Айзенка приведено восемь полных тестов, при помощи которых читатель якобы может определить коэффициент своего умственного развития. Тесты включают вопросы нескольких различных видов, обычно присутствующих в стандартных тестах, например вопросы о недостающем числе, недостающей букве, недостающем слове, неподходящем слове, о перетасованных словах и геометрических аналогиях (см. рисунок слева). В каждой категории вопросов обычно имеются несколько подтипов. Например, в книге Айзенка есть три типа вопросов о недостающем числе, а именно обычные задачи на дополнение числовой последовательности, уже рассмотренные выше, и два других типа задач, которые можно проиллюстрировать следующими двумя примерами:

| | | |
|-----|-------|-----|
| 164 | (225) | 286 |
| 224 | (---) | 476 |
| 8 | 3 | 21 |
| 6 | 5 | 25 |
| 12 | 2 | -- |

В каждом случае экзаменуемый потенциальный гений должен указать недостающее число в соответствии с «уловленным» им правилом. Программа Феенстры NI Q справляется с такими вопросами при помощи процедур, в которых применяются формулы того же типа, что и в рассмотренной выше программе продолжения числовой последовательности. Предлагаю читателям попробовать свои силы. В следующем номере журнала будут даны ответы к двум приве-

1. Вставьте недостающее число: 3 7 16 35 ...
2. Вставьте недостающую букву: Н Р Л Т Й Ф ...
3. Вставьте слово, завершающее первое слово и начинающее второе: АМ (...) АН
4. Подчеркните слово, неподходящее к остальным:
АБРИКОС БАГОР ВЕДРО ЛЮБОВЬ ГОРДОСТЬ
5. Подчеркните название города, который не находится в Италии:
АВЕЦЦАН ФОДЖА ТОНОПА ДЖЕЛА
6. Какая из четырех приведенных внизу фигур должна завершать верхнюю строку?



денным выше задачам, а также к задачам, представленным на рисунках на с. 90 и 92.

Хотя программа HI Q отвечает лишь на вопросы одного важного класса из числа предлагаемых в тестах на проверку умственного развития, решение задач, относящихся к другим классам, также можно автоматизировать. В самом деле, программа, решающая задачи на геометрические аналогии, была написана более 20 лет назад Т. Эвансом как часть его диссертации на звание доктора философии, которую он защитил в Массачусетском технологическом институте. Несмотря на то что все это звучит весьма серьезно, основные идеи, заложенные в программе Эванса, можно легко понять.

Все геометрические задачи, которые она призвана решать, сводятся к следующему: фигура A относится к фигуре B , как фигура C относится к одной из, скажем, четырех фигур, приведенных в качестве потенциального ответа. Программа выбирает подходящую фигуру, сначала пытается определить набор простых правил, трансформирующих фигуру A в фигуру B (см. рисунок справа). Затем она повторяет эту процедуру с фигурой C и каждой из четырех фигур — потенциальных решений задачи. В каждом случае генерируется набор правил, при помощи которых фигуру C можно трансформировать в искомую фигуру. Фигура, получающаяся в результате применения тех правил трансформации, которые ближе всего к правилам, трансформирующим фигуру A в фигуру B , выбирается в качестве ответа.

В программе Эванса пять раз повторяется, по существу, одна и та же операция. Каждый раз две фигуры, исходная и производная, служат в качестве входных данных. Для каждой такой пары фигур программа вырабатывает трехкомпонентное табличное описание процесса трансформации, в результате которого исходная фигура превращается в производную. Сначала программа перечисляет пространственные взаимоотношения между составными частями исходной фигуры, затем она перечисляет пространственные отношения между составляющими производной фигуры. В обоих описаниях рассматриваются лишь три пространственных отношения: *выше*, *слева от* и *внутри*. Наконец, программа описывает, каким образом изменяются составляющие детали второй фигуры по сравнению с составляющими первой. Изменения эти могут быть четырех видов; каждая деталь может: изменить свой размер, оказаться повернутой, быть от-

ражением или же вовсе исчезнуть.

Предположим, фигуры A , B и C состоят из трех частей каждая: круга, квадрата и треугольника. На фигурах A и B программа может обозначить треугольники буквой a , квадраты — буквой b и круги — буквой c , однако она не пытается обозначить детали фигуры C аналогичным образом. Вместо этого она присваивает трем

составляющим фигуры C произвольные обозначения x , y и z . Затем она создает трехкомпонентное табличное описание для пары фигур A и B и еще четыре описания, по одному для каждой пары фигур C и фигуры из числа кандидатов на ответ. В последних четырех таблицах повсюду используются обозначения x , y и z .

Завершающая операция програм-



ТАК ОТНОСИТСЯ К



| | |
|----|-----------|
| a: | НЕИЗМЕННО |
| b: | МЕНЬШЕ |
| c: | БОЛЬШЕ |



КАК ОТНОСИТСЯ К



| | |
|----|-----------|
| x: | НЕИЗМЕННО |
| y: | НЕИЗМЕННО |
| z: | НЕИЗМЕННО |



| | |
|----|-----------|
| x: | МЕНЬШЕ |
| y: | БОЛЬШЕ |
| z: | НЕИЗМЕННО |



| | |
|----|-----------|
| x: | МЕНЬШЕ |
| y: | НЕИЗМЕННО |
| z: | БОЛЬШЕ |



| | |
|----|-----------|
| x: | МЕНЬШЕ |
| y: | БОЛЬШЕ |
| z: | НЕИЗМЕННО |

мы Эванса состоит в том, чтобы произвести все возможные подстановки a, b и c вместо x, y и z . Поскольку x, y и z можно переставить лишь шестью различными способами, количество производимых подстановок в программе также равно шести. Одна из подстановок может превратить табличное описание пары фигур A и B в соответствующее табличное описание фигуры C и одной из фигур — кандидатов на ответ. Эта последняя фигура и представляет собой решение задачи. Если точного соответствия найти не удалось, то программа может подсчитать степень относительного успеха при подстановках и выбрать подстановку, дающую наилучший результат.

Патрик Уинстон описывает программу поиска геометрических аналогий в своей книге «Artificial Intelligence» (в переводе «Искусственный интеллект», см. библиографию). Уинстон утверждает, что программа «работает хорошо» и объясняет ее успех применением эффективной системы представления знаний, касающихся геометрических фигур, которыми оперирует программа. Например, вместо того чтобы указывать, каким образом такие отношения, как *выше*, *слева от* или *внутри*, изменяются от картинке к картинке, программа могла бы описывать, как одна фигура на первой картинке трансформируется в другую фигуру на второй картинке. Такая программа могла бы оказаться чрезвычайно громоздкой и к тому же неэффективной, поскольку ей нужно было бы проверить намного большее количество подстановок по сравнению с программой Эванса. В действительности поиск хорошего представления является центральной проблемой в задаче создания искусственного интеллекта. Очень часто удачно выбранное представление оказывается ключевым фактором, позволяющим компьютеру имитировать некоторые аспекты человеческого мышления, проявляемого при решении различных задач.

По аналогичным причинам представление объектов в сознании человека также является в настоящее время предметом оживленных дискуссий среди исследователей, занимающихся изучением природы человеческого интеллекта. В этом смысле необходимость изучения искусственного интеллекта часто объясняется, помимо всего прочего, и тем, что оно представляет собой попытку продемонстрировать «доказательство существования» механистического описания человеческих способностей. При этом рассуждают примерно так: если компьютерная программа оказывает-

ся в состоянии моделировать какой-то элемент человеческого поведения, то представление поведения, заложенное в программе, может по крайней мере служить моделью внутреннего представления того же элемента поведения в человеческом мозгу. Однако на самом деле успешное моделирование человеческого поведения зачастую проливает очень мало света на внутренние процессы, характерные для человеческой психики. Мы не можем с уверенностью утверждать, что существует какая-либо связь между механизмом работы программ Фенестры и Эванса и тем, как аналогичные задачи решаются людьми. Вероятно, человеческий разум при решении той или иной конкретной задачи пользуется более универсальными стратегиями.

Это последнее предположение как бы замыкает круг наших рассуждений и возвращает нас к вопросу о природе человеческого интеллекта и о том, как его можно измерить. Уже отмечалось, что С. Гоулд охарактеризовал тесты на умственное развитие как принципиальное заблуждение. В своей критике он делает акцент на двух главных недостатках, присущих самой концепции тестов: неправомерной материализации сугубо абстрактного понятия и ранжировании этой материализованной абстракции в одном-единственном измерении. В значительной степени эта наша склонность «делать вещи» из того, что в лучшем случае является лишь туманными абстракциями, объясняется самой природой языка. Более того, когда мы убеждаем себя в том, что имеем дело с реальной вещью, у нас срабатывает рефлекс попытаться измерить ее.

Требую единой количественной меры, мы совершаем вторую принципиальную ошибку, а именно ошибку ранжирования. Мы хотим свести сложные явления к одной шкале. Подобные методы привели нас к хорошей физике, но они также привели к плохим социальным теориям. В частности, я имею в виду тестирование интеллекта. Для XX в. это примерно то же самое, чем была для XIX в. кринометрия — система измерений черепа человека с помощью антропологических инструментов. В обоих случаях целые расовые группы людей оказались «измерены» принципиально ошибочно не только потому, что само по себе это измерение было почти бессмысленным, но и потому, что процесс измерения в значительной мере был подвержен предубеждениям, как сознательным, так и неосознанным.

Гоулд энергично атакует биологи-

ческий детерминизм, мнение о том, что поведение человека определяется его генами, и предостерегает нас от той точки зрения, что способности нашего мозга являются прямым следствием естественного отбора. «Наш мозг — это компьютер колоссальной сложности, — пишет он. — Если установить гораздо более простой компьютер для бухгалтерских расчетов на фабрике, то он может также выполнять и многие другие более сложные функции, не связанные с его непосредственной ролью. Эти дополнительные способности являются неизбежным следствием структурной конструкции машины, а не его приспособления. Наши значительно более сложные биологические компьютеры также были созданы с некоторой целью, однако они обладают почти ужасающим многообразием дополнительных способностей, включая большую часть того, что, как мне кажется, делает нас людьми».

И именно здесь Гоулд затронул то, что, на мой взгляд, должно тревожить нас в оценке относительно простой компьютерной программы, которая, подвергшись тесту на умственное развитие, получает балл на уровне гения. Измеряет ли этот балл умственное развитие компьютера? Если нет, то каким образом можно измерить интеллект машины независимо от того, сделана она из кремния или пластмассы или еще какого-нибудь материала? Ответ: наверное, не прогоном программы через набор тестов на умственное развитие.

ЛИНЕЙКИ Коломба, предмет статьи в февральском номере нашего журнала, оказались самой трудной задачей из тех, с которыми читатели сталкивались до сих пор. Многие были званы, да немногие избраны, так сказать. Несколько читателей попытались заработать приз в 100 долл., учрежденный изобретателем линеек Соломоном У. Коломбом из Южнокалифорнийского университета.

Линейка Коломба с n делениями — это кратчайшая возможная линейка, обладающая следующими свойствами: у нее n делений (включая концы), отстоящих друг от друга на расстояния, равные целым числам, и она измеряет все возможные интервалы, которые представляются суммой целых чисел, от единицы до интервала, равного длине линейки, причем каждый интервал измеряется единственным способом. Интервал может быть измерен линейкой только в том случае, если он оказался равным расстоянию между какими-нибудь двумя делениями линейки. Если одно и то

же расстояние можно измерить более чем одной парой делений, то линейка уже не принадлежит классу линейек Коломба.

Ко времени публикации статьи не было известно ни одной линейки Коломба, обладающей более чем 13 делениями, а кратчайшая известная линейка с 15 делениями имела длину 155 единиц. Однако вскоре после этого Д. Робертсон из Национальной службы США по исследованию атмосферы и океана открыл более короткую линейку с 15 делениями. Ее длина 153 единицы. Затем во время рождественских каникул Дж. Шерер из Исследовательского центра Томаса Уотсона фирмы IBM запрограммировал простаивающий компьютер для исчерпывающего поиска линейек, и теперь появились линейки Коломба с 14 и 15 делениями. Линейка с 14 делениями имеет длину 127 единиц, и ее деления расположены в точках 0, 5, 28, 38, 41, 49, 50, 68, 75, 92, 107, 121, 123 и 127. Линейка Коломба с 15 делениями имеет длину 151 единицу, и ее деления расположены соответственно в точках 0, 6, 7, 15, 28, 40, 51, 75, 89, 92, 94, 121, 131, 147 и 151. Шерер пишет, что он сэкономил много машинного времени, предположив, что среднее деление линейки находится слева от ее геометрического центра.

По другой задаче, поставленной Коломбом, мы получили письма читателей с заявками на премию в 100 долл. Однако все присланные до сих пор решения недействительны, поскольку они основаны на неправильном понимании задачи. Колумб попросил прояснить ситуацию, переформулировав условие задачи. Найти две различные линейки (не обязательно минимальной длины) с одинаковым количеством делений, превышающим число 6, которые измеряют один и тот же набор расстояний, причем опять-таки ни одно из этих расстояний не может быть измерено никакой линейкой более чем одной парой делений. Линейки, являющиеся зеркальным отражением друг друга, например такие, как 0, 2, 5, 6 и 0, 1, 4, 6, не считаются различными. Существует бесконечно много пар линейек (почти все они не минимальные), которые решают аналог задачи Коломба для шести делений. Например, такую пару образуют следующие линейки: 0, 1, 4, 10, 12, 17 и 0, 1, 8, 11, 13, 17. Они не являются зеркальным отражением друг друга. Это существенно разные линейки, но обе они измеряют все расстояния в диапазоне от 1 до 17, кроме 14 и 15. Награда достанется тому, кто первым найдет такую пару линейек с числом делений, большим шести.

Справочник музыкальных инструментов; столетие со дня рождения Нильса Бора; сажа в окружающей среде; коммуникация у головоногих; огонь

ФИЛИП MORRISON

Эндрю Стиллер. СПРАВОЧНИК МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ
HANDBOOK OF INSTRUMENTATION, by Andrew Stiller. University of California Press (\$65)

ЭТОТ красочно оформленный том представляет собой исчерпывающий справочник музыкальных инструментов. Автор, композитор и профессор Нью-Йоркского университета в Буффало, увлеченный и неутомимый исследователь, рассказывает нам о каждом инструменте, который в настоящее время используется в Северной Америке для исполнения классической и популярной музыки. Стиральная доска рассматривается как музыкальный инструмент не менее подробно, чем тончайшие клапаны геккельфона (баритонового гобоя) или струны и рама рояля. Классическая и популярная музыка таких композиторов и импровизаторов, как Доменико Скарлатти, Джон Кейдж или Грейтфул Дед, может быть услышана в исполнении на большинстве описанных здесь инструментов даже в самых отдаленных уголках земного шара. Из множества народных инструментов и инструментов незападного происхождения автором отобраны те, которые получили повсеместное распространение.

Наибольший интерес книга вызовет у музыкантов и композиторов, а также тех, кто занимается изготовлением и продажей музыкальных инструментов. Однако она написана столь превосходно, что ее с интересом прочтут даже те, для кого она не представляет практического интереса.

Все инструменты «сгруппированы» по главам в том порядке, в котором мы привыкли видеть их в оркестре. Для каждого инструмента (начиная с наиболее распространенного и кончая самым редким) названы самые выдающиеся исполнители. В книге приводятся краткие исторические сведения о музыкальных инструментах, дан физический анализ их работы и рассмотрены их возможности. Рассказ о музыкальном инструменте, как пра-

вило, заканчивается воспоминаниями очевидцев об особенностях исполнения того или иного виртуоза. В приложении есть даже небольшой список изготовителей каждого инструмента.

Около трети раздела, посвященного современным инструментам, отводится обширной семье ударных инструментов, а также необходимых аксессуаров к ним: щеточек, палочек, молоточков. Немного меньше места занимает повествование о реконструкции старинных инструментов — рожков, виол, клавесинов и лютней, долгое время пребывавших в забвении, а теперь вновь доставляющих наслаждение любителям старинной музыки.

Рецензия на книгу, одно из главных достоинств которой состоит в исчерпывающем охвате материала, может получиться скучной, если не остановиться на чем-либо более подробно. Выберем для этого уникальный «музыкальный инструмент» — человеческий голос, который автор описывает во всем его разнообразии. Почти все звуки, которые мы в состоянии издавать, используются в том или ином языке. Автор знакомит нас с Международным фонетическим алфавитом (с точки зрения современного лингвиста он уже устарел, поскольку не в силах «справиться» со шелкающими и взрывными звуками, а также со звуками, похожими на криканье утенка Дональда, и тем не менее этот алфавит по-прежнему остается «находкой для композитора»).

Регистры непоставленного голоса анализируются с помощью элементарной физики. Напряжение голосовых связок определяет высоту звука, резонанс между полостью гортани и рта придает ему тембр. Различают четыре степени напряжения связок, называемые четырьмя регистрами. Звуки разных регистров звучат по-разному и отличаются как по высоте, так и по тембру. Четыре регистра — это: горловой, фальцетный, грудной и «граул». Звуки горлового регистра, тонкие и пронзительные, обычно сопровождают детские игры. Он почти

не употребляется в музыке — исключение составляет «Ария царицы ночи» Моцарта. Регистр «граул», нижний предел которого не указан, легче берется на вдохе. В случаях когда необходимо передать особый голосовой эффект, используются такие предметы, как охотничий рог или даже небольшой кувшин. Этот раздел заканчивается на грустной ноте сожаления по поводу «почти неизведанной области» музыки — художественного свиста. «Лишь 2—3 человека во всем мире могут насвистывать и напевать одновременно два мотива».

С большим интересом читается описание различных, подчас неожиданных музыкальных инструментов. Малый барабан подробно рассматривается на нескольких страницах. Это самый «западный» из всех барабанов. Верхняя и нижняя его поверхности настроены в диссонанс, на нижней укреплены проволочные спирали. Во время ударов по барабану спираль начинает звучать как струна, что создает почти непрерывный белый шум. Большой молот (необходимый, например, при исполнении произведений австрийского композитора Альбана Берга) обязательно используется в сочетании с массивной деревянной или металлической плитой, лежащей на полу. Его можно поднять только двумя руками, а полный удар требует времени не менее четверти музыкального такта.

Подробнейшим образом в книге рассказывается о современных электронных инструментах. Их сравнительно молодая аудитория — самая обширная в наши дни. Несколько разновидностей электрогитары с «довольно резким и мощным звучанием», оснащенной фуссами, ревербераторами, вибрато, «квакушками» и фазообразователями, занимают среди них центральное место. Источник сигнала представляет собой два-три магнитных адаптера, расположенных под металлическими струнами. Электрогитара не имеет акустического резонатора. «Ее сила в мелодии, чистой и безыскусной». Звук, который мы слышим, — это результат многократного усиления, воспроизводимый через динамик. Фусс вносит искажения, которые делают вторую гармонику громче основной. Вау-вау, или «квакушка», играет роль сильно подавляющего фильтра, управление частотой отсечки которого осуществляется ножной педалью. Действие ревербератора и вибрато также можно свести к эффектам фильтрации; фазообразователь представляет собой разновидность гребенчатого фильтра, который подавляет противоположные по фазе гармоники.

Ныне уже ставший «ветераном» синтезатор Муга снабжен клавиатурой, внешне напоминающей органную. С ее помощью можно управлять полудюжиной стандартизированных генераторов колебаний, каждый из которых может генерировать управляющее напряжение для других генераторов колебаний или для конечного акустического устройства. Форма генерируемых ими сигналов (пилообразная, прямоугольная, треугольная и т. д.) задается с помощью кнопочного управления. Свообразные нюансы вносятся генераторами белого и розового шума («как отзвуки далекой грозы»). Часто применяются и разнообразные нелинейные трансформации, такие, как смешивание и «подрезание». С помощью магнитной записи всех этих ухищрений удается максимально передать замысел композитора.

Однако, в мире электроники все быстро меняется. Все шире распространяются цифровые синтезаторы с микропроцессорным управлением. И пусть пока они способны генерировать в дискретной форме лишь то, что делал в аналоговой синтезатор Муга, зато они значительно компактнее и дешевле.

В заключение скажем, что в книге прекрасно отражен акустический мир корпусов и мембран музыкальных инструментов, труб и струн, представленный во всем удивительном многообразии размеров, форм и материалов. Иногда поражающие своей красотой, иногда абсурдные, они не просто приводят в движение воздух, а неразрывно связаны в нашем представлении с древним искусством музыки.

НИЛЬС БОР: К СТОЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ. Под редакцией А. П. Френча и П. И. Кеннеди

NIELS BOHR: A CENTENARY VOLUME, edited by A. P. French and P. J. Kennedy. Harvard University Press (\$27.50)

«Дорогой отец, — писал физику старшего поколения Л. Брэгг, в то время студент физического факультета Кембриджского университета, — я рад, что тебя заинтересовало то, что я написал тебе о Джинсе. . . Я узнал много полезного от датчанина, который слышал, как я задавал вопросы Джинсу, подошел к нам и высказал свое мнение по этому поводу. Его рассуждения чертовски убедительны и интересны». Датчанин, о котором идет речь, — это Нильс Бор, двадцатипятилетний сотрудник Кавендишской лаборатории, недавно закончивший аспирантуру.

Ему вскоре предстояло отправиться к Резерфорду в Манчестер, как раз в тот момент, когда в процессе исследований по рассеянию альфа-частиц было открыто атомное ядро. Начало попыткам самого Бора объяснить законы спектров атома было положено в 1911 г.

Задолго до того, в 1885 г., И. Я. Бальмер опубликовал свою замечательную формулу, описывающую закономерность в спектральных линиях атома водорода в видимой области. Именно в этом году родился Нильс Бор, и науке потребовалось еще три десятилетия, прежде чем был объяснен смысл этой формулы. Созданная Бором модель атома была приближенной и незавершенной, хотя он, безусловно, находился на верном пути. Когда же Бор продемонстрировал, как легко она «переносится» на спектр гелия, интерес к ней резко возрос. В октябре 1913 г. он слегка видоизменил свою модель, включив в нее движение самого ядра, подобно тому, как в задаче Кеплера о планетных орбитах учитывается движение Солнца. Вскоре эта модель нашла экспериментальное подтверждение: она описывала закономерность расположения спектральных линий атома гелия с точностью до двух сотых тысяч. Дьёрдь Хевеши, близкий друг Бора, писал ему о реакции Эйнштейна на сообщение о подтверждении теории Бора: «Услышав эту новость, Эйнштейн был крайне изумлен и сказал мне: — Выходит, частота излучаемого света вовсе не зависит от частоты вращения электронов в атоме. . . Это огромное достижение. Теория Бора должна быть верной».

Однако эту теорию нельзя было назвать законченной. По выражению Отто Фриша, она напоминала реальный атом не больше, чем беглый карандашный рисунок напоминает живое лицо. «Подлинный Иаков» — квантовая механика появилась на свет лишь в середине 20-х годов. Насколько велика была в то время роль Бора (скорее, в смысле глубокого понимания проблемы, чем по числу опубликованных на эту тему работ), мы узнаем из нескольких необычайно теплых воспоминаний выдающихся физиков о времени, проведенном ими в Копенгагене в период между двумя мировыми войнами. Чувство огромной любви и уважения, рожденное совместным трудом, направленным на решение сложнейшей научной проблемы, ощущается в том, что написано о Боре. Он был не только вдохновителем, но и непосредственным исполнителем некоторых рискованных начинаний. Так, нельзя равнодушно читать страницы, посвящен-

ные неожиданной поездке Бора в Германию в злополучном 1933 г., когда рождалась империя «третьего рейха». Он посещает один университетский городок за другим, разыскивает физиков, которым грозит опасность, и хладнокровно составляет «план их эвакуации».

В книге приводится знаменитая статья Бора — наполовину исторический обзор, наполовину ретроспективный анализ его длившегося несколько десятилетий спора с Эйнштейном о том, можно ли рассматривать квантовую механику как законченную теорию, или же она является лишь статистическим «портретом» более общего, но скрытого от нас закона природы. Бор написал эту статью в 1949 г. к 70-летию Эйнштейна. Благодаря глубине поднятых в ней проблем она сохраняет актуальность и поныне. Еще в двух-трех более коротких статьях обсуждается и подытоживается современное состояние вопроса о задержке экспериментального выбора между двумя интерферирующими переменными, пока не пройдет достаточно времени после взаимодействия. Как утверждал Бор, новые результаты подтверждают квантовую картину, основанную на неразделимости эксперимента, хотя они и противоречат менее тонким проявлениям физической действительности.

Другое серьезное увлечение Бора — деление атомного ядра. Явление это стало впервые известно в 1939 г. Именно Бор лично известил ученых по ту сторону Атлантики, что О. Фриш и Л. Мейтнер объяснили и еще раз подтвердили загадочное сообщение радиохимиков о том, что уран способен поглощать нейтрон, распавшись при этом на два тяжелых осколка и выделяя неслыханное количество энергии. Бор и Дж. Уилер потратили около 6 месяцев на то, чтобы объяснить физику этого процесса и, в частности, предсказать, какой из изотопов будет делиться. Статья, посвященная этой проблеме, появилась как раз в тот год, когда в Европе разразилась война. В сокращенном виде она воспроизводится на страницах книги и сопровождается воспоминаниями Уилера, а также комментариями, повествующими о судьбе упоминаемых на страницах книги людей и о событиях того рокового для науки и всего человечества года.

Война коснулась и самого Бора. Он покинул Данию и переправился в Англию в бомбовом отсеке военного самолета, переделанного таким образом, чтобы иметь возможность перевозить штатских лиц из нейтральной Швеции в Англию на высоте, недося-

гаемой для самолетов «Люфтваффе». Из Англии он отправился в Лос-Аламос, чтобы затем в роли консультанта англо-американского атомного проекта попытаться внушить Рузвельту и Черчиллю идею необходимости международного контроля над атомным вооружением. Текст меморандумов, подготовленных им для глав двух держав, приводится в книге и сопровождается комментариями, написанными в наши дни. Призыв Бора сделать открытыми работы по использованию ядерной энергии был оставлен без внимания как во время войны, так и после ее окончания. Премьер-министр Великобритании с самого начала отнесся с неприязнью к человеку «с пышной шевелюрой», а в своей «рычащей» памятной записке о разговоре с Рузвельтом даже писал, что «Бора следовало бы заключить в тюрьму. . . Он — ярый сторонник гласности».

Раздел, знакомящий читателя с философскими воззрениями Бора, включает как документы, относящиеся к прошлому, так и воспоминания, написанные позднее. Эти статьи передают отношение к копенгагенской школе как со стороны индийской философии, так и с точки зрения марксизма-ленинизма. Любопытно замечание Хидеки Юкавы о том, что боровский принцип дополнительности был воспринят в Японии как нечто очевидное. «Видите ли, мы. . . не были «испорчены» Аристотелем».

Книга, дань восхищения личностью Бора, далека от того, чтобы быть панегириком. Читатель узнает и о тех случаях, когда Бор оказывался неправ: так было в тяжелый для него год накануне открытия эффекта Комптона (Бор тогда был готов отказаться от законов сохранения), или, например, о высказанном им предположении, что успехи молекулярной биологии потребуют дополнительности на некотором глубоком функциональном уровне и что свет не является ключевым фактором для жизни. Эта мысль, насколько мы можем судить сейчас, скорее, связана со шредингеровским понятием аperiодического кристалла. Тем не менее интересно познакомиться с замечанием Х. Казимира, что именно Бор натолкнул его на идею нулевых колебаний фотонного поля — ключ к замечательному выводу формулы для сил взаимодействия между близко расположенными проводниками. Мы можем видеть, что мысль Бора на несколько десятилетий опережала представления его современников.

Несколько страниц иллюстрированного стихотворного текста взяты из копенгагенской пародии на «Фаус-

та», написанной в 1932 г. в основном М. Дельбрюком. В Мефистофеле мы безошибочно узнаем Вольфганга Паули, а господь бог в высоком цилиндре имеет несомненные черты сходства с Нильсом Бором. Целиком текст пародии приводится Георгием Гамовым в его автобиографической книге «Тридцать лет, которые потрясли физику».

Физики старшего поколения получат огромное удовольствие от знакомства с этим изданием, снабженным столь милыми их сердцу формулами и цитатами. Около одной пятой текста составляют работы самого Бора, еще одну пятую — более ранние физические исследования, остальное написано специально к столетию со дня рождения Бора. Несомненно, тот, кто посвятил себя физике, захочет ознакомиться с этими ценными материалами. Книга будет удачным приобретением для каждой библиотеки, начиная со школьной. Любкой читатель, имеющий отношение к науке, найдет для себя много интересного в этом собрании 40 разнообразных прекрасно написанных статей.

Эдвард Д. Голдберг. САЖА ВОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ: СВОЙСТВА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

BLACK CARBON IN THE ENVIRONMENT: PROPERTIES AND DISTRIBUTION, by Edward D. Goldberg. John Wiley & Sons, Inc. (\$29.95)

ЭТО ВЕЩЕСТВО можно встретить повсюду. К сожалению, наши знания о нем еще недостаточны: мы пока не можем даже дать его четкого определения. Черные сложные макрочастицы сажи имеют размеры от десятых долей микрона до десятков микрон. Типичная частица не является чистой: большинство составляющих ее атомов — атомы углерода, однако содержание водорода, кислорода, азота и серы также может быть значительным. Частицы сажи — результат неполного сгорания. Таково вещество, ставшее предметом исследования этой монографии.

В последнее время ученые обратили внимание на значительную концентрацию сажи в слое глины, покрывающем повсюду на Земле отложения мелового периода. Именно в то время звезды «предопределили» гибель динозавров. Эдвард Д. Голдберг, специалист по химической океанографии из Скриппсовского океанографического института, подготовил краткий, но широкий по охвату темы обзор большого и быстро растущего числа разрозненных публикаций. Богатый фактический материал, пред-

ставленный в книге, предлагает нам широкий взгляд на неожиданные процессы, представляющие особый интерес для такого читателя, который любит цифры.

Автор книги и его коллеги измерили количество сажи как в прибрежных водах Тихого океана, так и в открытом море. Нет никакого сомнения в том, что это вещество попадает туда с суши, ведь его количество в районах, удаленных от материков, в тысячу раз меньше, чем у побережий. В то же время, измеренные величины «притока» удивительно хорошо согласуются с оценками количества сгоревшей биомассы, основанными на учете общих площадей, покрытых растительностью различных типов, плотностей биомассы и степени сгорания. Как выяснилось, с 1960 по 1980 г. примерно одинаковые (в глобальном масштабе) количества сажи попали в окружающую среду в результате выжигания лесов в зоне подсечно-огневого тропического земледелия и сжигания отходов сельского и лесного хозяйства. Несколько менее значительными, но сравнимыми источниками сажи были пожары в саваннах, а также сжигание дров в промышленности и домашних печах.

На Лос-Анджелес и его пригороды сыплется настоящий дождь сажи, выбрасываемой в атмосферу в основном тяжелыми дизельными грузовиками, производящими ее вдесятеро больше, чем другие машины. И все же количество сажи, выпадающее на единицу площади, в этом районе необычайно скопления автомобилей лишь в 10 раз превосходит тот же показатель для малонаселенных побережий. Расчеты показывают, что сжигание природного топлива во всем мире дает на два порядка меньше сажи, чем биомасса, горящая повсюду на фермах, в лесах и степях. «Черные районы» выглядят весьма мрачно, но их площадь относительно невелика. На фотографиях, сделанных со спутников в ночное время, видны костры на фермах, куда более распространенные, чем городские огни, а также лесные и степные пожары, поднимающие в воздух гораздо больше сажи, чем большая часть топок, где сжигается нефть или уголь.

Что же представляет собой частица сажи? Описать ее непросто, хотя в последнее время для ее исследования применялись самые современные методы: электронная микроскопия, комбинационное рассеяние света и ядерный магнитный резонанс. В книге детально описана молекулярная структура одного из видов субмикронных частиц сажи, образующихся при сгорании гексана. В общих чертах

этот нетипичный объект исследования представляет собой пористый комплекс из беспорядочно ориентированных крошечных зерен, состоящих в свою очередь из гексагонально упакованных углеводородных колец. В каждом зерне насчитывается по несколько десятков таких молекул, в значительной степени «разбавленных» другими, не столь правильными кольцами, а промежутки между ними содержат всевозможные открытые окисленные углеродные цепи. Кристаллический порядок соблюдается далеко не везде. Подобная сажа образуется при сгорании смолы, входящей в состав биомассы, в то время как при сгорании ее древесного компонента получают частицы удлиненной формы — остатки клеток.

Определения количества сажи, падающей в атмосферу, дают противоречивые результаты. Если исходить из величины ее ежегодного выброса в окружающую среду, то весь углерод биосферы перешел бы в нее за ничтожный по геологическим масштабам отрезок времени — менее чем за 100 тыс. лет. Такая скорость, по видимому, нереальна, даже если значительный приток метана из глубин Земли действительно имеет место. Известно, что частицы сажи огнестойки и плохо растворимы. Тем не менее существуют процессы, разрушающие крошечные частицы сажи: фотохимические реакции, медленное окисление, а также разрушение бактериями. Исследование с помощью меченых атомов показало, что в почве, в которой присутствует множество микроорганизмов, из сажи гораздо быстрее образуется двуокись углерода, чем в стерилизованных образцах той же почвы. Однако эти изменения происходят очень медленно, и в реальных условиях для их наблюдения могут потребоваться десятилетия. Таким образом, результаты пока неопределенны.

Не все пока ясно и с прочтением «летописи», запечатленной в недавних отложениях. Например, в пробах, взятых со дна озера Мичиган, в слоях, относящихся к прошлому столетию, преобладают мелкие частицы, образующиеся при сжигании биомассы. После 1900 г. количество и размеры частиц, теперь уже угольной сажи, резко возрастают. При этом максимум достигается примерно в 1960 г. Ясно, что озеро получало все большее количество сажи, выбрасываемой из труб растущего промышленного района Чикаго, вплоть до появления законодательства об охране окружающей среды. Пробы ила со дна Облачного озера, лежащего среди зеленых лесов Миннесоты, свидетельствуют о

неизменном притоке сажи в течение последнего тысячелетия, отмеченного лишь отдельными многозначительными пиками, связанными с пожарами. Возраст проб, взятых на большой глубине со дна Тихого океана, — более 50 млн. лет. Они свидетельствуют об увеличении «притока» сажи за это время примерно в 100 раз. Количество частиц сажи в отложениях в последние несколько миллионов лет оставалось примерно одинаковым, причем появление человека заметно не отразилось на нем. Возможно, указанный рост — следствие пожаров, в которых сгорали травянистые растения, на протяжении миллионов лет покрывавшие равнины Азии и Африки.

Книга заканчивается представляющим немалый интерес обзором аналитических методов и ссылками на многочисленные и разнообразные источники. Наиболее очевидный вывод, вытекающий из собранных автором фактов, заключается в том, что огонь намного древнее, чем наш род. И этот дар Прометея, который в наше время грозит стать термоядерным, по-видимому, еще не безопасен в человеческих руках.

Мартин Мойнихен. КОММУНИКАЦИЯ И НЕКОММУНИКАЦИЯ У ГОЛОВОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ

COMMUNICATION AND NONCOMMUNICATION BY CEPHALOPODS, by Martin Moynihan. Indiana University Press (\$32,50)

ЛЕТ ДЕСЯТЬ назад на страницах «Scientific American» была опубликована рецензия на необычную книгу о поведении приматов Нового Света, также написанную сотрудником Смитсоновского института по изучению тропиков М. Мойнихеном. Та работа была основана на результатах, накопленных в течение 17 лет полевых и лабораторных наблюдений за поведением наших быстрых и ловких меньших братьев. Книгу М. Мойнихен посвятил прежде всего поискам языка, точнее вопросу о том, являются ли языком разнообразные, нередко последовательные писк, трели и ворчания, которые мармозетки и тити издают, находясь в обществе сородичей. Звуки часто дополняются различными позами и демонстрациями. Манера, в которой автор описывает все эти феномены, вызывает восхищение своей простотой. Его предположения и рассуждения носят весьма личный характер, очень теоретичны и зачастую несколько странны. Но общий вывод достаточно четок: у приматов большинство признаков языка нали-

чувствует, но самой его сути может и не быть. Признаки врожденны и неизменны: мартышки не обучаются своим «высказываниям». И нет никаких свидетельств того, что эти активные существа могут создавать новые комбинации, столь характерные для человеческой речи (и даже для жестикуляции) и необходимые в нем, так как обеспечивают продуктивность языка, без которой не может существовать человеческое общество. Однако в условиях социального стресса у некоторых обезьян появляются намеки на новые позы и движения. Мойнихен научился судить о состоянии животного по его поведению. Но собрать необычно ведущего себя животного не обращают внимания на его выходки.

На первый взгляд кажется само собой разумеющимся, что автор книги — приматолог. Но такая характеристика слишком узкая: в то самое время, когда Мойнихен писал книгу о приматах, он уже, так сказать, оставил зеленую сень лесов, чтобы погрузиться в голубые воды у далеких коралловых рифов Карибского моря с целью наблюдать головоногих моллюсков, в частности один вид некрупных стайных кальмаров. Результаты этих своих полевых исследований и появившихся на их основе размышлений Мойнихен изложил в опять-таки очень шутивной, живой и в то же время теоретически изощренной небольшой книге об одной особенной форме коммуникации у животных. Самая существенная информация представлена в ней на нескольких десятках рисунков, как выполненных с натуры (в черном и белом цвете размывкой), так и взятых из литературы. На них изображены колеоидные (внутреннераквинные) головоногие — осьминоги, каракатицы и кальмары, — обитающие в мелководных районах тропических морей. Рисунки поражают смелыми контрастами при кажущихся текучими формами, так что создается впечатление, будто перед тобой книга о новой школе в изобразительном искусстве. Но это не сотворенное человеком искусство, а «театр мимики и жеста» самых хитроумных из современных беспозвоночных — головоногих моллюсков, родословная которых началась задолго до появления млекопитающих.

Эти удивительные морские создания разговаривают молча. Они вообще не реагируют на звуки ни в лаборатории, ни в естественных условиях в море. Быть может, так они защищают себя от мощных звуковых импульсов своих врагов — китообразных. Видят головоногие прекрасно; правда, имеющиеся на сегодня данные

свидетельствуют, что они вроде бы не различают цветов. У головоногих в коже имеются мириады мешочков с пигментом, которые способны по желанию животного то сжиматься до размеров булавочной головки, то расширяться так, что на поверхности тела появляется окрашенное пятно. Такое строение кожи позволяет им за долю секунды сложным образом менять окраску всего тела, причем процесс этот полностью контролируется. Только светлячки да бабочки способны менять свой облик с не меньшей быстротой и четкостью, но в сравнении с головоногими у насекомых выбор ограничен стереотипами. Живописные изменения окраски и одновременно текстуры поверхности тела у головоногих по разнообразию и скорости реакции не имеют себе равных в мире животных. Головоногие могут также выбрасывать в воду облачка окрашенной жидкости («чернила»), светлой или темной.

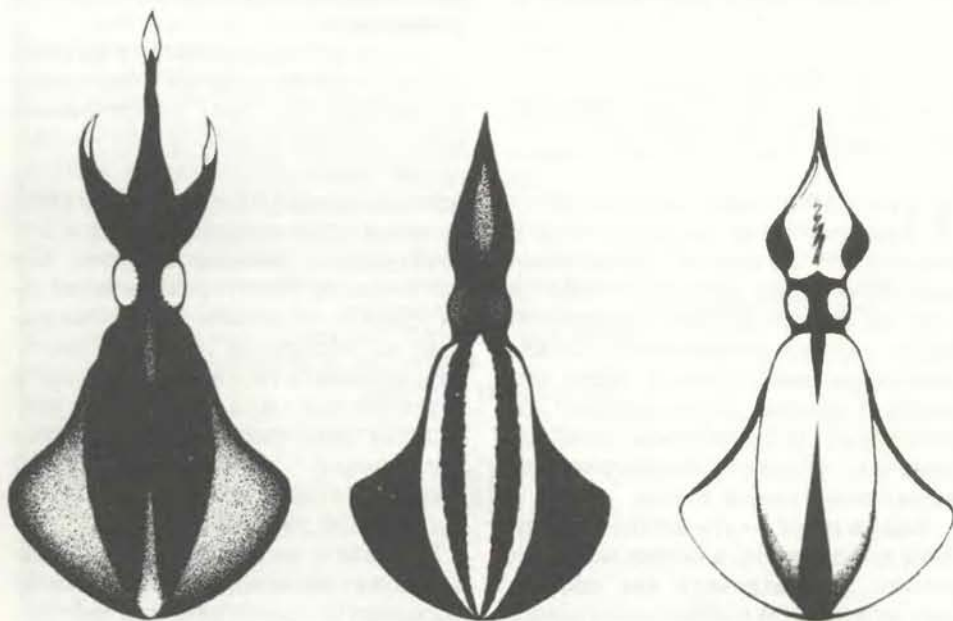
При демонстрациях для головоногих обычны ритуализованные, преувеличенные облики. У кальмаров и осьминогов различают десятка три типов обликов; они весьма разнообразны — от бесцветного до «отпугивающих (глазчатых) пятен» и «полос зебры». Иллюстрации весьма убедительны. На одном рисунке изображен кальмар, втянувший голову с конечностями внутрь мантии так глубоко, что принял форму шарика, а на его поверхности вспыхивают пятна, создавая впечатление «лика луны». Моделью этого облика может быть только позвоночное. На другом рисунке показан молодой кальмар, принявший «темный» облик с изогнутыми и закрученными вверх щупальца-

ми; в таком виде он больше всего похож на собственное чернильное облачко, только что им выброшенное и медленно улывающее, т. е. животное подражает своей собственной «обманке».

Часто ритуальные облики представляют собой «антидемонстрации». Их задача — сделать животное заметным, но при этом привести в заблуждение и испугать. Характерно быстрое чередование обликов, обычно в виду хищника; такое представление имеет целью сбить хищника с толку. Та же демонстрация может быть обращена к другому кальмару, составляя часть полового или социального контакта, но в этом случае, в отличие от поведения по отношению к хищнику, не бывает стереотипной последовательности обликов.

У кальмаров есть и еще большие хитрости. Когда приближается хищник, все особи стаи могут менять облики синхронно и одинаково, скажем чередуя продольную и поперечную полосатость. Нередко при этом какая-то одна особь «шагает не в ногу»: ее тело все время принимает окраску, противоположную другим. Стараются ли животные выглядеть не таким, как все? «Если да, значит, оно реагирует на свое окружение более... изощренным образом, чем даже самые искусные специалисты по камуфлированию».

Но хитрость — это еще не все. Зрительный словарь головоногих сложно организован. Например, побледнение, по-видимому, коррелирует с испугом, серебристый отблеск — с поллом. Имеются явные признаки своего рода самосознания: кальмары могут быстро воспринимать, как выглядит



Разные типы окраски у кальмара *Sepioteuthis lessoniana*

их окружение и они сами. С этим согласится каждый, кто видел снятое на киноплёнку «представление» с участием головоногих «артистов». Мойнихен обнаружил у рифового кальмара элементы простейшей грамматики. Имеются действенные сигнификаторы, например «растопыренная» форма тела, а также три более слабые категории. Определённые облики (в том числе «боковые полосы») и позы (к примеру, «склоненная голова») служат модификаторами. Когда животное спокойно, его тело имеет равномерную фоновую окраску. Обычны не являющиеся ритуальными последовательности обликов; возможно, они выполняют функцию общения у стайных форм.

Межвидовые различия очень велики. У одних видов нет «основного фона»: они постоянно мерцают, меняя тон окраски при малейшем возбуждении. Но и тут нет никаких свидетельств возникновения новых сочетаний уже существующих знаков, что так характерно для человеческого языка. А может быть, они когда-нибудь появятся и у головоногих. Чтобы исследовать этот вопрос, необходима киносъёмка животного, подающего сигнал, и одновременно животного, реагирующего на него. Таких данных пока нет. Обыкновенный осьминог, этот великолепный мим, который неподготовленному зрителю кажется полным самосознания артистом, очень необщительное животное. Сигнализировать другому о своем опыте и передразнивать, чтобы вызвать ответ, — слишком сложные задачи. «Не всякий способен покраснеть полосами вдоль или поперек». Еще далеко то время, когда мы научимся понимать столь чуждый нам древнейший на земле язык.

Джон У. Лайенз. ОГОНЬ.
FIRE, by John W. Lyons. Scientific American Books, Inc. (\$24.95)

НА СУПЕРОБЛОЖКЕ этой книги, рассчитанной на широкий круг читателей, помещена репродукция картины Жоржа де Ла Тура «Магдалина со светильником». Изображенная на картине женщина погружена в печальную задумчивость перед спокойно горящим светильником. Долгое время скромное пламя свечи или лампы служило метафорическим выражением самой жизни.

Пламя свечи — это не что-то инертное и застывшее, а скорее всего, его можно рассматривать как процесс, реагирующий на слабые возмущения, но устойчивый по отношению к ним. «Потребляя» топливо, оно выделяет

тепло и продукты сгорания. В некотором смысле его можно назвать самовоспроизводящимся: пламя свечи рождает другое, подобное себе, если оно вступит в контакт, например, с незажженной свечой.

Еще Майкл Фарадей, заинтересовавшись пламенем простой свечи, сделал ее «героиней» своего классического эссе, представляющего собой великолепный образец научного подхода. Так что дорогу доктору Лайензу уже осветил его выдающийся предшественник: в первой главе автор использует фарадеевский подход к теме. Мы встретим в ней рассказ о взаимодействии двух потоков — тепла и массы, узнаем немного о химии горения воска (которая таит еще много секретов) и получим некоторое представление о «физиологии» этого протоорганизма.

Источник пламени свечи — это маленькая лужица расплавленного воска. Отсюда его пары поднимаются вверх, разлагаясь сперва до простых химически активных радикалов, дающих слабое синее спектральное свечение, и затем до атомов углерода, конденсирующихся в частички черной сажи. Сажа эта настолько раскалена, что спектр ее теплового излучения простирается до оранжевой области. Мельчайшие углеродные частицы, поднявшись еще выше и соприкоснувшись со «свежим воздухом», в свою очередь окисляются, образуя конечные продукты горения — водяной пар и углекислый газ, уносимые конвекцией за пределы области свечения. Разумеется, воздух — обязательный участник горения. Однако 80% его составляет не вступающий в реакцию азот, лишь отводящий выделяемое при этом тепло. Свеча, зажженная в кислороде, пылает, словно маленький фейерверк.

Что касается волокнистого фитиля, то для горения свечи он совершенно необходим. По нему растопленный воск поступает наверх, в зону голубого свечения, окружающую фитиль. Здесь поглощаемая энергия достаточно велика для испарения воска и для возбуждения реакции горения. Без фитиля даже более горячая и яркая зона оранжевого пламени, лежащая высоко над верхушкой свечи, не способна поддержать горение: сечение свечи относительно мало и на ее долю приходится лишь ничтожная часть всего изотропного потока выделяемой энергии, которой не хватает даже для того, чтобы растопить воск.

Если взять масляную плешку, горение может происходить и без фитиля: сказывается геометрический фактор. Если питающая поверхность достаточно велика, то двухсантиметровое

расстояние до горячей зоны оранжевого свечения уже не является сверхбольшим: пламя отдаёт обратно (уже не в одном направлении, а во всю нижнюю полусферу) достаточную долю своей энергии. Удивительно, что до сих пор изготовление свечей остаётся сложным искусством, опирающимся на традиции и опыт.

В последующих главах первой части книги подобным же образом рассматриваются сначала горение дров в домашних очагах и печах, а затем огонь в заводских печах, в цилиндрах автомобильных моторов, в больших газовых турбинах, и даже мощное пламя из хвоста ракеты «Сатурн С-5». Древесина горит в результате термического разложения до горючих газов; горящая поверхность раскаляется сама и получает тепло от соседних поверхностей. Важную роль играет соотношение между скоростью поступления свежего воздуха и потерями тепла на излучение и нагревание уносимого прочь воздуха.

Вторая часть книги посвящена той области науки, в которой работает автор. Долгое время он отвечал за крупномасштабные исследования по предотвращению и борьбе с пожарами. Может показаться, что эта молодая область инженерного искусства не способна справиться с запутанной геометрией и смешением всевозможных материалов охваченного пожаром жилого дома или отеля. И все же в понимании этих процессов сделан существенный шаг вперед, ставший возможным благодаря дорогостоящим полномасштабным экспериментам, экспериментам на моделях в масштабе 1:4, а также машинному моделированию.

Подобно другим явлениям нарастания, пожар в помещении поражает своей нелинейностью. Поначалу нарастание идет медленно: кажется, что потушить огонь не составит особого труда. Затем в считанные секунды огонь охватывает все воспламеняющиеся поверхности: мебель, деревянные полы и стены. Приборы, установленные в специальном экспериментальном помещении, позволили пронаблюдать и заснять на пленку этот страшный процесс. Спустя две минуты после того, как зажженная сигарета упала на обивку, появились первые языки пламени. Еще двумя минутами позже толстый слой горячего газа скопился у потолка. На шестой минуте этот разогретый слой увеличился настолько, что воздух начал перетекать в прилегающий коридор через верх дверного проема. Еще через полторы минуты пламя охватило уже все поверхности в комнате. На этом распространение огня в стороны

приостановилось. Далее процесс происходил более или менее неизменно (хотя и очень быстро), управляемый лишь механизмами горения вещества. Минуты — и потушить пожар окажется невозможно.

Чрезвычайно трудно предугадать, как разнообразные материалы будут взаимодействовать друг с другом; невозможно предсказать, каков будет рисунок пляшущих огненных языков. И все же компьютерные модели сегодня предсказывают с 15%-ной точностью момент воспламенения для хорошо изученного типа помещения. Существуют программы для описания реальных ситуаций; иногда моделирование состоит из нескольких тысяч итераций, причем каждый отдельный случай требует решения полумиллиона уравнений, учитывающих каждый элементарный объем. Серия фотографий демонстрирует впечатляющую графическую модель распространения пожара в помещении. Настало время разработки программ математического моделирования городских пожаров, в которых необходимо будет учитывать огромное множество переменных.

Летучие газы, образующиеся как продукты неполного сгорания при пожарах, легко распространяются между помещениями больших зданий. Эти газы перемещаются вдоль коридоров под горящим в некоторых местах потолком. Очень часто очевидцы сообщают, что внезапно «огонь стал повсюду». Это легче объяснить не распространением огня, а притоком раскаленных недоокислившись газов, скопившихся в каких-нибудь закрытых участках с недостатком кислорода. Попав в открытое помещение со свежим воздухом, они мгновенно вспыхивают. Здесь можно напомнить о катастрофических огненных бурях, испепеляющих огромные городские районы, которые возникают при слиянии отдельных одновременных пожаров, вызванных взрывами серии маленьких зажигательных бомб или жутким огненным шаром ядерного взрыва.

Большая часть гибнущих при пожарах людей умирает не от полученных ожогов, а от отравления токсичными газами; в основном это окись углерода, а также цианид водорода, хлористый водород и ядовитые альдегиды. Специальные вентиляционные системы для подачи воздуха на охваченные пожаром этажи, управляемые с помощью компьютера, — вот одно из возможных решений проблемы, по крайней мере для высоких зданий с большим количеством этажей. Примером этого начинания является административное здание в Сизтле.

Есть и другое решение — по возможности уменьшить количество повсеместно используемых пластмасс, этих источников ядовитых газов, однако подходящей альтернативы пока нет, ведь даже дерево не является надежным материалом (к сожалению, в этой области экспериментальных данных явно не хватает).

Мы постепенно научились управлять многим из того, что прежде ре-

шал случай. Автор — специалист, трезво оценивающий перспективы, замечает: «Возможно, что общественный интерес к этой проблеме возрастет в следующем десятилетии или же после какого-то особо катастрофического пожара». В конце концов более серьезную проблему представляют автомобильные аварии, и разве не нависла над нами несравнимо более страшная угроза — угроза войны?

Издательство ФИНАНСЫ И СТАТИСТИКА предлагает:

Э. Роде

БАНКИ, БИРЖИ, ВАЛЮТЫ СОВРЕМЕННОГО КАПИТАЛИЗМА

Перевод с немецкого

Книга профессора Э. Роде удачно сочетает в себе черты научного исследования и учебного пособия. В каждом ее разделе содержится краткий исторический экскурс по соответствующему вопросу, анализируется современный механизм банковских, биржевых и валютных операций, рассматриваются тенденции эволюции и внутренние противоречия этого механизма, связанные с экономическими законами капиталистического способа производства и углублением общего кризиса капитализма. Материал книги четко и логично систематизирован и классифицирован. Автору удалось комплексно рассмотреть вопросы, которые ранее ни в одном издании не излагались.

В разд. 1 показаны генезис, эволюция и современная структура банковской системы основных капиталистических стран. Наглядно рассмотрены основные функции центральных банков (выпуск банкнот, регулирование учетной ставки, нормы минимальных резервов и т.д.) и конкретный механизм осуществления указанных функций. Заслуживает внимания и то, что в

разд. 1 подвергнуты анализу не только банковские системы США, Японии, ФРГ, Великобритании и Франции, но также Италии, Швейцарии и Австрии. В разд. 2 содержится детальное исследование функций ссудного капитала в условиях современного капитализма, дается весьма подробное аналитическое описание механизма банковских операций, их субординации, результатов и последствий для экономики. В разд. 3 обстоятельно рассмотрены важнейшие элементы современного механизма капиталистической фондовой и товарной биржи, особенности деятельности ведущих биржевых центров (Лондонского, Цюрихского и др.). Разделы 4—6 посвящены исследованию валютных отношений в условиях современного капитализма. Здесь особенно интересен анализ международных рынков ссудного капитала.

Книга адресована специалистам в области политэкономии империализма, экономистам-международникам, преподавателям и студентам экономических вузов.

1986, 25 л. Цена 4 р. 10 к.



Наука и общество

Еще одна мишень

ЗАБОЛЕВАНИЕ, привлекающее в последнее время самое пристальное внимание, — синдром приобретенного иммунного дефицита (сокращенно AIDS или СПИД) — изучалось в основном в связи со способностью вызывающего его вируса ослаблять иммунную систему организма, превращая человека в исключительно уязвимую мишень для множества других заболеваний. Как теперь выясняется, возбудитель AIDS вирус HTLV III (от англ. human T-cell lymphotropic virus, что значит «лимфотропный, т. е. вызывающий Т-клеточный лейкоз, вирус Т-клеток человека, тип III») может оказывать болезнетворное воздействие и непосредственно. Две группы исследователей сообщают в журнале «The New England Journal of Medicine» о том, что вирус может проникать в клетки нервной системы, вызывая менингит и дегенеративные изменения тканей мозга.

Эти два сообщения, возможно, знаменуют, что изменилась точка зрения врачей на вирус AIDS. С момента открытия HTLV III было известно, что он имеет сродство к определенным клеткам крови, а именно к Т-лимфоцитам. Вирус подрывает иммунную защиту организма, заражая и повреждая Т-лимфоциты, называемые хелперными Т-клетками, которые играют ключевую роль в иммунном ответе. В свете последних данных становится ясно, что вирус имеет высокое сродство и к клеткам центральной нервной системы. Это объясняет часто встречающиеся у жертв AIDS менингиты и дегенеративные изменения тканей мозга.

Одной из исследовательских групп удалось выделить вирус HTLV III из головного и спинного мозга, а также из спинномозговой жидкости больных AIDS с неврологическими симптомами. Среди обследованных больных AIDS вирус был обнаружен в тканях мозга у 7 из 9 пациентов с симптомами менингита и у 10 из 16 страдавших слабоумием (развившимся в результате дегенеративных изменений в мозгу). Эти данные подтверждаются результатами, полученными второй группой авторов, которые в спинномозговой жидкости таких больных нашли антитела к вирусу HTLV III.

Для того чтобы попасть в спинномозговую жидкость, вирус AIDS должен каким-то образом пересечь гемато-энцефалический барьер, физически и физиологически отделяющий

кровь и растворенные в ней вещества от клеток центральной нервной системы. Каким образом вирус преодолевает его, пока не установлено. Д. Хо, руководитель группы исследователей из Медицинской школы Гарвардского университета, которые выделили вирус из мозговой ткани, считает, что HTLV III попадает сначала все-таки в кровяные клетки. Известно, что некоторые клетки крови могут проходить через гемато-энцефалический барьер. По мнению Д. Хо, вирус может проникать в мозг, находясь внутри таких клеток.

Клинические последствия перехода вируса AIDS из крови в мозг могут быть весьма различными. Хо отмечает, что у некоторых пациентов в обследованной группе больных наблюдались неврологические симптомы, но не было иммунного дефицита, у других, напротив, иммунный дефицит развивался при отсутствии неврологических изменений, у третьих же отмечались нарушения обоих типов. Остается непонятным, почему один и тот же вирус вызывает столь различные клинические картины.

Открытие того, что вирус HTLV III может проникать в ткани мозга, омрачает перспективы лечения AIDS. Известно, что некоторые вирусы, заражающие нервные клетки, способны оставаться в них долгое время в латентном состоянии, вызывая периодические вспышки заболевания. Вирус HTLV III близкородствен как минимум одному из таких болезнетворных агентов — вирусу висны, вызывающему дегенеративное неврологическое заболевание у овец. Вирус AIDS, проникнувший в клетки нервной системы, наверняка очень сложно уничтожить, так как гемато-энцефалический барьер непроницаем для большинства лекарственных препаратов.

«... а может быть, еще сильнее»

ВСЕ КЛЕТКИ у млекопитающих содержат ген, кодирующий инсулин. Тем не менее инсулин синтезируется только в β -клетках поджелудочной железы. Каким образом достигается то, что у многоклеточных организмов в дифференцированных клетках функционирует только незначительная часть их генетического багажа? Некоторые аспекты этой проблемы в последнее время начинают проясняться.

Одно из направлений исследований — изучение механизмов, активирующих первую стадию экспрессии гена, заключающуюся в транскрипции ДНК. В результате транскрипции образуется РНК, служащая матрицей при трансляции, в процессе которой синтезируется белок, закодированный в данном гене. Как и у бактерий, у эукариот (организмов, клетки которых имеют ядро) для транскрипции необходимо, чтобы фермент РНК-полимераза связался с промоторной последовательностью, расположенной вблизи точки, с которой начинается транскрипция. В эукариотических клетках, кроме того, есть дополнительный механизм регуляции транскрипции — так называемые энхансерные последовательности (усилители). Эти элементы, впервые открытые в вирусах млекопитающих, усиливают активность находящегося рядом промотора и тем самым повышают уровень транскрипции соответствующих генов (возможно, они облегчают связывание РНК-полимеразы с промотором). Все известные в настоящее время клеточные энхансеры тканеспецифичны, т. е. функционируют только в клетках определенного типа — вероятно, потому, что взаимодействуют с белками, присутствующими только в определенных клетках. Сейчас во многих лабораториях ищут такие белки.

К тканеспецифичным энхансерам относится и недавно открытый у крыс энхансер гена инсулина, о чем сообщается в журнале «Science». Его обнаружили В. Раттер, М. Уокер и их коллеги (Калифорнийский университет в Сан-Франциско) совместно с Т. Эдлундом из Университета в Умео (Швеция). Этот энхансер представляет собой сегмент ДНК длиной около 200 пар оснований, расположенный непосредственно перед («слева») промотором гена инсулина. Локализацию энхансера удалось установить путем последовательного удаления его частей; при этом отмечалось, какие участки важны для транскрипции в β -клетках.

Упомянутые выше исследователи продемонстрировали, что открытый ими энхансер избирательно активируется в β -клетках. Участок ДНК, содержащий энхансерную последовательность, был присоединен к неспецифичному вирусному промотору и гену, кодирующему бактериальный белок. Когда такую рекомбинантную ДНК ввели в клетки различных линий, оказалось, что бактериальный ген активно экспрессируется только в β -клетках. Так как взятый вирусный промотор должен работать в клетках любого типа, был сделан вывод, что

экспрессия бактериального гена в β -клетках связана с избирательностью действия энхансера. Далее было показано, что и сам промотор инсулинового гена тоже предпочтительно активируется именно в β -клетках. Бактериальный ген, присоединенный к инсулиновому промотору и универсальному (неспецифичному) энхансеру, экспрессировался в β -клетках в 10 раз активнее, чем в клетках других типов. Предполагается, что вместе энхансер и промотор обеспечивают эффект, больший чем просто суммарный. Этим объясняется очень высокий уровень экспрессии инсулинового гена, наблюдаемый в β -клетках поджелудочной железы (да и вообще высокий уровень экспрессии определенных генов в специализированных клетках).

Раттер с сотрудниками и другие исследователи считают, что выделение

энхансеров должно помочь поиску и выделению активирующих тканеспецифичных белков, которые Раттер назвал дифференциаторами. В свою очередь получение таких белков будет способствовать поиску их генов, что в конечном счете позволит найти в каждом типе клеток регуляторные гены «высшего командования», ответственные за включение и выключение прочих регуляторных механизмов клетки.

Не исключено, что в результате удастся заставить специализированные клетки выполнять новые функции. Известно, например, что при диабете разрушаются клетки, синтезирующие инсулин. Было бы очень заманчиво научиться активировать «молчащие» инсулиновые гены в других продуцирующих гормоны клетках, что компенсировало бы дефект β -клеток.

and Daniel J. Capon in *Nature*, Vol. 312, No. 5992, pages 337-342; November 22, 1984.

DETECTION AND SEQUENCE OF MUTATIONS IN THE FACTOR VIII GENE OF HAEMOPHILIACS. Jane Gitschier, William I. Wood, Edward G.D. Truddenham, Marc A. Shuman, Therese M. Goralka, Ellson Y. Chen and Richard M. Lawn in *Nature*, Vol. 315, No. 6018, pages 427-430; May, 30, 1985.

СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ СУПЕРКОЛЛАЙДЕР

THE NEXT GENERATION OF PARTICLE ACCELERATORS. Robert R. Wilson in *Scientific American*, Vol. 242, No. 1, pages 42-57; January 1980.

THE DISCOVERY OF SUBATOMIC PARTICLES. Steven Weinberg. W.H. Freeman and Company, 1983.

CONCEPTS OF PARTICLE PHYSICS. K. Gottfried and V. Weisskopf. Oxford University Press, 1984.

SUPERCONDUCTING MAGNETS FOR PARTICLE ACCELERATORS. R. Palmer and A. Tollestrup in *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, Vol. 34, pages 247-284; 1984.

SUPERCOLLIDER PHYSICS. E. Eichten, I. Hinchliffe, K. Lane and C. Quigg in *Reviews of Modern Physics*, Vol. 56, No. 4, pages 579-707; October, 1984.

THE TEVATRON. H. T. Edwards in *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, Vol. 35, pages 605-660; 1985.

Арутюнян И.Н. УСКОРИТЕЛИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И ИХ ЗАДАЧИ. — *Природа*, 1981, № 12, с. 37.

Гольдин Л.Л. ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ. — М.: Наука, 1983.

Библиография

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

NUCLEAR POWER IN AN AGE OF UNCERTAINTY. Congress of the U.S., Office of Technology Assessment. U.S. Government Printing Office, 1984.

NATIONAL STRATEGIES FOR NUCLEAR POWER REACTOR DEVELOPMENT. Richard K. Lester, Michael J. Driscoll, Michael W. Golay, David D. Lanning and Lawrence M. Lidsky. Department of Nuclear Engineering, Massachusetts Institute of Technology, March, 1985.

ХВОСТ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

TRANSIENT PHENOMENA IN THE MAGNETOTAIL AND THEIR RELATION TO SUBSTORMS. E.W. Hones, Jr., in *Space Science Reviews*, Vol. 23, No. 3, pages 393-410; May, 1979.

MAJESTIC LIGHTS. Robert H. Eather. American Geophysical Union, 1980.

THE MAGNETOTAIL AND SUBSTORMS. C.T. Russell and R.L. McPherron in *Space Science Reviews*, Vol. 15, Nos. 2/3, pages 205-266; November/December, 1983.

MAGNETIC RECONNECTION IN SPACE AND LABORATORY PLASMAS. Edited by Edward W. Hones, Jr. American Geophysical Union, 1984.

Галеев А.А. СПОНТАННОЕ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЕ МАГНИТНЫХ СИЛОВЫХ

ЛИНИЙ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ. Основы физики плазмы. — М.: Энергоатомиздат, 1984, т. II, с. 331-361.

Зеленый Л.М. ДИНАМИКА ПЛАЗМЫ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ХВОСТЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ. Сборник статей: Итоги науки и техники, серия «Исследования космического пространства». — М.: ВИНТИ, 1986, т. 24.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГЕНЕТИКА ГЕМОФИЛИИ

BLOOD COAGULATION. Craig M. Jackson and Yale Nemerson in *Annual Review of Biochemistry*, Vol. 49, pages 765-811; 1980.

EXPRESSION OF ACTIVE FACTOR VIII FROM RECOMBINANT DNA CLONES. William I. Wood, Daniel J. Capon, Christian C. Simonsen, Dan L. Eaton, Jane Gitschier, Bruce Keyt, Peter H. Seeburg, Douglas H. Smith, Philip Hollingshead, Karen L. Wion, Eric Delwart, Edward G.D. Truddenham, Gordon A. Vehar and Richard M. Lawn in *Nature*, Vol. 312, No. 5992, pages 330-337; November 22, 1984.

STRUCTURE OF HUMAN FACTOR VIII. Gordon A. Vehar, Bruce Keyt, Dan Eaton, Henry Rodriguez, Donogh P. O'Brien, Frances Rotblat, Herman Oppermann, Rodney Keck, William I. Wood, Richard N. Harkins, Edward G.D. Truddenham, Richard M. Lawn

КОМПЬЮТЕР МОДЕЛИРУЕТ ЭВОЛЮЦИЮ РАСТЕНИЙ

APPARENT CHANGES IN THE DIVERSITY OF FOSSIL PLANTS: A PRELIMINARY ASSESSMENT. Karl J. Niklas, Bruce H. Tiffney and Andrew H. Knoll in *Evolutionary Biology*, Vol. 12, pages 1-89; 1980.

PALEOBOTANY AND THE EVOLUTION OF PLANTS. Wilson N. Stewart. Cambridge University Press, 1983.

MECHANICAL AND PHOTOSYNTHETIC CONSTRAINTS ON THE EVOLUTION OF PLANT SHAPE. Karl J. Niklas and Vincent Kerchner in *Paleobiology*, Vol. 10, No. 1, pages 79-101; Winter, 1984.

ВООБРАЖЕНИЕ И ЗРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

IMAGE AND MIND. Stephen Michael Kosslyn. Harvard University Press, 1980.

Издательство МИР предлагает:

Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел ОПТИМИЗАЦИЯ В ТЕХНИКЕ

В двух книгах
Перевод с английского

Систематическое и доступное изложение существующих методов оптимизации. Строгие доказательства, как правило, заменяются графиками и таблицами, позволяющими читателю, не имеющему специальной подготовки, решать прикладные задачи. Основное внимание уделено рассмотрению методов оптимизации применительно к стационарным детерминированным моделям систем с непрерывно изменяющимися параметрами, когда принятому критерию оптимальности соответствует единственная целевая функция. Обсуждаются также многокритериальные задачи оптимизации с привлечением математического аппарата целочисленного и дискретного программирования. Приводятся классические методы прямого поиска минимума и градиентные. Много места уделено задачам линейного и нелинейного программирования. Для решения задач нелинейного программирования предложены процедуры линейной квадратичной аппроксимации целевой функции и ограничений в сочетании с методами множителей Лагранжа и переменной метрики. К большому достоинству книги можно отнести наличие 260 примеров решения задач оптимизации. При этом 60 из них представлено в виде рабочих программ для ЭВМ.

Для инженеров, специализирующихся в области проектирования технических устройств и систем, а также для аспирантов и студентов инженерных вузов.

1986, 21 л. Цена 1 р.20 к.



LEVELS OF EQUIVALENCE IN IMAGERY AND PERCEPTION. Ronald A. Finke in *Psychological Review*, Vol. 87, No. 2, pages 113-132; March, 1980.

MENTAL IMAGERY AND THIRD DIMENSION. Steven Pinker in *Journal of Experimental Psychology: General*, Vol. 109, No. 3, pages 354-371; September, 1980.

Величковский Б.М. СОВРЕМЕННАЯ КОГНИТИВНАЯ ПСИХОЛОГИЯ. — М.: Издательство МГУ, 1982.

ХРАНЕНИЕ ЗЕРНА В АССИРОСЕ

EXCAVATION AT ASSIROS, 1975-9: A SETTLEMENT SITE IN CENTRAL MACEDONIA AND ITS SIGNIFICANCE FOR THE PREHISTORY OF SOUTH-EAST EUROPE. K. A. Wardle in *The Annual of the British School at Athens*, No. 75, pages 229-267; 1980.

A FRIEND IN NEED IS A FRIEND INDEED: SOCIAL STORAGE AND THE ORIGINS OF SOCIAL RANKING. P. Halstead and J. O'Shea in *Ranking, Resource, and Exchange: Aspects of the Archaeology of Early European Society*, edited by Colin Renfrew and Stephen Shennan. Cambridge University Press, 1982.

ANCIENT MACEDONIA: THE CULTURES. K. A. Wardle in *Macedonia — 4000 Years of Greek History and Civilisation*, edited by M. Sakellariou. Edotike Athenon, 1982.

LINEAR B TABLETS AND THE MYCENAEAN ECONOMY. J. T. Killen in *Linear B: A 1984 Survey*, edited by A. M. Davies and Y. Duhoux. University of Louvain, 1985.

СПОРТИВНАЯ ОДЕЖДА И ОБУВЬ

THE RUNNING SHOE BOOK. Peter R. Cavanagh. Anderson World Publishers, 1980.

FAST FASHIONS. Chester R. Kyle in *Bicycling*, Vol. 26, No. 5, pages 118-125; June, 1985.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

THE MISMEASURE OF MAN. Stephen Jay Gould. W. W. Norton & Company, Inc., 1981.

KNOW YOUR OWN I.Q. H. J. Eysenck. Penguin Books, 1984.

Айзенк Г. ПРОВЕРЬТЕ СВОИ СПОСОБНОСТИ. Перев. с англ. — М.: Мир, 1972.

Уинстон П. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ. Перев. с англ. — М.: Мир, 1980.

НАУКА ВОКРУГ НАС

COLOR ADAPTATIONS OF EDGE-DETECTORS IN THE HUMAN VISUAL SYSTEM. Celeste McCollough in *Science*, Vol. 149, No. 3688, pages 1115-1116; September 3, 1965.

FORM-SPECIFIC COLOR AFTER EFFECTS IN SCOTOPIC ILLUMINATION. Charles F. Stromeyer III in *Nature*, Vol. 250, No. 5463, pages 266-268; July 19, 1974.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 21.04.86.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/8.
Гарнитуры таймс, гелиос.
Офсетная печать.
Объем 6,50 бум. л.
Усл.-печ. л. 13,00.
Уч.-изд. л. 16,59.
Усл. кр.-отт. 43,36.
Изд. № 25/4848. Заказ 296.
Тираж 20000 экз. Цена 2 р.
Издательство «Мир»

Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик»
Типография В/О «Внешторгиздат» Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
127576, Москва, Илимская, 7



Издательство МИР предлагает:

М. Хираока

КРАУН-СОЕДИНЕНИЯ

Перевод с английского



Книга из серии монографий по теоретической органической химии. В ней дано полное и всестороннее освещение различных аспектов быстро развивающейся области — химии макроскопических эфиров («краун-соединений»). По мнению многих ученых, в том числе и автора книги — известного японского исследователя, профессора М. Хираоки, уникальные свойства краун-соединений могут оказать существенное влияние на основы некоторых научных областей, в частности находящихся на стыке химии и биохимии, а также

современной технологии.

Для химиков-органиков, биооргаников, биохимиков.

Из отзыва академика Н.М. Эмануэля: «Уникальные свойства краун-соединений являются главной причиной быстрого развития исследований по химии и применению этих соединений. Книга будет способствовать более широкому ознакомлению исследователей и практиков с возможностями химии краун-соединений, а также стимулирует дальнейшие изыскания и прикладные работы в данной области».

1986, 24 л. Цена 3 р.90 к.



В следующем номере:



ДИНАМИКА БЕЛКОВОЙ СТРУКТУРЫ

ЭВОЛЮЦИЯ ПУЛЬСАРОВ

КВАНТОВЫЙ ЭФФЕКТ ХОЛЛА

ВНУТРЕННИЕ РИТМЫ МИГРАЦИИ
У ПЕРЕЛЕТНЫХ ПТИЦ

ОПТИЧЕСКИЕ ГИРОСКОПЫ

СТРЕСС ПРИ РОЖДЕНИИ

ЗАГАДКА ИГРЫ НА ТРУБЕ
В ЭПОХУ БАРОККО

УСТРАНЕНИЕ ИСКАЖЕНИЯ СВЕТА
ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАЖАТЕЛЕЙ

О ПРОГРАММЕ,
СТРОЯЩЕЙ НА ЭКРАНЕ ДИСПЛЕЯ
ЧЕТЫРЕХМЕРНЫЕ ГИПЕРКУБЫ