

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Август **8** 1985

ТОПОЛОГИЯ МИРАЖЕЙ

Издательство МИР предлагает:

К. Касахара

**МЕХАНИКА
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

Перевод с английского

К. КАСАХАРА
**Механика
землетрясений**



Краткое содержание: Общий очерк сейсмологии. Магнитуда землетрясений и объем очага. Диаграмма направленности излучения сейсмических волн. Фокальный механизм. Характеристика разрывов, приводящих к землетрясениям. Перемещение в пространстве зон дислокаций в земной коре. Физика фокальных процессов. Землетрясения и тектоника. Предсказание землетрясений.

Для механиков, сейсмологов, математиков-прикладников, студентов и аспирантов университетов.

1985, 18 л. Цена 2 р.



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 8 · АВГУСТ 1985

В номере:

СТАТЬИ

- 5 **Анализ эффективности внедрения новой технологии** *Василий Леонтьев*
Предвидеть влияние нового научно-технического достижения на развитие всей экономики невозможно, если эффективность его внедрения рассматривать для каждой отрасли отдельно. Любому решению о внедрении технического новшества должен предшествовать всесторонний анализ (Scientific American, June 1985, Vol. 252, No. 6)
- 16 **Иммунологическая функция кожи** *Ричард Л. Эдельсон, Джозеф М. Финк*
Кожа человека — не только защитный покров, но и активный элемент иммунной системы. Специализированные клетки кожи, взаимодействуя между собой, участвуют в иммунологическом ответе на чужеродные агенты (Scientific American, June 1985, Vol. 252, No. 6)
- 26 **В поисках распада протона** *Джон М. Лосекко, Ф. Райнес, Д. Синклер*
Физики ведут наблюдения у подземного детектора массой 8000 тонн в ожидании проявления признаков нестабильности протона. Ни одного случая его распада пока не обнаружено, но наблюдения продолжаются (Scientific American, June 1985, Vol. 252, No. 6)
- 36 **Шаровые скопления** *Айван Р. Кинг*
Шаровые скопления — это плотные группы старых звезд, связанных вместе силами взаимного притяжения. Длительное изучение шаровых скоплений позволило решить многие проблемы эволюции звезд, галактик и Вселенной в целом (Scientific American, June 1985, Vol. 252, No. 6)
- 46 **Первые организмы** *А. Дж. Кернс-Смит*
Самые первые системы, способные эволюционировать под действием естественного отбора, видимо, были устроены иначе, чем современные организмы, и имели иной состав. Ими могли быть кристаллы глины (Scientific American, June 1985, Vol. 252, No. 6)
- 58 **Социальная экология шимпанзе** *Майкл П. Гиглиери*
Поведение диких шимпанзе редко изучалось без использования пищевых приманок, которые, как правило, искажают естественные социальные отношения в сообществе животных. Исследования, проведенные без искусственной подкормки, показали, что по своей социальной структуре эти человекообразные обезьяны ближе всего стоят к человеку (Scientific American, June 1985, Vol. 252, No. 6)
- 70 **Сифоны в древнеримских водопроводах** *А. Тревор Ходж*
При прокладке водопроводов через ущелья древние римляне сооружали либо мост, либо сифон. Им был известен основной принцип сифона: вода в трубе должна возвращаться к своему первоначальному уровню (Scientific American, June 1985, Vol. 252, No. 6)
- 78 **Топология миражей** *Уолтер Тейн*
Математическая операция, называемая «отображением переноса», связывает свойства миражей с определенными топологическими представлениями. Благодаря этому некоторые особенности миражей можно понять, не исследуя атмосферные условия (Scientific American, June 1985, Vol. 252, No. 6)

РУБРИКИ

- 3 Об авторах
- 45 50 и 100 лет назад
- 24, 57, 66, 77 Наука и общество
- 86 Наука вокруг нас
- 91 Занимательный компьютер
- 98 Книги
- 103 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan B. Piel
PRESIDENT AND EDITOR
BOARD OF EDITORS

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

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

Gerard Piel
CHAIRMAN
Dennis Flanagan
EDITOR EMERITUS

© 1985 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. Шенелева
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 ФОТОАБОРА
Г. С. Азимов
ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Т. К. Такташова
КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке
ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ,
ТИПОГРАФИКА РУССКОГО ИЗДАНИЯ,
МАКЕТ СМЕННЫХ ПОЛОС
М. Г. Жуков
ТИТУЛЬНАЯ НАДПИСЬ,
ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ
В. В. Ефимов
АДРЕС РЕДАКЦИИ
129820, Москва, ГСП
1-й Рижский пер., 2
ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ
286.2588

© перевод на русский язык
и оформление, «Мир», 1985.

На обложке



ТОПОЛОГИЯ МИРАЖЕЙ

Рисунок на обложке изображает одну стадию наглядного представления топологического соотношения между неискаженным внешним видом объекта и его изображением в мираже. На воображаемой гибкой «сфере изображения» показан мираж рудовоза «Грейт Лейкс». Неискаженное изображение грузового судна лежит на заднем плане и воспроизведено на гораздо большей «объектной сфере». Связь между этими двумя изображениями обнаруживается в топологической операции, называемой отображением переноса (см. статью У. Тейпа «Топология миражей» на с. 78). При отображении переноса сфера изображения деформируется таким образом, что находящаяся на ней картина становится неискаженной: сфера изображения растягивается до совпадения с объектной сферой; по мере расширения она сморщивается и на ней возникают складки. В конце процедуры изображение на ее поверхности совпадает с неискаженным изображением на объектной сфере. В приведенном примере сфера изображения образует складки в нескольких местах: части сферы, несущие изображения одной и той же части корабля, накладываются одна на другую. В природе картину, изображенную на обложке, наблюдать нельзя. Наблюдатель не может видеть сферу изображения и объектную сферу, он видит только мираж.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Hank Iken

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК
6-13 Jerome Kuhl	University of California at Berkeley	71 A. Trevor Hodge, Carleton University, Ottawa
17 Tung Tien-Sun, New York University Medical Center	42 Ivan R. King	72-74 Tom Prentiss
18-20 Ilil Arbel	45 Scientific American	75 A. Trevor Hodge
21, 22 Richard L. Edelson, Columbia University College of Physicians and Surgeons	47 W. D. Keller, University of Missouri at Columbia (слева); David W. Houseknecht, University of Missouri at Columbia (справа)	78, 79 Walter Tape, University of Alaska at Fairbanks
23 Ilil Arbel	48-53 George V. Kelvin	80, 81 Hank Iken, Walken Graphics
27 Frederick Reines, University of California at Irvine	54 W. J. McHardy, Macaulay Institute for Soil Research (вверху); W. D. Keller (внизу)	82 Walter Tape (вверху); Hank Iken, Walken Graphics (внизу)
28-32 Gabor Kiss	55 W. D. Keller	83 Walter Tape
34 Edward Bell	56 Naganori Yoshinaga, Ehime University	86-90 Michael Goodman
36 © 1983 California Institute of Technology (вверху); Ivan R. King, University of California at Berkeley (внизу)	59 Constance S. Ghiglieri	91-95 Andrew Christie
38-40 Ian Worpole	60-64 Patricia J. Wynne	100 The Art of Describing. ©1983, University of Chicago
41 Stanislav Djorgovski,		101 The Astronomical Scrapbook. ©1984, Sky Publishing Corporation and Cambridge University Press

Об авторах

Wassily Leontief (ВАСИЛИЙ ЛЕОНТЬЕВ «Анализ эффективности внедрения новой технологии») — профессор экономики Нью-Йоркского университета и директор Института экономического анализа. В 1925 г. окончил Ленинградский университет. Степень доктора наук ему была присвоена Берлинским университетом. После этого в течение года он работал советником министра железнодорожного транспорта китайского правительства в Нанкине. В 1932 г., вскоре после переезда в США, был принят на работу в Гарвардский университет. Здесь он разрабатывал метод экономического анализа «затраты — выпуск». В 1975 г. Леонтьев перешел на работу в Нью-Йоркский университет. В 1973 г. ему была присуждена Нобелевская премия по экономике. В 1984 г. японское правительство наградило его орденом «Восходящего Солнца» за содействие в разработке эффективной экономической политики Японии.

Richard L. Edelson, Joseph M. Fink (РИЧАРД Л. ЭДЕЛЬСОН, ДЖОЗЕФ М. ФИНК «Иммунологическая функция кожи») с 1983 г. сотрудничают в исследовании иммунологической роли кожи. Эдельсон — профессор, руководит исследованиями в отделе дерматологии в колледже терапии и хирургии Колумбийского университета. Одновременно занимает должность заместителя директора Пресвитерианского клинического научного центра. После окончания в 1966 г. Гамильтон-Колледжа Эдельсон работал в Медицинской школе Йельского университета, где впервые проявил интерес к иммунологии. Получив в 1970 г. степень доктора медицины, стажировался в Притцеровской медицинской школе Чикагского университета, а затем в Массачусетской больнице общего типа специализировался в дерматологии. В 1975 г. Эдельсон стал сотрудником Колумбийского университета. Финк в 1979 г. окончил Бруклин-Колледж Нью-Йоркского городского университета. В 1983 г. получил докторскую степень в Школе зубной и ротовой полости хирургии Колумбийского университета. Там же он начал заниматься иммунологией периодонтоза. Сходство эпителия рта с кожей вызвало у него интерес к исследованиям иммунологической функции кожи, к которым он приступил во время последующей стажировки в лаборатории Эдельсона. Сейчас Финк — научный сотрудник отдела периодонтики в Колумбийском университете.

J. M. LoSecco, Frederick Reines, Daniel Sinclair (ДЖОН М. ЛОСЕККО, ФРЕДЕРИК РАЙНЕС, ДЭНИЭЛ СИНКЛЕР «В поисках распада протона») — физики-экспериментаторы. Лосекко — доцент Калифорнийского технологического института (КТИ), окончил Гарвардский университет, где в 1976 г. получил степень доктора философии. Занимался исследованиями поведения и свойств нейтрино и поиском распада протона в Гарвардском и Мичиганском университетах. С 1981 г. работает в КТИ. Райнес — профессор физики Калифорнийского университета в Ирвине, окончил Технологический институт Стивенса и Нью-Йоркский университет, где в 1944 г. получил докторскую степень. В 1959 г., после 15 лет работы в Лос-Аламосской национальной лаборатории, перешел в Технологический институт Кейса. С 1966 г. Райнес работает в Ирвине, где он основал Школу физических наук и стал в ней деканом. В 1981 г. удостоен Мемориальной премии Р. Оппенгеймера за исследования мюонов, рассеяния нейтрино и стабильности протона. Синклер — профессор физики Мичиганского университета, учился в Университете г. Глазго, где в 1957 г. ему была присуждена степень доктора философии за исследования свойств пионов. Затем преподавал в Мичиганском университете, сначала как ассистент физического факультета, а впоследствии стал профессором.

Ivan R. King (АЙВАН Р. КИНГ «Шаровые скопления») — профессор астрономии Калифорнийского университета в Беркли. Степень бакалавра получил в Колледже Гамильтона в 1947 г., а степень доктора философии — в Гарвардском университете в 1952 г. После службы в военно-морских силах США и участия в работах по заказу министерства обороны стал сотрудником факультета астрономии Иллинойского университета в Эрбана-Шампейн. Проработав там 8 лет, в 1964 г. перешел в Калифорнийский университет в Беркли. Последние несколько лет, как американский член Европейской группы по работе с камерой слабых объектов, Кинг активно готовится к экспериментам с помощью Космического телескопа, который будет запущен в 1986 г.

A. G. Cairns-Smith (А. ДЖ. КЕРНС-СМИТ «Первые организмы») преподает химию в Университете в Глазго. В 1954 г. получил степень бакалавра, а в 1957 г. — степень доктора философии в области органической химии

в Эдинбургском университете. После защиты диссертации перешел в Университет в Глазго, где читает сейчас курсы органической химии и истории химии. Результаты своих исследований глинистых и первых органических молекул он суммировал в книге «Генетическая преемственность и происхождение жизни при участии минералов». Недавно Кернс-Смит начал заниматься полосчатыми железистыми кварцитами в древних осадочных породах и выяснением их роли в фотохимических процессах в докембрийском море.

Michael P. Ghiglieri (МАЙКЛ П. ГИГЛИЕРИ «Социальная экология шимпанзе») — биолог-натуралист, специалист в области поведения приматов. В 1971 г. окончил Калифорнийский университет в Хейворде, получив степень бакалавра. В 1973 г. защитил диссертацию о поведении равнинных горилл в неволе и получил степень магистра. За исследование, результаты которого легли в основу статьи, публикуемой в этом номере журнала, Гиглиери была присуждена степень доктора в Калифорнийском университете в Дейвисе. Будучи студентом и после окончания университета Гиглиери занимался изучением живой природы, руководил туристическими группами, совершавшими путешествия по рекам и труднодоступным местам Турции, Эфиопии, Кении, Руанды, Танзании, Папуа — Новой Гвинее, Индонезии и США. В 1984 г. по материалам своей докторской диссертации Гиглиери написал книгу «Шимпанзе леса Кибале».

A. Trevor Hodge (А. ТРЕВОР ХОДЖ «Сифоны в древнеримских водопроводах») — профессор классической археологии Карлтонского университета в Оттаве. Родился в Белфасте, учился в Кембриджском университете, где получил степень бакалавра и магистра гуманитарных наук, затем степень доктора в области классической археологии. Его докторская диссертация «Деревянные части крыш в Древней Греции» была опубликована издательством Кембриджского университета Пресс в 1960 г. После окончания университета преподавал в Стэнфордском и Корнуэллском университетах, а также в Университете шт. Пенсильвания. В 1960 г. стал преподавать в Карлтонском университете. Основные темы научных интересов — древнеримские водопроводы и греческая колонизация южной Франции. Ходж — автор нескольких телевизионных учебных программ.

(продолжение см. на стр. 102)

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.

Традиционно один из последних номеров журнала — тематический. В 1985 году 12-й номер будет посвящен проблемам молекулярной биологии.

В журнале имеются и постоянные рубрики:

- «Занимательный компьютер»
- математические игры на 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»



Анализ эффективности внедрения новой технологии

Предвидеть влияние нового научно-технического достижения на развитие всей экономики невозможно, если эффективность его внедрения рассматривать для каждой отрасли отдельно.

Любому решению о внедрении технического новшества должен предшествовать всесторонний анализ

ВАСИЛИЙ ЛЕОНТЬЕВ

УПРАВЛЯЮЩИЙ металлургическим заводом с целью модернизации своего предприятия решает вопрос о приобретении электропечи. Новая печь снизит трудовые издержки, но в то же время будет потреблять огромное количество электроэнергии. Управляющий исходит из того, что в будущем не произойдет изменений ни в стоимости металлолома и других видов сырья, ни в ценах на стальные изделия. При наличии таких предпосылок анализ издержек производства показывает, что высокая стоимость новой электропечи и дополнительного оборудования к ней, скорее, снизит, а не увеличит норму прибыли на капитал (коэффициент окупаемости общих капиталовложений). На этом основании делается вывод о том, что приобретать печь не целесообразно.

Однако, если бы управляющий принял во внимание научно-технические изменения в других секторах экономики, решение по вопросу о покупке нового оборудования могло бы быть иным. Предположим, что внедрение новых электропечей в сталелитейном производстве сопровождается переходом электроэнергетических предприятий на более эффективные способы производства электроэнергии. Допустим также, что одновременно предприятия автомобильной промышленности приступили к выпуску новых моделей автомобилей и в связи с этим увеличился спрос на высококачественную сталь. Указанные перемены вполне могут привести к изменению цен на электроэнергию и высококачественную сталь, и затраты, связанные с приобретением электропечи, могут оказаться рентабельными.

К сожалению, в реальных условиях многие руководители предприятий вынуждены осуществлять анализ технической политики с тех же ограниченных позиций, что и воображаемый управляющий, о котором шла речь.

Управляющие всегда отлично знают, каков технический уровень производства на их предприятии, и, наверняка, имеют представление о новой технологии, которая могла бы прийти на смену существующей. Кроме того, большинству из них известно утверждение экономистов о том, что влияние одного сектора экономики на все остальные осуществляется через систему цен. И все же управляющие очень мало знают о новых научно-технических достижениях, внедрение которых может произойти в других отраслях экономики. В результате эффективность использования новой техники в данной отрасли предприниматель оценивает, исходя из технического уровня, существующего в других отраслях в текущий момент. Тот факт, что внедрение новой техники в других отраслях может изменить инвестиционную политику в данной отрасли, чаще всего не учитывается. Да и вряд ли можно поступить иначе, когда нет адекватной статистической информации или подходящего инструмента анализа.

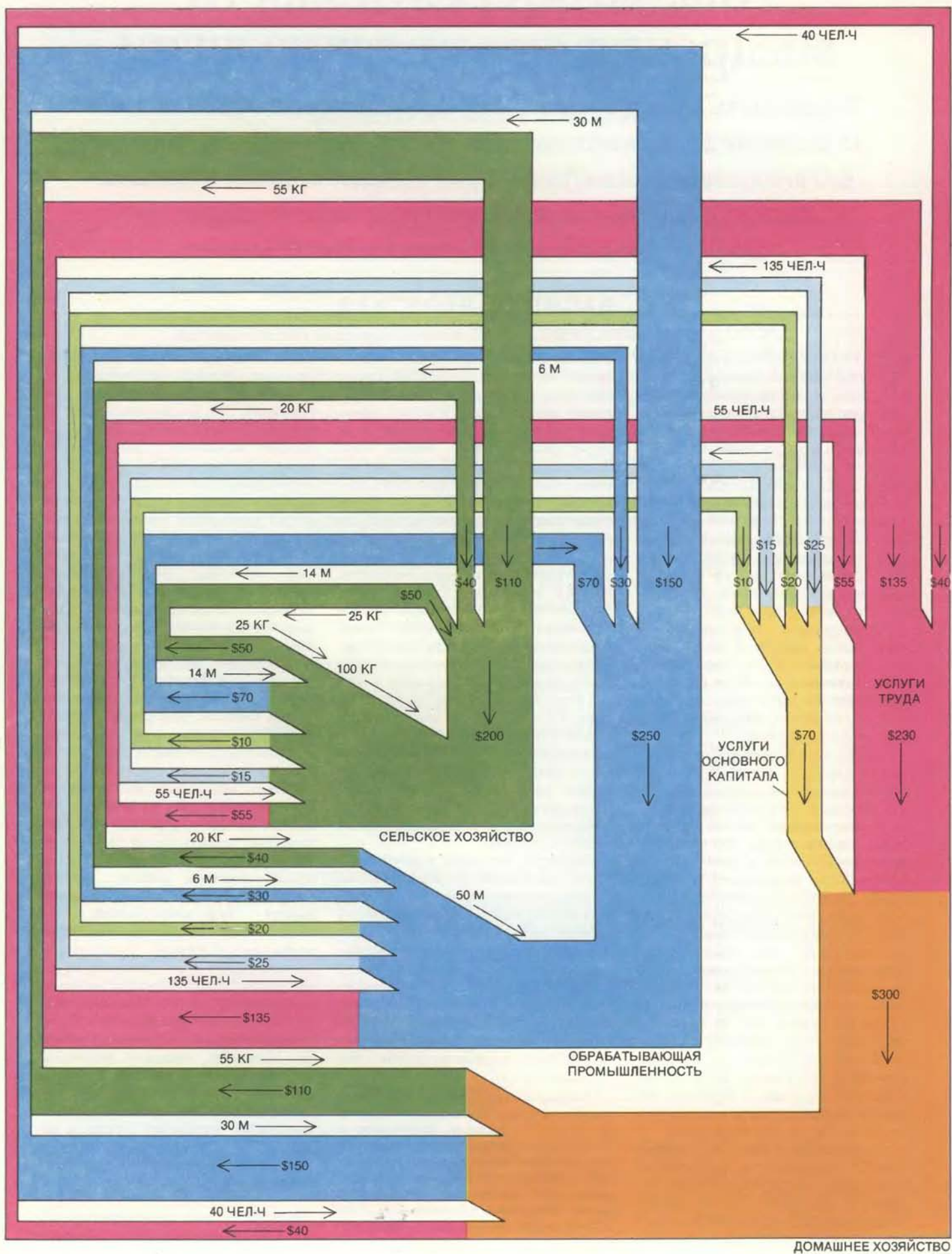
Пятьдесят лет назад я разработал метод экономического анализа, называемый «затраты — выпуск»*, который мог бы использоваться в каждом секторе экономики для принятия более обоснованных решений по вопросам, связанным с внедрением новой техники. Два года назад Ф. Дачин и я вместе с семью нашими коллегами из Института экономического анализа Нью-Йоркского университета собрали необходимые данные, чтобы с по-

мощью метода «затраты — выпуск» проанализировать перспективы современных научно-технических достижений. Эти данные описывают несколько вариантов состояния американской экономики в 2000 г. Расчет вариантов производился по затратам на внедрение той техники, на базе которой, как ожидается, в следующие 15 лет произойдет замена современных методов производства на новые. Наш метод не требует, чтобы делались какие-либо прогнозы относительно появления еще неизвестной техники. Напротив, рассматриваемые научно-технические достижения хорошо известны, но широкого распространения пока не получили. То, что они уже готовы играть определенную роль в экономике, подтверждается мнением экспертов, в первую очередь инженеров, и иногда результатами опыта новейших предприятий в соответствующих отраслях.

Независимо от типа экономики при наличии таких данных анализ с помощью метода «затраты — выпуск» позволяет решить две основные задачи: во-первых, как в любой отрасли промышленности можно достичь максимального коэффициента окупаемости капиталовложений, во-вторых, в силу предсказуемости поведения каждой отрасли, стремящейся к максимизации своих доходов, сформировать картину будущего экономики, основанную на эмпирических данных и учитывающую цели, преследуемые различными секторами экономики. Например, японское правительство в сотрудничестве с представителями частного сектора промышленности недавно сделало такой анализ в масштабах экономики страны в целом. Именно для решения подобных задач и был в свое время разработан метод «затраты — выпуск».

ЛЮБОЙ анализ экономической системы, цель которого состоит в

* Идея и принципиальные методологические положения, лежащие в основе метода «затраты — выпуск», получившего в отечественной литературе название «метод межотраслевого баланса производства и распределения продукции», зародились в СССР. На них базировался первый баланс народного хозяйства СССР за 1923/24 хозяйственный год. — Прим. перев.



ДОМАШНЕЕ ХОЗЯЙСТВО

описании будущего положения на рынке реально производящихся товаров и услуг, должен по возможности максимально основываться на имеющихся эмпирических данных. Нет сомнения, что широкое внедрение ЭВМ, станков с числовым программным управлением (ЧПУ), роботов и электронных систем телесвязи окажет глубокое воздействие на структуру экономики США в следующие два десятилетия. Так, например, эксперты корпорации General Motors предска-

зывают, что через два года 90% всех новых капиталовложений будет приходиться на станки с ЧПУ, которые можно запрограммировать на определенную последовательность операций по обработке металла. Ожидается, что производство промышленных роботов в течение следующих шести лет ежегодно будет увеличиваться на 30—40%. Предполагается также, что в административно-управленческих учреждениях и предприятиях сферы услуг, особенно в банках, страховых и

юридических конторах, и правительственных службах компьютеры будут выполнять большую часть повседневной канцелярской работы, за счет чего высвободится большое число служащих, занятых в этих секторах народного хозяйства.

Поэтому в нашем исследовании основное внимание уделялось тем изменениям в экономике, которые обусловлены автоматизацией производства на основе внедрения электронно-вычислительной техники. Мы не пытались оценить, какое влияние окажет на экономику технический прогресс: в сельском хозяйстве — за счет практического использования достижений генной инженерии, в горнодобывающей промышленности — за счет применения усовершенствованных методов разведки и добычи полезных ископаемых, в различных отраслях промышленности — за счет замены металлов такими материалами, как пластмассы, керамика, стекловолокно (см. статьи: "Industrial Microbiology" в журнале "Scientific American", September, 1981, и "The Mechanization of Work" в журнале "Scientific American", September, 1982).

Мы рассмотрели четыре отдельных сценария, или совокупности допущений о скорости распространения в экономике средств автоматизации на базе ЭВМ. В первом сценарии предполагалось, что после 1980 г. никакие средства автоматизации производства, а также какие-либо другие научно-технические достижения внедряться не будут. В то же время нельзя сказать, что в этом сценарии мы не допускали никаких изменений в экономике: в нем предполагалось, что конечный спрос на товары и услуги вплоть до 2000 г. будет расти такими же темпами, как и в последние годы. Очевидно, что первое допущение уже сейчас противоречит реальной ситуации. Однако этот сценарий является базовым, и с ним удобно сравнивать прогнозы, представленные в трех других сценариях.

Во втором и третьем сценариях предполагается, что капиталовложения в автоматизацию, основанную на использовании вычислительной техники, будут непрерывно увеличиваться; в четвертом сценарии темпы роста автоматизации предполагаются такими же, как и в третьем сценарии, но в нем сделано дополнительное допущение о том, что конечный спрос на ЭВМ и продукцию с элементами электронно-вычислительной техники (равно как и промежуточный спрос на эти изделия) будет расти более высокими темпами, чем в третьем сценарии. В данной статье мы рассмотрим лишь результаты сопоставления пер-

	СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО	ОБРАБАТЫ- ВАЮЩАЯ ПРО- МЫШЛЕННОСТЬ	ДОМАШНЕЕ ХОЗЯЙСТВО	ВСЕГО
СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО	25 КГ	20 КГ	55 КГ	100 КГ
ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	14 М	6 М	30 М	50 М
ОСНОВНОЙ КАПИТАЛ, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ ИЗ СЕЛЬСКО- ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ	50 КГ	100 КГ		
ОСНОВНОЙ КАПИТАЛ, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ ИЗ ПРОДУКЦИИ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	30 М	50 М		
ТРУДОВЫЕ СИЛЫ	55 ЧЕЛ.-Ч	135 ЧЕЛ.-Ч	40 ЧЕЛ.-Ч	230 ЧЕЛ.-Ч

МОДЕЛЬ «ЗАТРАТЫ — ВЫПУСК» описывает потоки товаров и услуг между различными секторами экономики. В приведенной таблице представлена упрощенная структура экономики, включающей всего три сектора: сельскохозяйственный (темно-зеленый), продукция которого измеряется в килограммах; обрабатывающий (синий), продукция которого измеряется в метрах изготовленной ткани; домашнее хозяйство (желтый), которое потребляет производящуюся в экономике конечную продукцию, является собственником основного производственного капитала, используемого в сельском хозяйстве и обрабатывающей промышленности, и предоставляет рабочую силу, труд которой измеряется в человеко-часах (красный). Распределение продукции, выпускаемой в сельском хозяйстве и обрабатывающей промышленности, а также труда отражено в соответствующих строках таблицы; суммарное производство каждого сектора приведено в крайнем правом столбце. В других столбцах указаны материальные затраты и величина основного капитала, необходимые для производства каждой отрасли всего объема продукции. Например, для производства 50 м ткани обрабатывающей промышленности требуется: 20 кг сельскохозяйственной продукции; 6 м своей собственной продукции, основной капитал, изготовленный из 100 кг сельскохозяйственной продукции; основной капитал, изготовленный из 50 м продукции обрабатывающей промышленности; 135 чел.-ч трудовых затрат. На диаграмме слева показано движение трудовых и материальных затрат готовой продукции между секторами экономики. Денежные потоки циркулируют в противоположном направлении. Деньги, уплаченные предпринимателям сектора домашнего хозяйства двумя другими секторами за предоставление услуг основного капитала, изготовленного из сельскохозяйственной продукции, выделены светло-зеленым цветом; деньги, уплаченные двумя секторами за услуги основного капитала, изготовленного из продукции обрабатывающей промышленности, выделены светло-синим цветом. Общая величина годовой прибыли на эти капиталовложения выделена желтым цветом. Состояние устойчивого равновесия всех потоков достигается посредством последовательных приближений друг к другу соотношений цен на сельскохозяйственную продукцию, ткани и труд. Если стоимость трудовых затрат в нашем примере будет равна 1 долл./ч, а норма прибыли на капитал равна 10%, то цена 1 кг сельскохозяйственной продукции составит 2 долл. и цена 1 м ткани — 5 долл. Ширина каждого «канала» на диаграмме пропорциональна передаваемому по нему количеству долларов, когда цены уравнились. При наличии большего числа секторов можно провести более детальный экономический анализ. В таблицах «затраты — выпуск» последних лет экономика США разбита более чем на 600 секторов.

вого сценария (назовем его «старой технологией») с третьим сценарием, в котором капиталовложения в автоматизацию на базе ЭВМ растут наиболее быстро. Все виды новой техники, которые, как допускает третий

сценарий, будут внедряться в производство, в дальнейшем обобщенно будем называть «новой технологией». Чтобы придать некоторую количественную меру различию наших предположений, допустим, что в 80-е

годы общие капиталовложения в средства вычислительной техники и роботы будут примерно на 15% выше при новой технологии, чем при старой; в 90-е годы соответствующий показатель будет равен 30%.

	СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО	ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО	0,25 КГ	0,4 КГ
ОБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	0,14 М	0,12 М
ОСНОВНОЙ КАПИТАЛ, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ ИЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ	0,5 КГ	2 КГ
ОСНОВНОЙ КАПИТАЛ, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ ИЗ ПРОДУКЦИИ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	0,3 М	1 М
ТРУДОВЫЕ СИЛЫ	0,55 ЧЕЛ.-Ч	2,7 ЧЕЛ.-Ч

а ЦЕНА 1 КГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ =
 $(0,25 \text{ КГ ЗАТРАТ НА 1 КГ ПРОИЗВЕДЕННОЙ ПРОДУКЦИИ}) \times (\text{ЦЕНА 1 КГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ})$
 $+ (0,14 \text{ М ЗАТРАТ НА 1 КГ ПРОИЗВЕДЕННОЙ ПРОДУКЦИИ}) \times (\text{ЦЕНА 1 М ТКАНИ})$
 $+ (0,5 \text{ КГ ОСНОВНОГО КАПИТАЛА НА 1 КГ ПРОИЗВЕДЕННОЙ ПРОДУКЦИИ}) \times (\text{ЦЕНА 1 КГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ}) \times (10\%)$
 $+ (0,3 \text{ М ОСНОВНОГО КАПИТАЛА НА 1 КГ ПРОИЗВЕДЕННОЙ ПРОДУКЦИИ}) \times (\text{ЦЕНА 1 М ТКАНИ}) \times (10\%)$
 $+ (0,55 \text{ ЧЕЛ.-Ч ТРУДОВЫХ ЗАТРАТ НА 1 КГ ПРОИЗВЕДЕННОЙ ПРОДУКЦИИ}) \times (\text{СТОИМОСТЬ 1 ЧЕЛ.-Ч В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ})$

б ЦЕНА 1 М ТКАНИ =
 $(0,4 \text{ КГ ЗАТРАТ НА 1 М ПРОИЗВЕДЕННОЙ ТКАНИ}) \times (\text{ЦЕНА 1 КГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ})$
 $+ (0,12 \text{ М ТКАНИ НА 1 М ПРОИЗВЕДЕННОЙ ТКАНИ}) \times (\text{ЦЕНА 1 М ТКАНИ})$
 $+ (2 \text{ КГ ОСНОВНОГО КАПИТАЛА НА 1 М ПРОИЗВЕДЕННОЙ ТКАНИ}) \times (10\%)$
 $+ (1 \text{ М ОСНОВНОГО КАПИТАЛА НА 1 М ПРОИЗВЕДЕННОЙ ТКАНИ}) \times (\text{ЦЕНА 1 М ТКАНИ}) \times (10\%)$
 $+ (2,7 \text{ ЧЕЛ.-Ч ТРУДОВЫХ ЗАТРАТ НА 1 М ПРОИЗВЕДЕННОЙ ТКАНИ}) \times (\text{СТОИМОСТЬ 1 ЧЕЛ.-Ч В ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ})$

в ЦЕНА 1 КГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ =
 $1,757 \times (\text{СТОИМОСТЬ ТРУДА, ЗАТРАЧЕННОГО В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА ПРОИЗВОДСТВО 1 КГ ПРОДУКЦИИ})$
 $+ 0,383 \times (\text{СТОИМОСТЬ ТРУДА, ЗАТРАЧЕННОГО В ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВО 1 М ТКАНИ}) = 2 \text{ ДОЛЛ.}$

г ЦЕНА 1 М ТКАНИ =
 $1,351 \times (\text{СТОИМОСТЬ ТРУДА, ЗАТРАЧЕННОГО В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА ПРОИЗВОДСТВО 1 КГ ПРОДУКЦИИ})$
 $+ 1,577 \times (\text{СТОИМОСТЬ ТРУДА, ЗАТРАЧЕННОГО В ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВО 1 М ТКАНИ}) = 5 \text{ ДОЛЛ.}$

РАСЧЕТ ЦЕН на товары и услуги показан на примере трехсекторной экономики. Предполагается, что годовая норма прибыли на инвестированный капитал равна 10%, а показатели материальных затрат и основного капитала в таблице «затраты — выпуск», приведенной в верхней части рисунка, выражены в расчете на единицу годового выпуска продукции соответствующих секторов. Например, первая строка второго столбца показывает, что для производства 1 м ткани обрабатывающей промышленности требуется 0,4 кг сельскохозяйственной продукции. Эта величина получена из эмпирически сложившегося соотношения, в соответствии с которым для выпуска 50 м ткани требуется затратить 20 кг сельскохозяйственной продукции (см. таблицу на с. 7). Цена 1 кг сельскохозяйственной продукции и 1 м ткани рассчитывается по уравнению, правая часть которого представляет собой сумму стоимостей соответствующих затрат. В результате получается два уравнения (а, б), каждое из которых включает по два неизвестных — цену 1 кг сельскохозяйственной продукции и цену 1 м ткани. Решение этих уравнений приведено в нижней части рисунка (с, д). Правые части уравнений представляют собой сумму произведений стоимости удельных трудовых затрат на выпуск сельскохозяйственной продукции и ткани и соответствующих коэффициентов. Для простоты предполагается, что часовая заработная плата в обоих секторах равна 1 долл.

НЕСКОЛЬКО слов стоит сказать о тех изменениях технического уровня производства, которые, как предполагается, произойдут в рамках третьего сценария. Одно из самых примечательных последствий внедрения новой технологии состоит в том, что для производства той же номенклатуры товаров потребуется существенно меньше рабочей силы, чем при старой технологии. Хотя увеличение занятости прогнозируется для обеих технологий, в случае новой технологии к 1990 г. потребуется примерно на 11 млн. рабочих меньше, чем при старой. К 2000 г. величина указанного расхода составит 20 млн. человек.

Структура занятости для двух технологий также не одинакова. Если будет принята новая технология, то в 2000 г. профессиональные работники составят 20% всех занятых, тогда как при старой технологии всего 14,5%. В 1978 г. доля профессиональных работников в общем числе занятых была 15,6%. При новой технологии численность обслуживающего персонала в 2000 г. будет на 2% больше, чем при старой технологии, хотя в обоих сценариях величина этого показателя немного выше, чем она была в 1978 г.

Что касается административно-управленческого персонала и служащих, то здесь наблюдается противоположная картина. При старой технологии доля административно-управленческого персонала в 2000 г. составит около 11% всех занятых, а доля служащих — выше 18%. Соответственно при новой технологии доля административно-управленческих работников будет равна лишь 7,2%, а доля служащих — только 11,4%. В 1978 г. в общей численности занятых административно-управленческий персонал составлял 9,5%, а служащие — 17,8%.

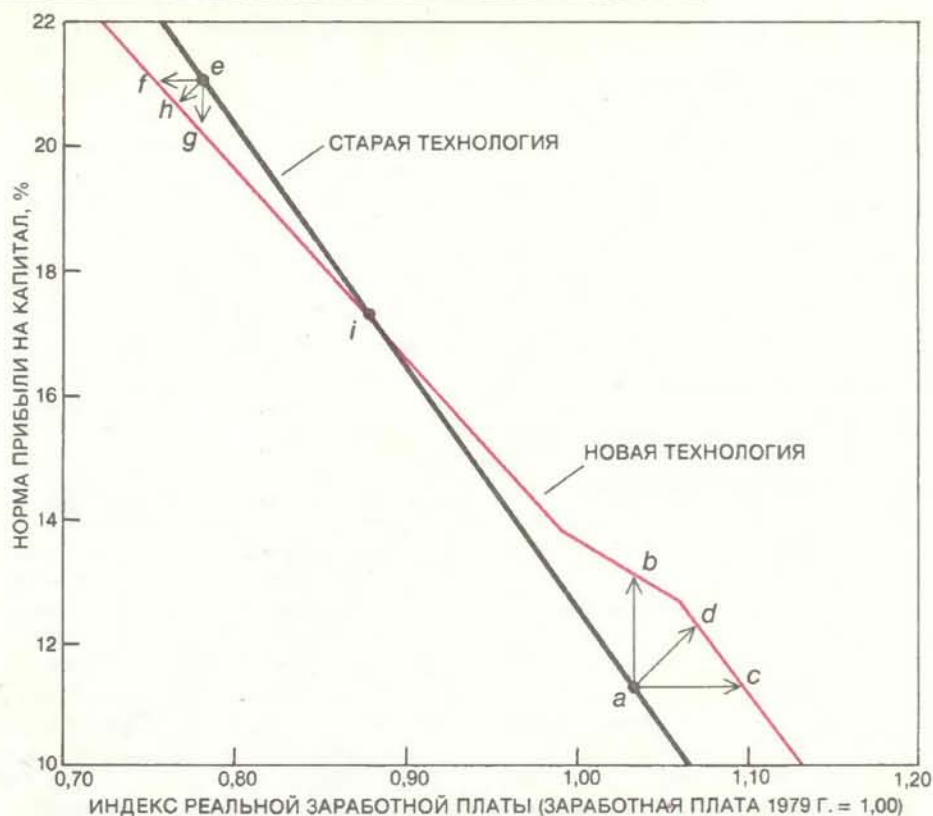
Я коротко упомянул еще некоторые возможные изменения, которые будут иметь место при использовании новой технологии. Одно из них — уменьшение потребности в черных металлах и их сплавах. Это частично объясняется тем, что в производстве, оснащенном станками с ЧПУ, отходов металла получается меньше, чем у рабочих-станочников. Прогнозируется также значительное увеличение спроса на цветные металлы и снижение спроса на краску. По имеющимся оценкам использование роботов для красильных работ может сэкономить от 10 до 30% краски, обычно расходуемой в промышленности.

Отрасли, связанные с обработкой большого количества информации в небольших учреждениях, быстро увеличат свой основной капитал за счет приобретения ЭВМ. К этим отраслям относятся розничная торговля, торговля недвижимостью, гостиничное дело, организация досуга и образование. Основная доля капиталовложений в этих отраслях будет направлена на приобретение настольных ЭВМ и электронных кассовых аппаратов.

Наиболее сложным видом средств автоматизации в промышленности будет, по нашему мнению, так называемая гибкая обрабатывающая система. В ней несколько станков с ЧПУ объединены в отдельную производственную линию, автоматически выполняющую несколько операций. Одна такая линия могла бы, например, просверлить отверстие в металлической болванке, обработать ее на токарном станке, затем придать полученной заготовке требуемую форму и, наконец, произвести отделочные операции. Все станки в линии связаны между собой конвейером и управляются вычислительными машинами с иерархической организацией. Среди отраслей, которые раньше других перейдут на использование гибких обрабатывающих систем, будут, по-видимому, те, которые связаны с производством крепежных деталей и штампованных изделий, а также отрасли, производящие металлообрабатывающее оборудование, и авиационная промышленность.

Производство средств производства в общем объеме национального выпуска будет составлять большую долю при новой технологии, чем при старой. Выпуск товаров, потребляемых другими отраслями, будет почти на 9% выше при новой технологии, чем при старой, а капиталовложения будут больше на 42%. Увеличение выпуска товаров производственного назначения замедлит в ближайшие 15 лет наблюдающееся в настоящее время перемещение рабочей силы из обрабатывающей промышленности в сферу услуг.

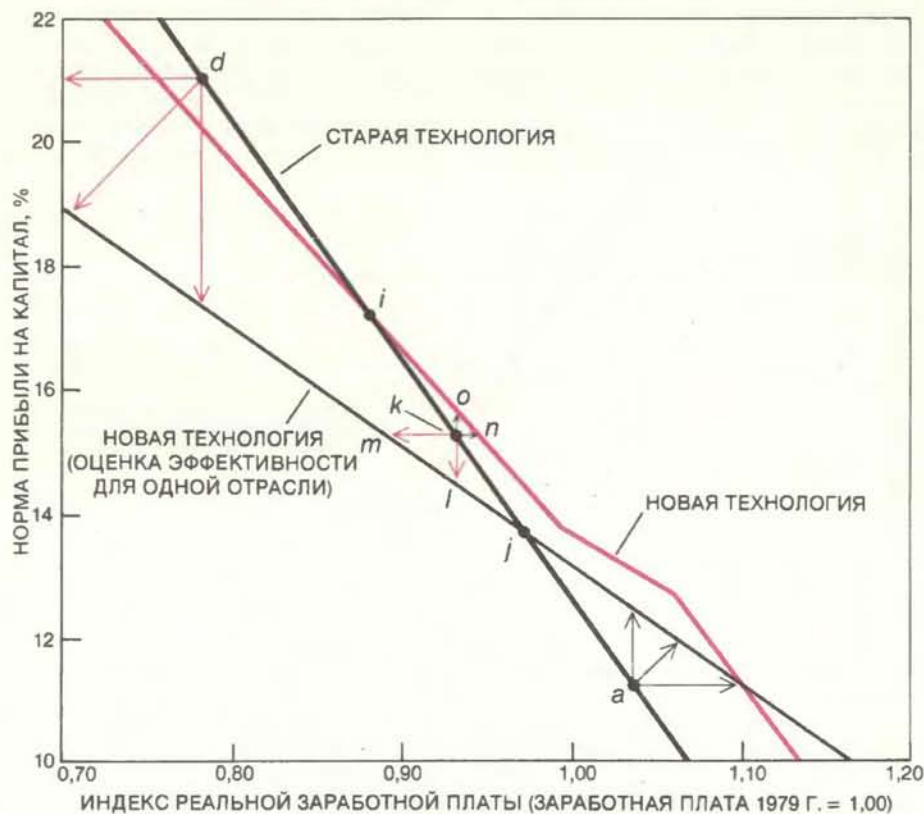
ЧТОБЫ сравнить общую продуктивность экономики при старой и новой технологиях, необходимо более детально рассмотреть их сущность в каждом секторе экономики. Краткое описание каждой технологии можно представить в виде кулинарного рецепта. Перечень ресурсов с указанием их количества, необходимого для производства единицы продукции каждой отрасли, подобен списку ингредиентов в обычном кулинарном рецепте. В качестве таких ресурсов будут выступать рабочая сила, а также товары и услуги, в которых нуждаются различные секторы экономики.



СООТНОШЕНИЕ между реальной заработной платой и нормой прибыли на капитал показано для двух случаев, когда экономика США развивается либо по «старой», либо по «новой» технологии. Черная линия соответствует соотношению, которое может иметь место при комбинации рецептов промышленного производства, использовавшихся различными секторами экономики в конце 70-х годов. Эта комбинация, соответствующая так называемой старой технологии, отражена в таблице «затраты — выпуск», описывающей потоки товаров и услуг между 89 секторами экономики. Для любого значения номинальной заработной платы и любой нормы прибыли на капитал цену единицы каждого продукта можно рассчитать точно так же, как это было сделано для трехсекторной экономики (см. рисунок на с. 8). Уровень реальной заработной платы, соответствующий данным значениям номинальной зарплаты и нормы прибыли, может быть затем рассчитан с помощью стандартного индекса стоимости жизни. Величина реальной заработной платы принята равной 1 долл./ч при норме прибыли на капитал 12,5%, как это было в 1979 г. Отметим, что, если бы норма прибыли была больше, величина реальной заработной платы снизилась бы; при увеличении же реальной заработной платы норма прибыли была бы ниже. Цветная линия построена по результатам аналогичных расчетов, выполненных для второй комбинации рецептов промышленного производства. Эта комбинация соответствует развитию экономики по так называемой новой технологии, предполагающей широкое внедрение в период до 2000 г. различных средств автоматизации и вычислительной техники. Взаимное расположение двух линий на графике показывает, как выбор между двумя вариантами развития экономики зависит от действующей нормы прибыли на капитал (или реальной заработной платы). Например, если при развитии по старой технологии норма прибыли будет равна 11% (а), то внедрение новой технологии может повысить ее почти до 13% (б). Если бы предприниматели удовлетворились величиной нормы прибыли 11%, то при внедрении новой технологии реальная заработная плата увеличилась бы с 1,03 долл./ч до почти 1,10 долл./ч (с). Внедрение новой технологии в этом случае оказалось бы выгодным и предпринимателям, и рабочим (д). В то же время, если бы норма прибыли при развитии по старой технологии была равна 21%, соответствующее значение реальной заработной платы составило бы около 0,78 долл./ч (е), а издержки, связанные с внедрением новой технологии, привели бы к снижению реальной заработной платы (f), или уменьшению нормы прибыли (g), или того и другого одновременно (h). При норме прибыли 17,5% (i) как препятствий, так и стимулов к переходу от старой технологии к новой нет.

В отраслевом рецепте должно указываться число металлообрабатывающих станков, доменных печей, промышленных зданий и прочих вещей, необходимых для использования и переработки ресурсов. Иными словами, в рецепте должны быть перечислены

необходимые каждой отрасли основные средства производства, измеренные, скажем, количеством единиц каждого вида, необходимых для обеспечения годового выпуска этой отраслью различной продукции. В денежном выражении стоимость этих



АНАЛИЗ последствий внедрения новой технологии с позиции одной отрасли приводит к получению неточных оценок затрат и выгод. Тонкой черной линией показана зависимость между реальной заработной платой и нормой прибыли на капитал, которая имела бы место, если бы средства автоматизации на базе ЭВМ были внедрены только в черной металлургии. Черная жирная и цветная линии выражают аналогичные зависимости соответственно при старой и новой технологиях. Из графика видно, что при таком анализе верный вывод относительно перехода к использованию новой технологии или об отказе от модернизации производства будет сделан, когда существующее состояние экономики будет характеризоваться соответственно точками *a* и *d*. Если же норма прибыли будет находиться в пределах между 14% (*j*) и 17,5% (*i*), что на графике соответствует точке *k*, то отказ от перехода на новую технологию на основании прогнозируемого снижения нормы прибыли (*l*) или реальной заработной платы (*m*) окажется ошибочным из-за неверных предпосылок. Более детальный анализ, в котором учитывается, что переход к использованию новой технологии в черной металлургии сопровождается аналогичными прогрессивными изменениями в других секторах экономики, показывает, что даже при таких высоких значениях нормы прибыли внедрение новой технологии оказывается выгодным либо наемным рабочим (*n*), либо предпринимателям (*o*). К сожалению, из-за отсутствия необходимых данных по экономике в целом управляющие, ответственные за модернизацию производства, оценку последствий внедрения новой технологии зачастую делают на основании учета ограниченного числа факто-

средств производства есть не что иное, как объем годовых капиталовложений отрасли в расчете на единицу выпускаемой продукции. Владельцы основных средств производства в каждой отрасли стремятся максимизировать норму прибыли на капитал. Поэтому величина этого показателя для различных технологий, выраженная в процентах к годовому объему капиталовложений, и определяет, какую из технологий следует выбрать.

Сведение рецептов всех секторов экономики в отдельную упорядоченную таблицу может дать краткое, но достаточно подробное описание технологической структуры экономики на данный момент. Эта структура

определяет объем соответствующих видов ресурсов, которые каждая отрасль должна получить из других отраслей, и объем производства различных видов продукции, которые нужно поставить другим отраслям. Кроме того, технологическая структура определяет, сколько рабочих должно быть занято в каждой отрасли на каждом виде производственной деятельности и сколько станков и других товаров производственного назначения должно в них использоваться.

При наличии такой информации трудно составить систему уравнений для расчета стоимости всех видов ресурсов и готовой продукции. Из этих уравнений видно, что цена любого то-

вара или вида услуг зависит не только от фонда заработной платы и нормы прибыли на капитал в отрасли, производящей этот товар или предоставляющей услугу, но и от фактических ставок заработной платы и норм прибыли во всех остальных отраслях.

После того как для данной комбинации фондов заработной платы и значений нормы прибыли на капитал определены цены, можно скорректировать величину заработной платы с учетом изменений среднего уровня цен на предметы потребления. Предполагается, что каждый потребитель ежегодно покупает определенный набор товаров. Суммарная стоимость этих товаров подсчитывается для всех лет изучаемого периода. Отношение суммы для любого данного года к стоимости набора товаров в некотором базовом году представляет собой индекс стоимости жизни. Номинальная заработная плата, или фактическая сумма выплат в каждом году всем работающим в денежном выражении, может быть затем переведена в реальную, или эффективную, заработную плату для любой новой комбинации номинальной заработной платы и нормы прибыли. Реальная заработная плата равна номинальной заработной плате, деленной на индекс стоимости жизни.

ПОКА технологическая база экономики остается неизменной, или, иначе говоря, пока используется один и тот же рецепт производства, сохраняется определенная однозначная взаимосвязь между нормой прибыли на капитал и уровнем реальной заработной платы. При фиксированном состоянии технологии любому данному значению нормы прибыли на инвестированный капитал соответствует только один уровень реальной заработной платы. Другими словами, данному уровню реальной заработной платы соответствует только одно значение нормы прибыли на капитал. Не удивительно, что между нормой прибыли и реальной зарплатой существует обратная зависимость: в рамках любой фиксированной технологии интересы тех, кто вкладывает капитал, и наемных работников противоположны. Увеличение нормы прибыли на капитал означает снижение реальной заработной платы, и, наоборот, возрастание реальной заработной платы ведет к уменьшению нормы прибыли. Взаимосвязь между реальной заработной платой и нормой прибыли, определенная для данной технологии, может быть интерпретирована как мера продуктивности экономики, базирующейся на этой технологии.

Изменение технологической базы

экономики можно сравнить с замещением старых рецептов промышленного производства новыми в некоторых или во всех ее секторах. Такое изменение неизбежно вызывает сдвиг во взаимно-однозначной зависимости между реальной заработной платой и нормой прибыли на капитал. Новая зависимость может быть определена после составления системы уравнений, отражающих новую структуру взаимосвязи всех отраслей экономики. И опять эту систему уравнений можно решить относительно цен на товары и услуги при данных уровнях номинальной заработной платы и нормы прибыли на капитал. Уровень реальной заработной платы, соответствующий каждому значению нормы прибыли, может быть затем рассчитан с помощью показателя индекса стоимости жизни.

Переход к использованию новой технологии в некоторых или во всех секторах экономики может привести к возрастанию общей продуктивности экономики. В этих условиях, например, норма прибыли на капитал может увеличиться, не вызвав при этом соответствующего снижения уровня реальной заработной платы. И наоборот, увеличение заработной платы не будет сопровождаться уменьшением нормы прибыли на капитал. В самом деле, хотя в рамках любой отдельно взятой технологии интересы предпринимателей и рабочих сталкиваются, изменение технологии может оказаться выгодным для обеих сторон*.

АНАЛИЗ цен с помощью метода «затраты — выпуск» в рамках данной технологии легче понять на простом числовом примере. Представим себе экономику, состоящую лишь из трех секторов: сельского хозяйства, обрабатывающей промышленности и домашнего хозяйства, потребляющего все конечные продукты и обеспечивающего народное хозяйство рабочей силой. Допустим также, что сельскохозяйственный сектор производит только продукцию растениеводства, измеряемую в килограммах, а обрабатывающая промышленность выпускает только ткань, объем производства которой измеряется в погонных метрах.

Сектор домашнего хозяйства потребляет не всю продукцию, производимую сельскохозяйственным сектором. Часть ее, например хлопковое волокно, в качестве сырья использу-

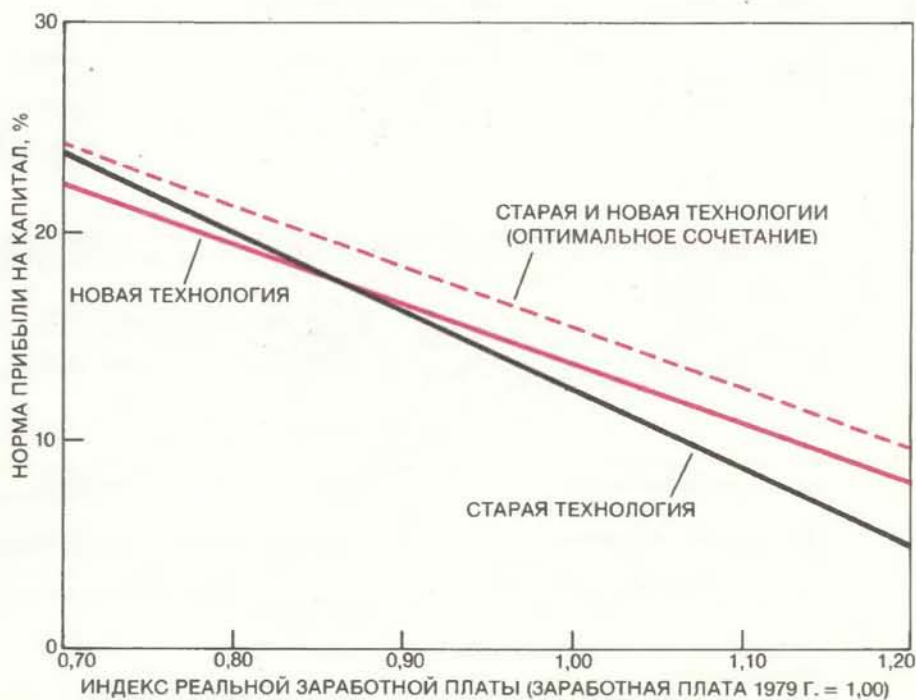
ется обрабатывающей промышленностью для изготовления ткани. Другая часть, например бобовые культуры, запахивается обратно в почву для пополнения в ней запасов азота. Аналогично не вся продукция обрабатывающей промышленности поступает в сектор домашнего хозяйства в качестве конечной продукции. Часть ткани, выпускаемой обрабатывающей промышленностью, покупается сельскохозяйственным сектором для изготовления мешков под зерно, другая часть используется в самой обрабатывающей промышленности для пошива рабочей спецодежды.

Предположим, что в соответствии с производственным рецептом для получения 1 кг сельскохозяйственных культур требуется затратить 0,25 кг продукции этого же сектора, 0,14 м ткани и 0,55 чел.-ч. рабочего времени. (Дождь, почва, солнечный свет полагаются независимыми факторами, не имеющими экономического характера.) В рецепте на производство 1 м ткани предусмотрены следующие затраты: 0,4 кг сельскохозяйственной продукции, 0,12 м ткани и 2,7 чел.-ч. рабочего времени. Эти количественные показатели называются коэффициентами затрат. Если фактический объем производства продукции сельского хозяйства равен 100 кг, то коэффициенты затрат сельского хозяйства следует просто умножить на 100. В

результате получим, что для производства этих 100 кг потребуется 25 кг сельскохозяйственной продукции, 14 м ткани и 55 чел.-ч. рабочего времени. Если фактический выпуск обрабатывающей промышленности составляет 50 м ткани, то для их производства необходимо затратить 20 кг продукции сельского хозяйства, 6 м ткани и 135 чел.-ч. рабочего времени.

В таблице «затраты — выпуск» (см. рисунок на с. 7) все текущие ресурсы, поглощаемые каждым сектором экономики, представлены в виде столбца чисел. Поскольку все потребляемые ресурсы (затраты) одновременно являются и конечным продуктом (выпуском), каждое число в столбце может определяться также в соответствии с наименованием строки, в которой оно расположено. Следовательно, столбец «Сельское хозяйство» в только что рассмотренном примере включает в себя следующие количественные показатели: 25 кг, 14 м и 55 чел.-ч. В столбце «Обрабатывающая промышленность» соответственно указаны 20 кг, 6 м и 135 чел.-ч.

Когда перечень затрат занесен в таблицу, в каждой строке слева направо можно проследить распределение продукции каждого сектора экономики между всеми остальными секторами, а также на собственные нужды. Как показано в первой строке таб-



ОПТИМАЛЬНОЕ СОЧЕТАНИЕ старых технологий в одних секторах с новыми технологиями в других секторах для любой данной нормы прибыли на капитал — типичная задача линейного программирования. Прямая, соответствующая результату соотношению между нормой прибыли и реальной заработной платой, графически накладывается на прямые, выражающие зависимость тех же показателей для случаев, когда во всех секторах используется только старая или только новая технология. Оптимальное сочетание может улучшить показатели как реальной заработной платы, так и нормы прибыли.

* При этом автор не говорит, что внедрение новой, более производительной технологии может сопровождаться уменьшением занятости и как следствие ростом безработицы. — Прим. ред.

лицы на с. 7, из 100 кг сельскохозяйственной продукции 25 кг должно быть возвращено обратно этому же сектору экономики, 20 кг продается обрабатывающей промышленности и 55 кг остается для потребления в домашнем хозяйстве. Аналогично, как видно из второй строки таблицы, из 50 м ткани, произведенной в обрабатывающей промышленности, 14 м должно быть поставлено сельскому хозяйству, 6 м использовано самой обрабатывающей промышленностью и 30 м остается для потребления в домашнем хозяйстве.

Для производства ткани или сельскохозяйственной продукции одним только материальных и трудовых затрат не достаточно. В каждом секторе рассматриваемой «малой» экономики имеется также основной капитал (основные производственные фонды). В сельском хозяйстве к нему относятся, например, амбары, построенные из древесины, полученной в этом же секторе экономики, и сушильные навесы, которые в плохую погоду могут укрываться брезентом, полученным из обрабатывающего

сектора экономики. В обрабатывающей промышленности основной капитал складывается, например, из зданий, построенных из древесины, являющейся продукцией сельского хозяйства, и ременных трансмиссий, служащих для передачи энергии и изготовленных из тканей, производящихся в этом же секторе.

Как уже отмечалось, еще до того, как отрасль сможет приступить к преобразованию своих затрат в готовую продукцию (выпуск), в ней уже должно находиться некоторое количество основного капитала. Предположим, что для выпуска 1 кг продукции сельского хозяйства необходимо иметь запас основного капитала в 0,5 кг сельскохозяйственной продукции и 0,3 м ткани. Соответственно для производства 1 м ткани необходимо обладать запасом основного капитала, равным 2 кг сельскохозяйственной продукции и 1 м ткани. Приведенные числа называются коэффициентами капиталоемкости.

ТЕПЕРЬ при данной норме прибыли на капитал в расчете на единицу производимой в отрасли продукции (выпуска) можно рассчитать цену единицы каждого производящегося в экономике продукта. Цена каждой та-

кой единицы должна равняться стоимости использованных материальных затрат плюс стоимость основного капитала, израсходованного на производство единицы продукции, и плюс стоимость труда, тоже затраченного на производство единицы продукции. Например, стоимость материальных затрат в сельском хозяйстве для производства единицы продукции (1 кг), равна 0,25 кг, умноженному на цену 1 кг сельскохозяйственной продукции, плюс 0,14 м, умноженному на цену 1 м ткани. Если годовая норма прибыли на капитал составляет 10%, то стоимость капитала, израсходованного при производстве 1 кг сельскохозяйственной продукции, равна 10% от 0,5, помноженного на стоимость 1 кг продукции, плюс 10% от 0,3, помноженного на цену 1 м ткани. Стоимость труда определяется просто как произведение коэффициента трудовых затрат, равного 0,55, и часовой заработной платы (см. рисунок на с. 8).

Отметим, что при данных значениях часовой заработной платы и годовой нормы прибыли на капитал сформулированное нами соотношение, или уравнение, из которого определяется цена 1 кг сельскохозяйственной продукции, включает в себя только два неизвестных значения: саму цену 1 кг продукции сельского хозяйства и цену 1 м ткани. Второе, аналогичное

40	Производство ЭВМ Производство полупроводниковых приборов Государственные промышленные предприятия			
	Деревообрабатывающая промышленность Деревянные контейнеры		Нефтепереработка Торговля недвижимостью	
21	Добыча руд цветных металлов Добыча угля	Добыча химического сырья Строительство	Производство табака Производство бумаги Производство бумажной тары	Производство красок Производство изделий из камня и глины Производство двигателей и турбин
	Добыча камня и глины		Пищевая промышленность	
18,56	Добыча руд черных металлов	Производство домашней мебели	Издательское дело, печать, полиграфия	Производство чугуна и стали
15	Животноводство Лесная промышленность и рыболовство Услуги сельскому хозяйству, лесной промышленности и рыболовству	Добыча нефти и природного газа Производство тканей Производство текстильных изделий	Прочее оборудование и инвентарь Кожевенная промышленность Производство труб и строительных деталей из металла	
	Обувная промышленность		Производство изделий из стекла	Первичная обработка цветных металлов
10	Производство вооружения		Производство резины и пластмассы	Производство различного оборудования, кроме электрического
5	Металлообрабатывающая промышленность		Производство электроосветительного оборудования	Производство оптических приборов и фотоаппаратов
0	Производство прочих сельскохозяйственных продуктов		Деловые услуги	
ВСЕ ПРОЧИЕ	Канторское оборудование		Отели, сфера личных услуг, кроме ремонта автомобилей	

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СТИМУЛЫ для внедрения средств автоматизации и вычислительной техники в данном секторе экономики зависят от преобладающей величины нормы прибыли на капитал и уровней реальной заработной платы, которым соответствует каждое значение нормы прибыли. Для всех указанных слева значений нормы прибыли

определено такое оптимальное сочетание старой и новой технологии, при котором реальная заработная плата максимальна. В результате расчета выявляются сектора, для которых внедрение новой технологии оказывается выгодным. Например, для трех секторов, указанных в самом верхнем прямоугольнике, выгодно внедрять новую техно-

уравнение может быть написано для определения цены 1 м ткани по известным значениям коэффициентов затрат и коэффициентов капиталоемкости. Короче, имеется два уравнения, в которые входят одни и те же два неизвестных параметра. Поскольку эти уравнения были выведены независимо друг от друга, из них могут быть определены оба неизвестных. В нашем примере получается, что если часовая зарплата в обоих секторах экономики равна 1 долл., то 1 кг сельскохозяйственной продукции стоит 2 долл., а 1 м ткани — 5 долл.

В общем случае для экономики, состоящей из n секторов, в каждом из которых выпускается по одному виду продукции, нужно определить n цен. Имеющиеся рецепты выпуска этих n видов продукции позволяют составить n уравнений, в каждое из которых входит не более n неизвестных значений. Соответствующие математические методы позволяют получить из этих уравнений все n значений цен. Если рецепты производства составлены в виде стандартной таблицы «затраты — выпуск», то можно использовать методы линейной и матричной алгебры, хорошо представленные в программном обеспечении ЭВМ и даже некоторых переносных калькуляторов, что позволяет легко и быстро проводить все необходимые расчеты.

Описанным способом можно определить цены для любых комбинаций уровня заработной платы и нормы прибыли. Заработная плата в каждом случае представляет собой номинальную заработную плату, и для простоты мы предполагали, что ее величина, выраженная в постоянных долларах 1979 г., является фиксированной. Тогда при изменении нормы прибыли цены на отдельные виды продукции можно определить с помощью уравнений, о которых говорилось выше. Математически можно показать, что предположение о постоянстве номинальной заработной платы не нарушает общности наших конечных выводов. И соотношения цен различных видов продукции, и уровень реальной заработной платы определяются только как относительные и не зависят от абсолютных значений уровня номинальной заработной платы.

ЧТОБЫ определить совокупность возможных значений реальной заработной платы и нормы прибыли на капитал в экономике США при старой технологии, мы разбили национальное хозяйство страны на 89 секторов. При разработке сценария, предполагающего развитие по старой технологии, в основу были положены значения коэффициентов затрат и капитальных коэффициентов, рассчитанные министерством торговли по дан-

ным 1978 г. В 1979 г., принятым за базовый, норма прибыли на инвестированный капитал была равна 12,5%, а соответствующее значение реальной заработной платы в час — 1 долл. Если предположить, что норма прибыли увеличится до 20%, то реальная заработная плата будет равна 80% уровня 1979 г. Если же допустить, что норма прибыли уменьшится до 5%, то реальная заработная плата возрастет более чем на 20%.

Таким образом, каждое решение системы уравнений для расчета цен на продукцию всех 89 секторов экономики характеризует определенное соотношение между заработной платой и нормой прибыли на капитал. Следующая задача заключалась в исследовании влияния этих соотношений на относительные цены различных товаров. Относительная цена продукции равна ее фактической цене в денежном выражении, деленной на индекс стоимости жизни. Полученные результаты показывают, что увеличение нормы прибыли, сопровождающееся соответствующим уменьшением реальной заработной платы, приводит к увеличению относительных цен товаров в таких отраслях экономики, как добыча железной руды, коммунальные услуги и животноводство. В сфере коммунальных услуг, например, возрастание значения нормы прибыли на капитал с базового

Производство строительных машин Производство погрузочно-разгрузочного оборудования Производство оборудования для сферы услуг	Производство прочего транспортного оборудования Производство средств транспортировки и хранения продукции Производство радиопередающего оборудования и телевизионных станций	Оптовая торговля Финансовое дело Страхование	Различные текстильные товары Одежда
Производство металлических контейнеров	Производство промышленного оборудования общего назначения	Производство элементной базы для электронной аппаратуры	Производство прочих изделий обрабатывающей промышленности
Производство крепежных деталей Производство прочей продукции из металла Производство сельскохозяйственных машин и садового инвентаря	Производство специального промышленного оборудования Производство промышленного электрооборудования Производство радиотелевизионной аппаратуры и средств связи	Производство электронных ламп и кинескопов Производство прочих электромашин Научное и промышленное приборостроение	Производство средств связи, кроме радио- и телеаппаратуры
Производство бытовых приборов	Авиационная промышленность	Розничная торговля	
Производство автомобилей и мотоциклов Ремонт автомобилей	Электро-, газо- и водоснабжение, санитарные услуги	Неприбыльные организации	
Предприятия общественного питания	Организация досуга	Больницы	Медицинское обслуживание, кроме содержания в больницах
			Образование (частное)

логию при всех значениях нормы прибыли ниже 40%. Все остальные сектора, норма прибыли в которых выше 30%, должны работать при старой технологии. Если норма прибыли равна 30% или немного меньше, то новую технологию выгодно внедрять всем секторам, перечисленным во втором прямоугольнике. Таким секторам, как здравоохране-

ние и образование, будет выгодно функционировать при старой технологии независимо от стоимости капитала, если принятые решения о выборе технологии будут основываться только на учете размера заработной платы и нормы прибыли на капитал.

уровня, равного 12,5% в 1979 г., до 20% влечет за собой увеличение стоимости услуг на 25%. В то же время при аналогичном возрастании нормы прибыли появляется тенденция к снижению относительных цен на деревянные контейнеры и услуги розничной торговли. Например, цена деревянных контейнеров снижается до 92% их относительной цены в 1979 г.

Причина различного влияния одного и того же фактора на характер изменения относительных цен заключается в неодинаковых пропорциях затрат труда и капитала, добавляемых к материальным затратам в процессе изготовления конечной продукции. Сфера коммунальных услуг, например, требует относительно большой величины основного капитала. Поэтому цены услуг очень чувствительны к возрастанию нормы прибыли на капитал. В то же время изготовление таких товаров, как деревянные контейнеры, является относительно трудоемким, и поэтому снижение реальной заработной платы, сопровождающее увеличение нормы прибыли, с избытком компенсирует увеличение издержек основного капитала.

ЧТОБЫ сравнить характер взаимосвязи заработной платы и нормы прибыли при старой и новой технологиях, нужно было решить еще одну систему из 89 уравнений, составленных для определения 89 неизвестных значений цен на те виды продукции, которая производится в 89 секторах экономики. Эти уравнения строились по тому же принципу, что и в сценарии, предусматривающем развитие в рамках старой технологии. Коэффициенты затрат и капитальные коэффициенты из третьего сценария, рассчитанного на широкое внедрение в производство средств автоматизации, использующих вычислительную технику, были соответствующим образом введены в каждое из 89 уравнений. Затем с помощью ЭВМ эти уравнения были решены для каждого из нескольких заранее фиксированных значений нормы прибыли.

Взаимную связь между заработной платой и нормой прибыли при старой и новой технологиях можно представить графически. По горизонтальной оси будем откладывать величину реальной заработной платы, по вертикальной — норму прибыли (см. рисунок на с. 9). При новой технологии величине нормы прибыли 12,5%, имевшей место в 1979 г., соответствует заработная плата, величина которой более чем на 6% выше той, которая соответствует старой технологии. Если бы рабочие удовлетворились той же реальной заработной платой, какую они получали в 1979 г., то

введение новой технологии позволило бы увеличить годовую норму прибыли почти до 14%. Следовательно, при сохранении характерной для 1979 г. взаимосвязи между заработной платой и нормой прибыли и рабочие, и предприниматели при введении новой технологии могли бы увеличить свои доходы.

Показатели уровня реальной заработной платы, найденные по данным значениям нормы прибыли при новой технологии, превосходят величину тех же показателей, рассчитанных для старой технологии, вплоть до значения нормы прибыли, равного 17,5%. Когда же она равна указанной величине, размер реальной заработной платы как при старой, так и при новой технологии составляет 88% ее базового уровня. Если же норма прибыли превысит 17,5%, то ни рабочие, ни предприниматели не выиграют от внедрения новой технологии. Затраты, связанные с модернизацией основного капитала и его увеличением, в этом случае будут настолько велики, что сведут на нет преимущества, связанные с переходом на новую технологию. Подобный анализ позволяет объяснить, в частности, почему японские предприниматели зачастую более активно внедряют новую технологию, чем их американские конкуренты. Поскольку японцы во многих случаях удовлетворяются более низкой нормой прибыли на инвестированный капитал, вероятность, что этот показатель при переходе к новой технологии увеличится, выше.

Зная характер взаимосвязей между уровнем заработной платы и нормой прибыли при различных вариантах технического перевооружения производства, можно дать количественное объяснение неудачным попыткам некоторых отраслей внедрить новую технологию. Вернемся к примеру, приведенному в самом начале статьи, и рассмотрим ситуацию, в которой оказался управляющий металлургического завода. При данном размере накопления капитала, определяемом нормой прибыли на капитал, управляющий должен решить, стоит ли модернизировать его завод. Однако, как уже отмечалось, сравнение издержек, связанных с развитием производства по новой и старой технологиям, обычно делается без использования эмпирической модели, учитывающей зависимость всех факторов национальной экономики. Вместо этого во внимание, как правило, принимаются лишь цены, сложившиеся в экономике к моменту принятия решения, а в них отражается преобладающая роль старой технологии — и не только в черной металлургии, но и во всех остальных отраслях.

АНАЛИЗ затрат, связанных с внедрением новой технологии, в этом случае сводится к решению лишь одного уравнения, составленного с учетом нового промышленного рецепта производства стали. Стоимости материальных ресурсов и используемых средств производства, входящие в это уравнение, не являются неизвестными величинами, как в анализе по методу «затраты — выпуск». Напротив, они представляют собой константы, значение которых определено условиями производства, сложившимися в экономике при старой технологии. С помощью описанного выше метода, зная новую цену единицы готовой продукции, производимой в черной металлургии, можно определить уровень заработной платы для данной нормы прибыли на капитал.

Такой способ определения затрат на новую технику неизбежно приводит к получению искаженных результатов, за исключением того маловероятного случая, когда даже после перехода черной металлургии на новый способ производства все остальные отрасли будут продолжать придерживаться старой технологии. Мы рассчитали соотношение между значениями заработной платы и нормы прибыли, полученными на основе нового набора стоимостей, и сравнили его с зависимостью, преобладавшей в условиях старой технологии. Было обнаружено, что управляющий металлургическим заводом должен отказаться от внедрения новой техники, если величина нормы прибыли превысит 14%. Таким образом, в случае, если значение нормы прибыли находится в пределах от 14 до 17,5%, управляющий примет ошибочное решение (см. рисунок на с. 10) и откажется от перехода к использованию новой технологии. В то же время более полный и корректный анализ показывает, что и рабочие, и предприниматели только выиграли бы от этого.

Анализируя полученные результаты, мы обнаружили, что при увеличении нормы прибыли на капитал и соответствующем снижении реальной заработной платы относительные цены почти всех товаров и услуг были бы ниже. Исключения составляют относительные цены на медицинские услуги и образование, которые будут возрастать в большей степени, чем относительные цены большинства других видов услуг и товаров. Этот факт побудил нас исследовать, что же произойдет, если новая технология будет внедрена повсюду, за исключением этих трех секторов.

Полученные результаты свидетельствуют, что внедрение технических новшеств в сфере здравоохранения и образования скорее препятству-

ет, чем способствует росту эффективности экономики в целом. В самом деле, при теперешней административно-правовой системе организации функционирования указанных секторов они получают значительные правительственные субсидии за счет перераспределения части дохода, полученного в других секторах. Более строгий теоретический подход к исследуемой проблеме с учетом механизма обложения налогом и выделения субсидий позволил бы детальнее проследить основные зависимости между затратами и выпуском продукции или оказанием услуг.

В то же время вполне можно ожидать, что внедрение новой технологии в здравоохранение и образование может привести к повышению качества конечной продукции и как следствие к определенным выгодам для потребителя. В той мере, в какой эти выгоды реализуются за счет производства совершенно новых товаров, их нельзя правильно учесть ни в индексе стоимости жизни, ни в реальной заработной плате в том виде, в каком эти показатели используются в принятой формулировке модели «затраты — выпуск». При существующем уровне наших эмпирических знаний решение вопроса о внедрении новой технологии в здравоохранении и образовании, равно как и сокращение расходов на развитие этих секторов, должно основываться преимущественно на политических соображениях.

Проблема анализа эффективности внедрения новой технологии в основном рассматривалась как выбор одной из двух возможностей: сохранения старых способов производства и перехода на новую технологическую базу. В действительности, конечно, ни одна из этих альтернатив не является «неделимой»: отдельные технические достижения в некоторых отраслях могут воплощаться в жизнь, а могут остаться и нереализованными. Рискую проявить слишком большое доверие к имеющимся скромным данным, я со своими коллегами попытался ответить на последний вопрос: какая комбинация технологий — старых в одних отраслях и новых в других — даст наибольшую величину заработной платы при определенных значениях нормы прибыли на капитал?

Проблема нахождения такой оптимальной комбинации математически может быть сформулирована в виде задачи линейного программирования. Результат ее решения представляет собой перечень секторов экономики, которые при любых значениях нормы прибыли выиграют от введения новой технологии (см. рисунок на с. 12–13). Оказывается, каждой норме прибыли соответствует свой перечень

отраслей, имеющий в определенном смысле кумулятивный характер: каждому сектору, оптимальное поведение которого состоит в переходе к использованию новой технологии при высоких значениях нормы прибыли на капитал, будет выгодно внедрять новую технологию и при любой другой более низкой величине этого показателя. Например, при норме прибыли 30–40% только отраслям, производящим вычислительную технику и полупроводниковые приборы, а также государственным промышленным предприятиям внедрение новой технологии оказалось бы выгодным. При норме прибыли 21–30% к этим трем секторам присоединяются деревообрабатывающая промышленность и производство деревянных контейнеров, нефтеперерабатывающая отрасль и торговля недвижимостью. По мере дальнейшего снижения нормы прибыли внедрение новой технологии оказывается выгодным все большему числу отраслей.

БЫЛО бы интересно поразмыслить, к чему приведет комбинация старой и новой технологий, которая получится, если каждая отрасль ограничится экономическим анализом лишь собственных показателей, как это было продемонстрировано на примере черной металлургии. Оказалось, что в этом случае характер выбора, сделанного отдельными отраслями, совершенно отличен от результатов, полученных при использовании метода линейного программирования. В то же время значения реальной заработной платы, которые могут быть получены при определенных размерах нормы прибыли, лишь немного ниже их оптимальных значений.

Имеется много других направлений, в которых могла бы использоваться рассмотренная методика анализа. Ее можно применить и для более сложных моделей «затраты — выпуск» с большей размерностью. Цены, полученные в нашей модели, могли бы также использоваться в анализе «межрегиональных» моделей «затраты — выпуск» типа опубликованной в 1977 г. глобальной модели мировой экономики, разработанной для ООН при моем участии совместно с Э. Картер и П. Петри из Университета Брандейса. Однако следует отметить, что никаких существенных успехов на этом поприще не может быть достигнуто, пока не будет создана новая и значительно более обширная база данных. Данные, данные и еще раз данные — вот что необходимо для того, чтобы досконально разобраться, как в действительности работает экономическая система.

Издательство ФИНАНСЫ И СТАТИСТИКА предлагает:

У. Инмон,
Л. Фридман

МЕТОДИКА ПРОВЕРКИ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ С БАЗАМИ ДАННЫХ

Перевод с английского
В книге приводится методика проверки решений на всех этапах разработки автоматизированных информационных систем с базами данных большого объема, использующих диалоговый режим и телеобработку. Проверяются архитектурные решения, структуры данных и программы (транзакции). Сформулированы группы вопросов, возникающих на этих этапах; по каждому вопросу даются варианты возможных решений.

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

1986, 18 л. Цена 1 р. 40 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.



Иммунологическая функция кожи

*Кожа человека — не только защитный покров,
но и активный элемент иммунной системы.*

*Специализированные клетки кожи, взаимодействуя между собой,
участвуют в иммунологическом ответе на чужеродные агенты*

РИЧАРД Л. ЭДЕЛЬСОН, ДЖОЗЕФ М. ФИНК

ЗА ЭЛЕГАНТНОЙ простотой кожи человека не сразу видны ее сложность и многочисленные функции. Толщиной всего в несколько миллиметров, она тем не менее является крупнейшим органом нашего тела; ее разнообразные высокоспециализированные клетки слагаются в сложные структуры и подсистемы. Одна из наиболее замечательных функций кожи выяснилась в самое последнее время: она оказалась неотъемлемым и активным компонентом иммунной системы.

В ретроспективе очевидно, что открытие активной роли кожи в иммунном ответе не должно казаться неожиданным. Кожа — это граница раздела между телом и окружающей средой. У человека она особенно уязвима, поскольку наш волосяной покров ограничен. Резонно допустить, что люди не могли бы противостоять заражению бесконечного числа кожных ран, не будь их внешний покров наделен способностью мобилизовать мощные защитные силы.

Еще неизвестные, но важные для организма функции какого-либо органа нередко выявляются при изучении различных болезней. Впервые то обстоятельство, что кожа отнюдь не пассивна при некоторых поражающих ее заболеваниях, стало очевидным, когда по-новому взглянули на злокачественное перерождение лимфоцитов — белых кровяных клеток, контролирующих иммунный ответ.

К 1970 г. в результате исследований на мышах стало ясно, что лимфоциты подразделяются на две большие, функционально различные популяции: В-клетки, созревающие в основном в костном мозге, и Т-клетки, созревающие в тимусе. В-лимфоциты отвечают за гуморальный ответ, вырабатывая специфические антитела против антигенов — например, молекул, участвующих в построении оболочки болезнетворных микроорганизмов или опухолевых клеток. Т-лимфоциты опосредуют клеточный иммунитет. Они, например, разрушают инфицированные вирусом клетки, запускают клеточный ответ на про-

никновение бактерий, отторгают несовместимый тканевый трансплантат. Подгруппы Т-клеток модулируют иммунный ответ: Т-«хелперы» способствуют созреванию В-клеток (т.е. превращению их в клетки, секретирующие антитела), а также увеличению специфических популяций Т-клеток; Т-«супрессоры» снижают функциональную активность В-клеток и лимитируют размеры популяций Т-клеток.

В 1972 г. впервые удалось разделить на В- и Т-клетки лимфоциты человека и в ряде исследований делались попытки связать злокачественные лимфоцитарные заболевания с преимущественным размножением либо Т-, либо В-клеток. К таким заболеваниям относятся лейкомии, при которых в крови циркулирует большое количество злокачественных лимфоцитов, и лимфомы, для которых характерно накопление опухолевых клеток в лимфатических узлах и органах тела. Итоги пересмотра классификации этих заболеваний на основе типов клеток оказались удивительными. В норме в крови Т-клеток по крайней мере вдвое больше, чем В-клеток, однако в большинстве случаев лимфом и лейкомий у взрослых злокачественному перерождению подвергаются не они, а В-лимфоциты.

Однако в Национальных институтах здоровья И. Грин, Ф. Шейн, Ч. Киркпатрик, Э. Шевач, М. Луцнер и один из нас (Эдельсон) смогли выявить обширную группу лейкомий и лимфом со злокачественными Т-клетками; кожа у таких больных обильно инфильтрирована злокачественными клетками. Граница между этими двумя категориями рака оказалась очень четкой: практически все лимфомы с инфильтрацией кожи имеют Т-клеточное происхождение, в тех же случаях, когда кожа не затронута, трансформированы, как правило, В-клетки. Другими словами, злокачественные Т-клетки имеют, по-видимому, особое сродство к коже.

Не означают ли эти данные, что все случаи злокачественности Т-клеток, проявляющих повышенное сродство

к коже, представляют собой одну и ту же болезнь? Сверх того, факт сродства злокачественных Т-клеток к коже заставлял предположить, что и нормальные Т-лимфоциты наделены тем же качеством и могут поселяться в коже. В самом деле, гистологи давно замечали в ней «случайные» лимфоциты, но особого значения им не придавали. По-видимому, злокачественное перерождение усиливает и делает очевидным незаметное в норме взаимодействие кожи с определенной популяцией населяющих этот орган Т-клеток.

Мы обнаружили, что при Т-клеточном раке, затрагивающем кожу, как правило имеют место три признака, несмотря на различия в клинических проявлениях болезни. Первый — у больных идет естественная эволюция клеточных популяций. Самые ранние изменения можно охарактеризовать как «эпидермотропные»: злокачественные клетки мигрируют во внешний слой кожи — эпидермис. На смену ранним изменениям приходят «неэпидермотропные» повреждения, при которых злокачественные клетки накапливаются не в эпидермисе, а в более глубоких слоях кожи и в подлежащих тканях. Если имеют место только «эпидермотропные» изменения, то другие органы обычно не поражены. Развитие же «неэпидермотропного» повреждения коррелирует с расселением злокачественных клеток во внутренних органах и с существенно худшим прогнозом для больного.

Итак, то, что ранее считалось разными злокачественными заболеваниями кожи, связанными с перерождением Т-клеток, оказалось просто разными стадиями одного заболевания. Поскольку сродство злокачественных Т-клеток к эпидермису здесь особо важно, мы назвали это заболевание кожной Т-клеточной лимфомой (КТКЛ). С выделением КТКЛ как единого заболевания стало ясно, что оно встречается даже чаще, чем болезнь Ходжкина, и, значит, является самой распространенной лимфомой взрослых.

Второй общий для больных КТКЛ

признак — кожная сыпь; это первое клиническое проявление болезни, несмотря на то, что подвергшиеся злокачественному перерождению клетки относятся к лейкоцитам, а не к клеткам, типичным для эпидермиса. Эти данные подтвердили Г. Раппопорт из Притцеровской медицинской школы Чикагского университета и Л. Томас из Национального института рака, исследовавшие материал биопсии 45 больных КТКЛ: у отдельных больных наблюдались только кожные проявления болезни без видимого вовлечения внутренних органов.

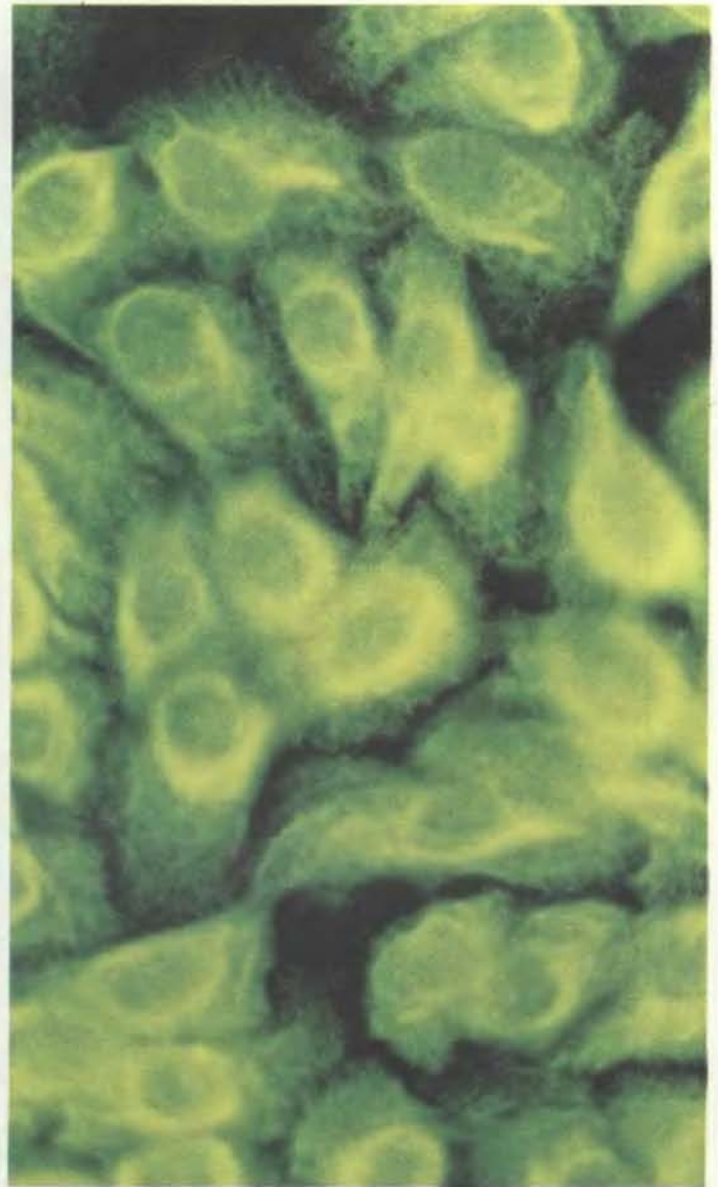
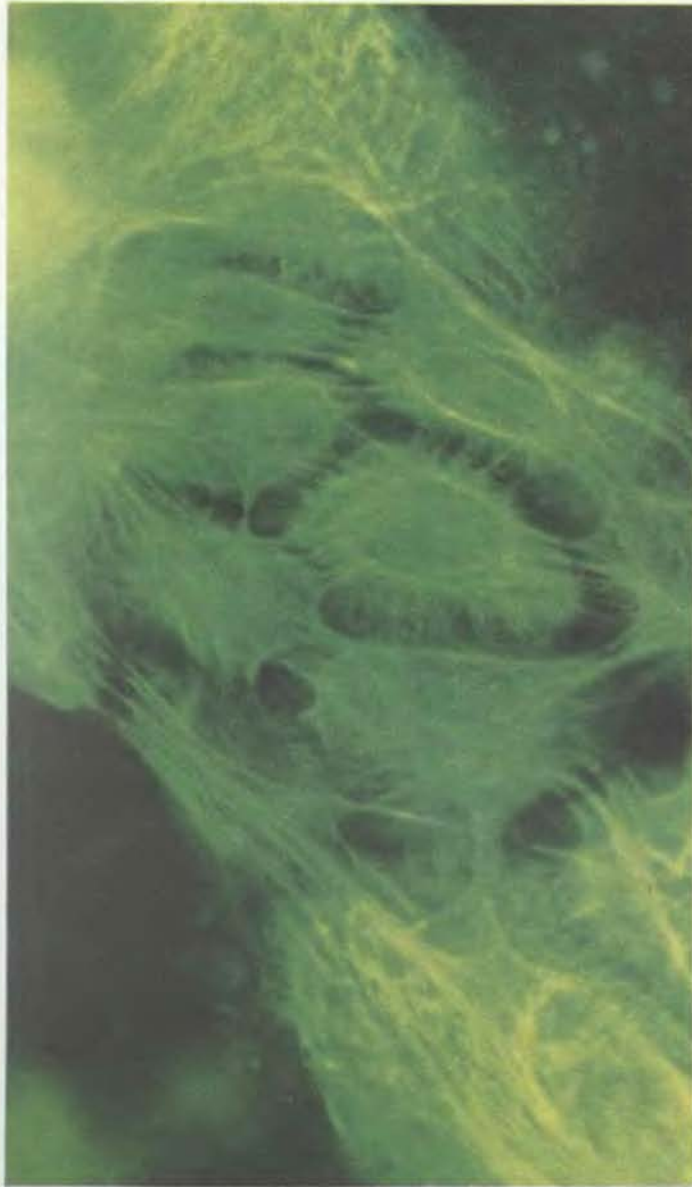
Наконец, мы установили, что КТКЛ — это, как правило, злокачественное перерождение одного из классов Т-клеток, а именно Т-хелперов. Такое наблюдение было сделано на экспериментальной системе,

разработанной в Национальном институте рака С. Бродером и Т. Уолдманом. Очищенные нормальные В-клетки, культивируемые в лаборатории, не вырабатывают антитела даже в присутствии стимулятора В-клеток — лектина из *Phytolacca americana*. Добавление же нормальных Т-лимфоцитов либо КТКЛ-клеток заставляет их синтезировать большое количество антител, из чего следует, что злокачественные Т-клетки сохраняют характерные особенности нормальных Т-хелперов.

Но это было только начало. КТКЛ оказалась злокачественным перерождением Т-хелперов, явно предпочитающих эпидермис в качестве окружающей среды. В 1974 г. мы пришли к поразительному выводу: в норме

должна существовать определенная популяция Т-клеток, которые динамично взаимодействуют с эпидермальными клетками, и КТКЛ не что иное, как результат злокачественного перерождения клеток этой популяции. И Эдельсона увлекло новое волнующее предположение: а не может ли кожа, подобно тимусу, быть местом, где созревают Т-клетки, по крайней мере некоторого типа?

Тимус — это железа, расположенная перед трахеей и состоящая из клеток нескольких классов. Крупные неподвижные эпителиальные клетки относятся к той обширной категории, которая включает клетки, выстилающие кишечный тракт, бронхи, кровеносные сосуды, а также секреторные клетки многих желез. Между эпителиальными разбросаны паукообраз-



НА ИММУНОЛОГИЧЕСКУЮ ФУНКЦИЮ кожи человека указывает ее структурное сходство с тимусом — органом иммунной системы, в котором созревают Т-лимфоциты. Микрофотографии, полученные Тунг Тьен-Суном в Медицинской школе Нью-Йоркского университета, свидетельствуют о поразительном сходстве основных клеток эпидермиса —

кератиноцитов (слева) и эпителиальных клеток тимуса (справа). Клетки инкубировали с антителами к белку кератиноцитов кератину. Меченные желто-зеленым флуоресцеином антитела к антикератиновым антителам выявляют волнистую сеть кератиновых фибрилл как в клетках тимуса, так и в клетках кожи.

ные дендритные клетки, выделяющие своими длинными, тонкими цитоплазматическими отростками (дендритами).

Незрелые лимфоциты, попадающие в тимус из костного мозга, называют тимоцитами, пока они находятся в железе. В ходе созревания в тимусе и постепенного превращения в Т-лимфоциты они подвергаются воздействию как клеточных компонентов тимуса, так и его гормонов. Созревание клеток происходит последовательно по мере их перемещения из наружного (коркового) слоя железы во внутреннюю (медуллярную) область; затем Т-лимфоциты переносятся в другие части организма. Было установлено, что даже после завершения «курса обучения» в тимусе многие Т-клетки нуждаются в дальнейшем созревании, прежде чем стать функ-

ционально полноценными. Однако место этого обязательного посттимусного созревания оставалось неизвестным.

Обнаружение нами большой популяции Т-клеток в человеческой коже навело на мысль, что кожа может выполнять функции, аналогичные тимусным. Явное указание на существование тесной связи между тимусом и кожей дал эксперимент, поставленный самой природой. В последние 20 лет биологи используют для иммунологических опытов так называемых «голых» мышей — мутантов, характеризующихся недоразвитием шерстного покрова, основного придатка эпидермиса. Особый интерес для иммунологов эти мыши представляют по той причине, что наряду с недоразвитием шерсти у них отсутствует тимус и потому не может сформиро-

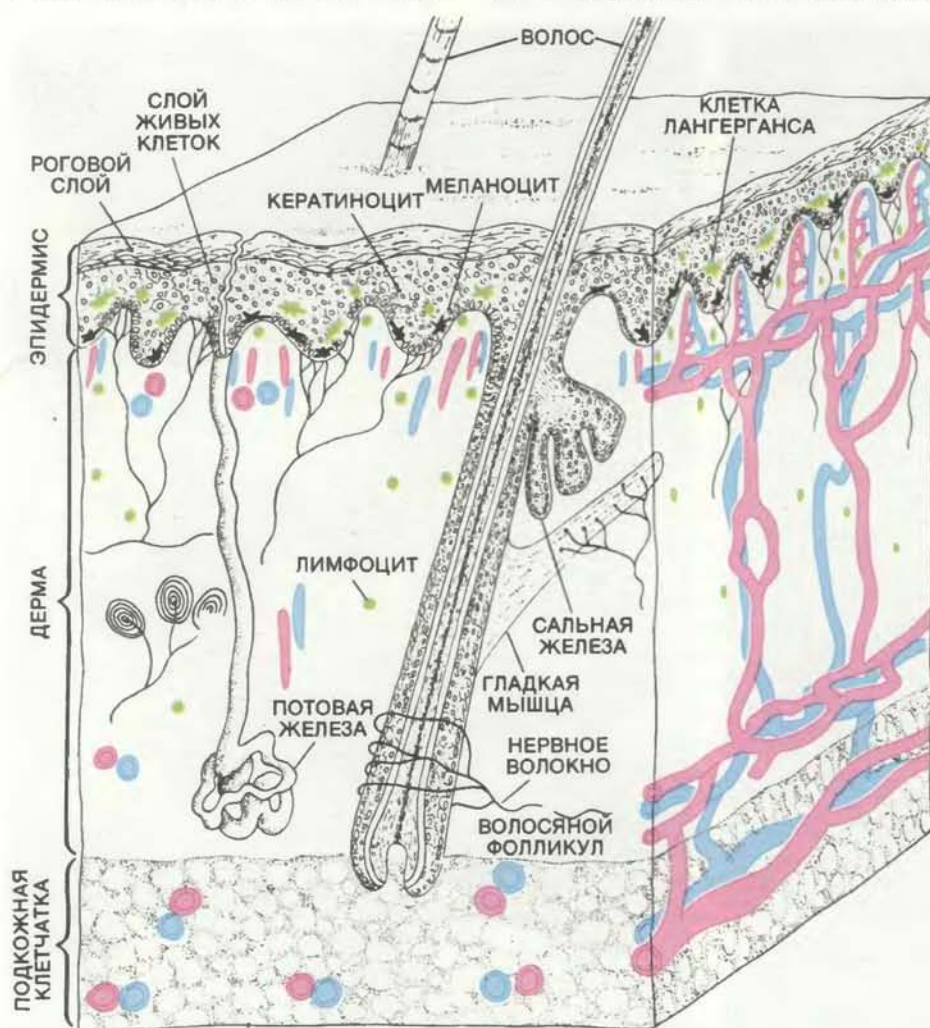
ваться обычный набор функционально активных Т-клеток. В результате у голых мышей не происходит отторжения тканевых трансплантатов. Имунную систему этих мутантов можно частично восстановить введением того или иного типа Т-клеток. Таким образом, голые мыши — во многих отношениях удобная экспериментальная модель.

Голых мышей скрещивали со многими другими линиями. «Конгенное» потомство несет гены голых мыши, определяющие отсутствие тимуса, и разнообразные другие гены — наследство второго родителя. Суммируя данные последних 20 лет по всем генетическим комбинациям в хромосомах голых мышей, особенно интересно отметить, что гены, ответственные за отсутствие тимуса, так и не удалось отделить от генов, обуславливающих отсутствие шерсти на коже. Отсюда следует, что гены, контролирующие развитие тимуса, либо идентичны генам, ответственным за формирование волосяного покрова, либо оба набора генов тесно сцеплены на одной и той же хромосоме.

Была и другая нить, логически связывающая кожу и тимус. Электронные микроскописты обнаружили, что некоторые эпителиальные клетки тимуса имеют выраженную зернистость, напоминающую кератогиалиновые гранулы кератиноцитов — основных клеток эпидермиса. Кератиноциты синтезируют структурный белок волос и ороговевающего наружного слоя кожи — кератин.

ИТАК, генетическое и структурное сходство эпидермиса и тимуса млекопитающих было установлено. М. Рубенфельд из нашей лаборатории в колледже терапии и хирургии Колумбийского университета в сотрудничестве с А. Силверстоуном из Центра по изучению рака им. Слоан-Кеттеринга приступили к исследованию вопроса, не распространяется ли это сходство и на функцию, в частности, способны ли эпидермальные клетки влиять на созревание Т-лимфоцитов в культуре?

Экспериментаторы культивировали незрелые Т-лимфоциты человека или мыши в присутствии либо эпидермальных кератиноцитов, либо контрольных клеток и искали признаки созревания Т-лимфоцитов. В одной серии опытов из популяции лейкоцитов человека устранили зрелые Т-клетки, а остальные лейкоциты культивировали с эпидермальными кератиноцитами человека, с клетками грудной железы, с фибробластами, с лейкоцитами и, наконец, в контрольной среде, т.е. без добавления иных клеток. В другой серии опытов проводили совместное культивирование



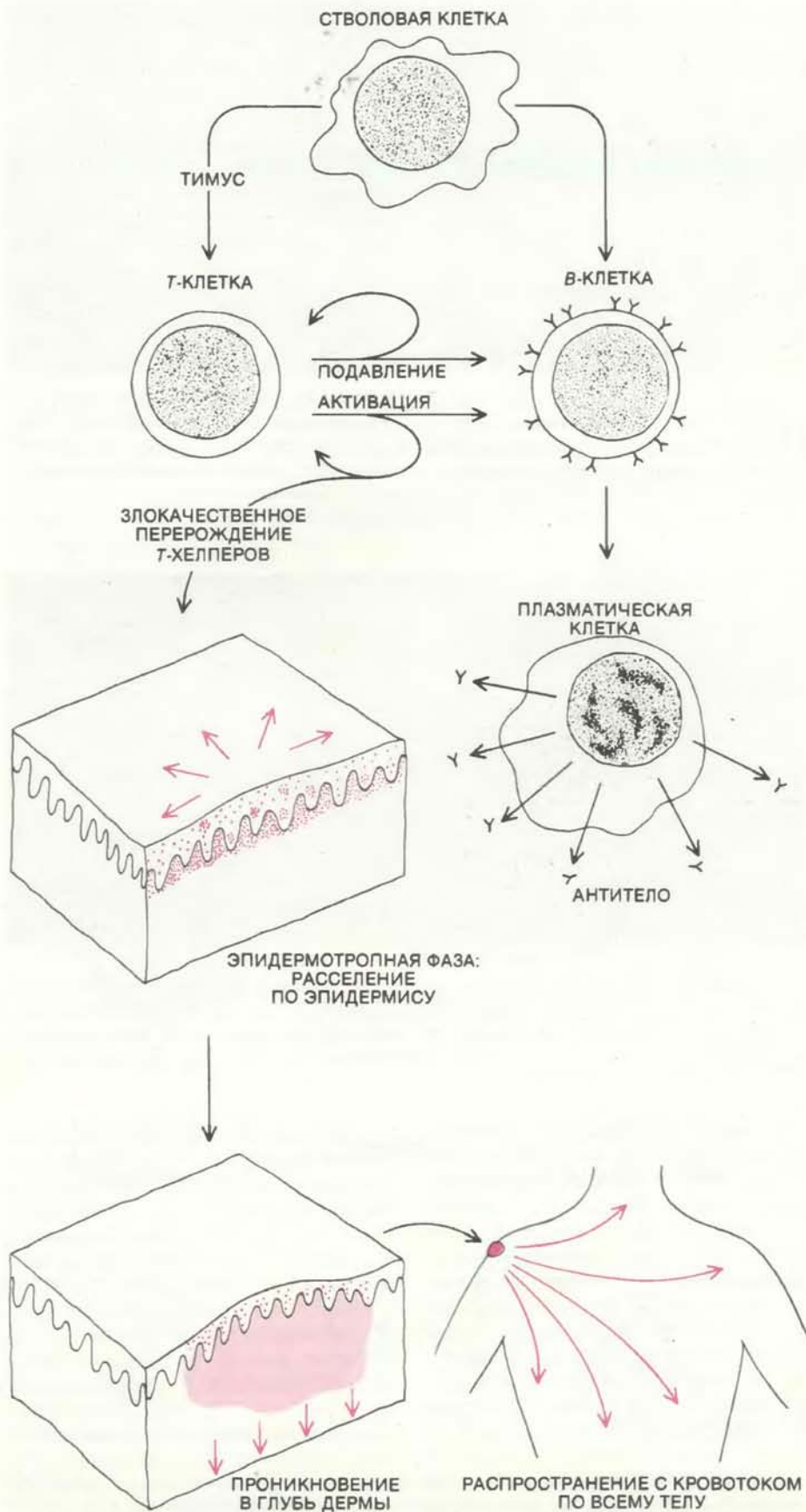
СТРОЕНИЕ КОЖИ. Поверхность кожи покрыта роговым слоем омертвевших кератиноцитов, заполненных кератином. Живые кератиноциты преобладают в эпидермисе и размножаются по мере сдвигивания мертвых клеток с поверхности. Меланоциты, в которых образуются пигментные гранулы, определяющие цвет кожи, локализуются в основании эпидермиса. Клетки Лангерганса — дендритные клетки, которые подвергают процессингу антигены, попавшие на кожу, — лежат над базальным слоем кератиноцитов. Дерма представляет собой соединительнотканную сеть; ее подстилает подкожная жировая ткань. Специализированные кератиноциты волосяных фолликулов продуцируют вещество волос. Дерма богата нервными волокнами, часть из которых относится к сенсорной системе, и кровеносными сосудами (показаны красным и синим цветами). Т-лимфоциты рассеяны по всей толще кожи, но преимущественно в эпидермисе и верхнем слое дермы.

костного мозга мышей, содержавшие стволовые клетки, но лишённые зрелых Т-лимфоцитов, с эпидермальными клетками, с фибробластами мышей той же линии и в контрольной среде. После культивирования клетки крови или костного мозга собирали и окрашивали флуоресцирующими антителами, позволявшими выявить фермент терминальную дезоксирибонуклеотидилтрансферазу (ТдТ).

До настоящего времени ТдТ обнаруживали в основном в лимфоцитах на определенной стадии их созревания в тимусе. По завершении созревания Т-клеток фермент утрачивается и в нормальных зрелых Т-лимфоцитах крови, селезенки и лимфатических узлов отсутствует. Однако Рубенфельд и ее коллеги нашли, что ТдТ с большим постоянством выявляется в лимфоцитах, культивировавшихся совместно с кератиноцитами человека; в контрольных культурах фермент отсутствовал. Следовательно, эпидермальные клетки, подобно тимусу, каким-то образом побуждали незрелые Т-лимфоциты (в составе клеток крови или костного мозга в зависимости от эксперимента) синтезировать ТдТ. Фермент выявлялся только в тех лимфоцитах, которые, находясь на стадии подготовки к клеточному делению, синтезировали новую ДНК. (Несомненно, что синтез новой ДНК сам по себе не мог служить сигналом к образованию ТдТ, поскольку другие факторы клеточного деления не давали подобных результатов.)

Очевидно, именно кератиноциты опосредовали влияние кожи на созревание Т-лимфоцитов, поскольку эпидермальные клетки прочих типов в культуре отсутствовали. Это было удивительно: клетка кожи, которая рассматривалась до сих пор в основном как производитель кератина, оказалась способна к мощному воздействию на биологию Т-клетки. Разумеется, кожа не может полностью дублировать функцию тимуса: мышь, у которой тимус удален сразу после рождения, не формирует нормальных Т-клеточных систем. Данные Рубенфельда наводят, однако, на мысль, что кератиноциты кожи оказывают влияние на посттимусные этапы созревания Т-клетки.

Примерно в то же время Б. Сафай и его сотрудники из Центра по изучению рака им. Слоан-Кеттеринга выяснили, что у больных КТКЛ в крови повышен уровень химического фактора, который по свойствам напоминает гормон тимуса, и что этот фактор производится типичными для КТКЛ участками поврежденной кожи. А. Чу и К. Бергер в нашей группе совместно с Г. Голдстейном из фармацевтической корпорации Ortho расширили эти наблюдения Сафая. Они показали,



КОЖНАЯ Т-КЛЕТОЧНАЯ ЛИМФОМА (КТКЛ) — злокачественное перерождение Т-хелперов. Как Т-, так и В-лимфоциты происходят из стволовых клеток костного мозга. Одни стволовые клетки полностью созревают в костном мозге и превращаются в В-лимфоциты, которые синтезируют специфические антитела, экспрессируют их на поверхности и (после стимуляции специфическим антигеном) дают начало плазматическим клеткам, секретирующим антитела. Другие стволовые клетки созревают в тимусе и становятся Т-лимфоцитами — хелперами или супрессорами, которые соответственно либо усиливают, либо тормозят функцию В-клеток и других Т-клеток. Т-хелперы, ставшие злокачественными, нередко накапливаются вблизи эпидермиса и проникают в него. Иные из них утрачивают сродство к эпидермису и дают метастазы во внутренние органы.

что антитела к тимопоэтину (гормону тимуса, влияющему на созревание Т-клеток) связываются с веществом, присутствующим в цитоплазме кератиноцитов базального слоя нормального эпидермиса человека. Заманчиво предположить, что идентифицируемый этими антителами фактор является активным гормоном кератиноцитов, обусловившим, хотя бы отчасти, результаты опытов Рубенфельд. Для подтверждения такой возможности потребуется очистить и охарактеризовать соединение и показать его роль в прямом эксперименте.

ИМЕЕТ ли отношение взаимодействие тимуса и кожи, вырисовывающееся из экспериментальных данных,

к процессам, протекающим в организме человека? Ключ к ответу дала работа сотрудников медицинской школы Университета Дьюка Б. Хейнеса, Б. Джегасоти и др. Они воспользовались мечеными флуоресцентным моноклональными антителами, которые избирательно связываются с молекулами антигена *Thy-1*, обычного для плазматической мембраны тимцитов человека, но не зрелых, циркулирующих в крови Т-клеток. Тестировали злокачественные Т-лимфоциты из участков поврежденной кожи и из крови больных КТКЛ. Выяснилось, что лишь злокачественные лимфоциты из кожи несут на своей поверхности антиген *Thy-1*. Следовал вывод, что, как только злокачественные Т-

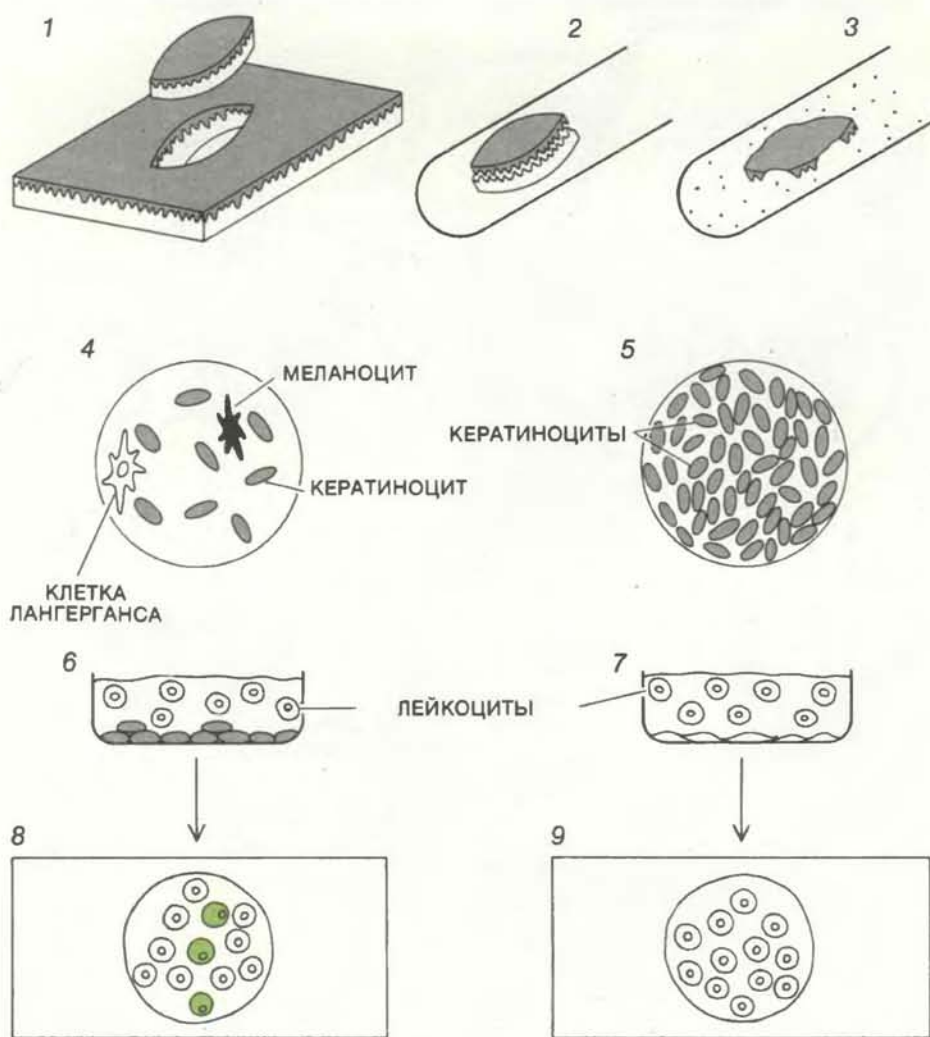
клетки оставляют кровяное русло и поселяются в коже, их плазматическая мембрана изменяется, становясь похожей на мембрану Т-клеток, созревающих в тимусе.

Дополнительные доказательства структурного сходства между эпителием тимуса и эпителиальным компонентом кожи получили Тунг Тьен-Сун и его коллеги по Медицинской школе Нью-Йоркского университета. Они исследовали культуры эпителиальных клеток из тимуса людей и грызунов, используя меченные флуоресцентным моноклональные антитела к кератину человека — основному белку, вырабатываемому кератиноцитами эпидермиса. Оказалось, что в цитоплазме эпителиальных клеток тимуса содержится большое количество этого белка, характерного для клеток кожи.

Далее Б. Хейнес, К. Сингер и их сотрудники провели сравнение поверхности эпителиальных клеток тимуса человека с поверхностью эпидермальных клеток кожи (для этого был использован набор флуоресцирующих моноклональных антител). На плазматической мембране эпителиальных клеток тимуса, секретирующих гормоны этой железы, они обнаружили три вида маркерных молекул, обозначенных *ТЕ-4*, *А2В5* и *p19*. Самое удивительное, что тот же набор молекул имелся и на поверхности кератиноцитов из базального слоя эпидермиса. Это были именно те эпидермальные клетки, которые, как было показано, вырабатывают вещество, весьма напоминающее гормон тимуса тимопоэтин.

Таким образом, к настоящему времени получен ряд убедительных данных об анатомическом, молекулярном и функциональном сходстве между эпителиальными клетками тимуса и кожи. По-видимому, кожа действительно является составной частью иммунной системы человека.

МЫ РАССКАЗАЛИ об экспериментах с клетками в культуре ткани и с интактной тканью человека. Много полезного дали также исследования иммунологических свойств кожи, проведенные на лабораторных животных. Конечно, между кожей человека и грызунов существуют большие различия. Кожа человека несравнимо чувствительнее к внешним повреждающим факторам, поскольку она не защищена густой шерстью, свойственной лабораторным животным. Кожа человека характеризуется также значительно более толстым многослойным эпидермисом и обилием потовых желез. Многие заболевания кожи человека у животных не встречаются. Однако направленное вмешательство



ВЛИЯНИЕ ЭПИДЕРМИСА на Т-клетки было обнаружено в опытах с культурой ткани. Вырезали кусочек кожи человека (1). Отделили эпидермис (2) и инкубировали его с трипсином (3). В результате получили отдельные клетки: кератиноциты, меланоциты и клетки Лангерганса (4). После двух недель культивирования образовался сплошной слой (монослой) кератиноцитов, тогда как другие клетки уже не выявлялись (5). Кератиноциты (6) и контрольные клетки (7) культивировали совместно с лейкоцитами человека, из которых убрали зрелые Т-клетки. Отделяли лейкоциты и определяли связывание ими антител к ферменту зрелых Т-клеток — терминальной дезоксирибонуклеотидилтрансферазе. Антитела связывались с некоторыми из лейкоцитов, культивированных совместно с кератиноцитами (8), но не связывались с лейкоцитами, культивированными с контрольными клетками (9). Эти результаты показали, что кератиноциты человека способны влиять на созревание Т-клеток.

в функционирование кожи и иммунной системы, проводимое на чистых линиях лабораторных животных, позволяет добыть такую информацию, которую нельзя получить на людях, и она многое объясняет в биологии человека.

Тщательно продуманную серию экспериментов на мышах провели П. Беркстрессер, Р. Тигелаар, К. Илмец и Дж. Стрейлейн в Научно-исследовательском медицинском центре Техасского университета в Далласе. Они изучали вопрос, могут ли клетки кожи «представить» антиген отвечающим на него Т-лимфоцитам. Опыт состоял в следующем. На кожу мыши наносили небольшое количество антигена, затем этот кусочек кожи трансплантировали животному той же или другой чистой линии и выясняли, не стал ли реципиент иммунным к данному антигену. Оказалось, что при использовании очень малых концентраций антигена иммунитет возникал только при пересадке кожи мышам той же линии. Другими словами, нанесенный на кожу антиген иммуногенен лишь в том случае, если его представляют Т-лимфоцитам клетки кожи, генетически идентичные отвечающим Т-лимфоцитам. Само по себе проникновение «непредставленного» антигена в лимфатические узлы не индуцирует иммунитета. Так было показано, что первичная обработка (процессинг) антигена действительно происходит непосредственно в коже, а не в лимфатических узлах.

В следующей серии экспериментов исследователи из Далласа изучали ответ на динитрофторбензол (ДНФБ), использовавшийся в качестве антигена. Им смазывали кожу мышей, предварительно облученных ультрафиолетом (вызывающим солнечные ожоги). Реакция на ДНФБ у этих животных отсутствовала. Напротив, нанесение ДНФБ на необлученную кожу вызывало мощный иммунный ответ. Еще удивительнее было то, что обработка ДНФБ облученной ультрафиолетом кожи индуцировала состояние длительной иммунологической ареактивности, специфичной к ДНФБ: в дальнейшем облученную мышь уже не удавалось иммунизировать ДНФБ, в то время как неродственные ему антигены вызывали нормальный ответ. Состояние ареактивности на ДНФБ можно было передать другим мышам путем переноса Т-клеток от облученной мыши; значит, это состояние было обусловлено деятельностью специфических супрессорных Т-лимфоцитов.

Приведенные данные показывали, что в нормальных условиях в коже присутствует класс клеток, которые весьма эффективно «представляют»



КЕРАТИНОЦИТЫ в основании эпидермиса человека содержат в высокой концентрации вещество, неотличимое от гормона тимуса тимопоэтина, который регулирует созревание Т-клеток. На рисунке показан срез замороженной кожи, обработанный антителами к тимопоэтину; для выявления этих антител их обработали вторыми антителами, мечеными флуоресцеином. Вторые антитела связались с цитоплазмой базальных кератиноцитов (свечение).



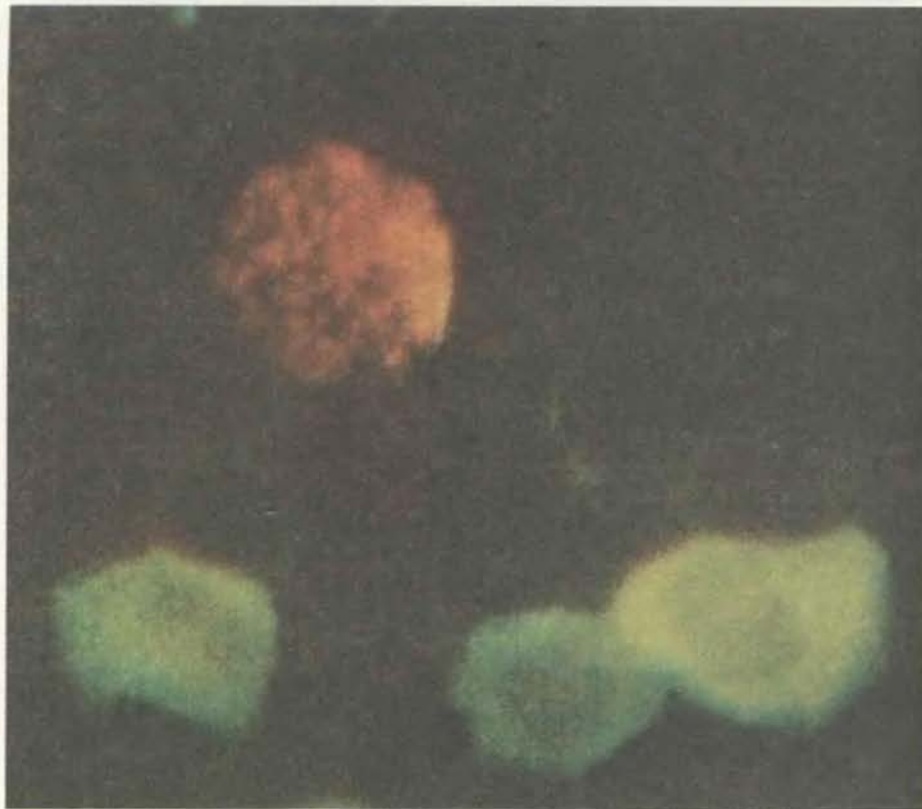
КЛЕТКИ ЛАНГЕРГАНСА в эпидермисе человека несут на своей поверхности вещество Т6; оно обычно для Т-клеток, созревающих в тимусе. На снимке видны разбросанные между кератиноцитами три клетки Лангерганса; они светятся, так как связали антитела к Т6, меченные непрямой методом.

антиген Т-лимфоцитам; под действием УФ-облучения их функция исчезает. Природа этих клеток оставалась неизвестной. Из полученных данных следовало также, что в случае, если «представляющие» клетки выводятся из игры, антиген каким-то путем минует их и непосредственно стимулирует активность специфических Т-супрессоров, тем самым вызывая специфический иммунологический «паралич».

Подвергнув мышей более мощному УФ-облучению (доза облучения была значительно выше той, что вызывает сильный солнечный ожог), М. Крипке и В. Морисон из Национального института рака и Р. Дэйнес из Медицинского колледжа Университета шт. Юта наблюдали возникновение у животных общей, а не только специфической иммуносупрессии. Оказалось, что это состояние обусловлено стимуляцией циркулирующих Т-супрессоров и сопровождается пониженной

способностью клеток селезенки отвечать на антигены. Другими словами, повреждение кожи может оказывать глубокое воздействие на анатомически отдаленные части иммунной системы и должна существовать взаимосвязь между иммунологически активными клетками кожи и аналогичными клетками всего организма.

Природа иммунологически активных клеток кожи стала ясна из совместной работы Г. Стингла и К. Вольфа из Венского университета и Шевача, С. Каца и Грина из Национальных институтов здоровья. Стимулом к их экспериментам послужила находка, которой первоначально не придали особого значения. Речь идет о наблюдении Р. Бэра и И. Зильберберг-Синакина из Медицинского центра Нью-Йоркского университета, касающемся клеток Лангерганса — небольшой популяции дендритных клеток в эпидермисе, куда они попадают, как теперь известно, из костно-



КЛЕТКИ КОЖИ ЧЕЛОВЕКА В СУСПЕНЗИИ. Клетка Лангерганса (вверху) выявлена с помощью антител к Т6 и окрашена родамином непрямым методом. С цитоплазмой трех кератиноцитов связались антитела к тимопоэтин-подобному веществу (метка флуоресцеином непрямым методом).

го мозга. Сущность наблюдения состояла в том, что при кожных аллергических реакциях клетки Лангерганса физически связаны с лимфоцитами.

Что касается работы Стингла и других, то они обнаружили, что клетки Лангерганса несут на поверхности рецепторы к определенным иммунологически значимым молекулам. Сходные наблюдения сделали Г. Роуден из Медицинского факультета Университета Мак-Гилла и Л. Кларе-ског с коллегами из Университета Уппсалы. Далее, обогатив суспензию эпидермальных клеток морской свинки клетками Лангерганса до 33% (остальные 2/3 приходились на кератиноциты), группа Стингла показала следующее: только суспензии, содержащие клетки Лангерганса, способны «представлять» антиген отвечающим Т-лимфоцитам. Стало очевидным, что клетки Лангерганса ответственны за развитие иммунного ответа на локально нанесенный антиген и что эта их функция как раз и ликвидируется при достаточно сильном УФ-облучении.

В. Птак из Коперниковской медицинской школы в Кракове совместно с сотрудниками Медицинской школы Йельского университета нашли ответ на загадку далласских экспериментов: почему нанесенный на кожу антиген в норме индуцирует хелперный (позитивный) Т-клеточный иммунный от-

вет, тогда как в отсутствие функционально активных клеток Лангерганса он индуцирует супрессорный (негативный) ответ? Они показали, что клетки Лангерганса «представляют» антиген таким способом, что преимущественно активируется цикл Т-хелперов; другие же осуществляющие процессинг антигена клетки «представляют» антиген в форме, запускающей супрессорный цикл.

Функционируют ли клетки Лангерганса сами по себе или получают помощь от кератиноцитов? Ведь, согласно описанным выше наблюдениям, кератиноциты человека и мыши в культуре ткани способны вызывать появление ТдТ, маркера Т-лимфоцитов, и в отсутствие клеток Лангерганса; кроме того, кератиноциты содержат вещество, сходное с гормоном тимуса тимопоэтином. Дж. Крюгер и Дэйнес показали, что мышинный кератиноцит можно заставить экспрессировать на своей поверхности вещество, обозначаемое *Ia* (от "immune associated" — связанный с иммунитетом). По данным других авторов, кератиноциты больных КТКЛ и некоторыми другими кожными заболеваниями также несут на своей поверхности *Ia*. Это соединение первоначально приписывали исключительно эпидермальным клеткам Лангерганса, где оно, как было известно, необходимо для «представления» антигена Т-

лимфоцитам. Группа из Юты получила доказательства того, что мышинные кератиноциты, экспрессирующие *Ia*, обретают способность усиливать активность клеток Лангерганса по «представлению» антигена Т-клеткам.

Т. Люгер, Д. Саудер, Дж. Оппенгейм и Кац из Национальных институтов здоровья сделали неожиданное наблюдение, еще больше прояснившее картину. Они пытались определить, синтезируют ли клетки Лангерганса интерлейкин-1 (ИЛ-1) — фактор, относительно которого уже было известно, что он секретируется другими антиген-представляющими клетками, а именно макрофагами. Без ИЛ-1 невозможна индукция Т-клеточного иммунитета: он связывается с рецепторами на поверхности Т-клеток, запрограммированных на реакцию с соответствующим антигеном, и тем самым стимулирует высвобождение интерлейкина-2, который в свою очередь побуждает Т-клетки к размножению, необходимому для специфического иммунного ответа.

Иммунологи из Национальных институтов здоровья нашли, как и ожидали, что культивируемые эпидермальные клетки мыши (среди них присутствовали клетки Лангерганса) действительно вырабатывают ИЛ-1. Пытаясь доказать, что ИЛ-1 продуцируют именно клетки Лангерганса, они избирательно удаляли эти клетки из культур эпидермиса мыши. К их крайнему удивлению, культуры, лишенные клеток Лангерганса, вырабатывали такие же количества ИЛ-1, как и культуры с клетками Лангерганса. Выяснилось, что ИЛ-1 синтезируется кератиноцитами. Группе Люгера удалось показать, что и кератиноциты человека в норме секретируют ИЛ-1.

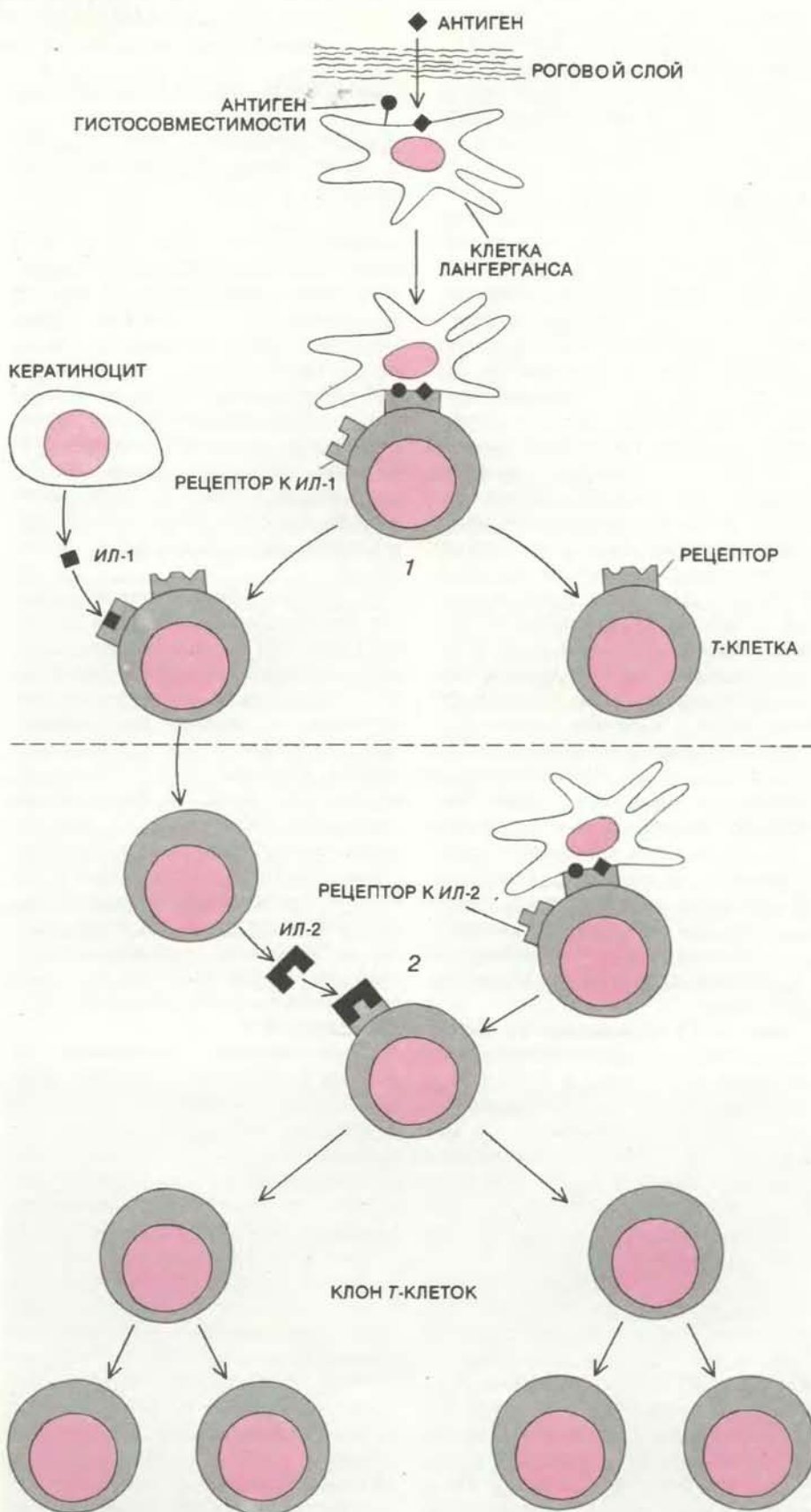
Полученные результаты дополнили наблюдения, сделанные ранее в нашей лаборатории и в группе из Университета Дьюка. Кератиноциты, это «молчаливое большинство» клеток эпидермиса, являются, судя по всему, важным элементом иммунологической системы. Они не только обеспечивают создание на поверхности тела защитного кератинового слоя и волосяного покрова, но и вырабатывают гормоноподобные вещества, способные глубоко воздействовать на функционирование Т-клеток, попадающих в кожу. Их потенциальное влияние на Т-лимфоциты обширно: от регуляции созревания до усиления специфической реакции на антигены.

В минувшем году был открыт еще один тип иммунологически активных эпидермальных клеток. Р. Грэнштейн, А. Лоуи и М. Грин из Медицинской школы Гарвардского университета

облучали суспензии мышинных эпидермальных клеток ультрафиолетом с целью устранения из них функционирующих клеток Лангерганса. В истощенных таким образом суспензиях им удалось обнаружить дендритные антиген-представляющие клетки нового типа. Клетки Грэнштейна, как их теперь называют, более устойчивы к ультрафиолетовому облучению, чем клетки Лангерганса, и обладают способностью взаимодействовать с Т-супрессорами, а не с Т-хелперами.

КЛЕТОЧНЫЕ и молекулярные реакции кожи как иммунной подсистемы начинают четко вырисовываться. Накопленные к настоящему времени данные можно суммировать следующим образом. Антиген связывается с дендритными антиген-представляющими клетками эпидермиса двух типов — Лангерганса и Грэнштейна. Клетки Лангерганса «представляют» антиген специфическим Т-хелперам, тяготеющим в ходе своей миграции к эпидермису. Клетки Грэнштейна сходным образом взаимодействуют с Т-супрессорами. Хелперный и супрессорный ответы находятся примерно в равновесии, но в норме преобладает хелперный (позитивный) сигнал, обеспечивающий адекватный ответ на потенциально вредоносный чужеродный агент, проникший в кожу. В случаях, когда клетки Лангерганса повреждены (например, ультрафиолетом) или оказались обойденными (если допустить, что какие-то антигены непосредственно взаимодействуют с супрессорным циклом), будет преобладать тормозящий сигнал.

Помимо представляемого ей антигена Т-клетка, запрограммированная к ответу на него, получает второй, дополнительный сигнал в виде ИЛ-1, идущий от кератиноцитов. Это побуждает Т-лимфоцит к секреции ИЛ-2, который связывается с другими Т-клетками той же специфичности и заставляет их размножаться. В результате резко увеличивается число Т-клеток, готовых противостоять антигенной атаке; они переходят в лимфу и разносятся с ней по телу. Стрейлейн предложил все локализованные в эпидермисе компоненты общей иммунной системы обозначить единым термином SALT (от английских слов "skin-associated lymphoid tissue" — лимфоидная ткань кожи). Эта многокомпонентная система запуска Т-клеточного ответа на антиген, вероятно, лишь одно из звеньев в сложных взаимосвязях Т-клеток и клеток кожи. Несомненно, что определенные типы Т-лимфоцитов склонны поселяться в коже и что эпидермис составляет гормон (а может быть, и не один), напоминающий гормон тимуса и способствующий созреванию Т-клеток.



КООРДИНИРОВАННЫЙ ОТВЕТ иммунокомпетентных клеток кожи при проникновении чужеродного антигена сквозь роговой слой. Антиген встречается с клетками Лангерганса, которые «представляют» его (в комплексе с антигеном гистосовместимости) Т-клеткам (1), запрограммированным отвечать на данный антиген. Активированные таким образом Т-клетки экспрессируют рецептор к интерлейкину-1 (ИЛ-1). Этот фактор, выделяемый кератиноцитами (и, возможно, клетками Лангерганса), заставляет активированные Т-клетки секретировать интерлейкин-2. ИЛ-2 связывается с рецепторами на поверхности других Т-клеток, отвечающих на данный антиген и находящихся в дерме, лимфатических узлах, селезенке (2) и инициирует их пролиферацию; в результате появляется целая популяция Т-клеток, вырабатывающих антитела к данному антигену.

Иммунологи всего мира проводят сейчас исследования на животных с целью дальнейшей расшифровки динамических взаимоотношений между эпидермисом и Т-лимфоцитами. Неожиданное открытие, сделанное в нашей лаборатории, быть может, начинает дорогу к переносу этих исследований на человека. Мы попытались обнаружить соединение, называемое Т6, в интактной коже человека. Обычно оно локализуется на поверхности Т-клеток, созревающих в корковом слое тимуса; как только Т-клетки покидают тимус, у них исчезает Т6. Мы предположили, что злокачественные Т-лимфоциты способны опять экспрессировать Т6; тогда его можно было бы использовать в качестве маркера для ранней диагностики КТКЛ. Рассчитывая показать, что в нормальных эпидермальных клетках человека это соединение отсутствует, Э. Физин применила моноклональные антитела к Т6. К нашему удивлению, обнаружилось, что такие антитела связываются с отдельными эпидермальными клетками, в остальном несходными с Т-лимфоцитами. Дендритная форма и локализация этих Т6-положительных клеток навели на мысль, что перед нами клетки Лангерганса; предположение подтвердилось, когда в них обнаружили мембранный Ia, их маркер. С. Такезаки и Ш. Моррисон в нашей группе затем показали, что молекула Т6 на поверхности клеток Лангерганса химически неотличима от такой же молекулы тимочитов.

Наличие Т6 на поверхности клеток Лангерганса, что было примерно в то же время обнаружено и Г. Мерфи с коллегами в Гарвардском университете, позволяет использовать Т6 как удобный маркер для быстрой идентификации таких клеток. Но еще важнее, что эта находка порождает новые, стимулирующие исследования вопросы. Почему у человека клетки Лангерганса экспрессируют на своей поверхности маркер, типичный для незрелых Т-лимфоцитов? Клетки Лангерганса поступают в кожу из костного мозга через кровоток, но в крови здоровых взрослых людей Т6-положительные клетки не выявляются в сколько-нибудь заметном количестве. Может быть, синтез Т6 в клетках Лангерганса индуцируется клетками эпидермиса? Или же это Т-клетки синтезируют и секретируют под воздействием кожи молекулы, которые затем фиксируются на клетках Лангерганса? Выполняет ли Т6 некую функцию, имеющую отношение к процессингу антигена клеткой? Ответы на поставленные вопросы не заставят себя долго ждать.

Предписывают молчать

ТАКОЕ ощущение, — говорит Д. Лангенберг, ректор Иллинойского университета в Чикаго, — будто тебя до смерти заклевали воробьи». Речь идет о тенденции, одинаково беспокоящей как исследователей, так и администрацию университетов, а именно об учащающихся попытках правительства США установить более жесткий контроль над обменом научной информацией. Нужно отметить, что усиление вмешательства правительства вызвано отнюдь не принятием каких-либо новых правил, регламентирующих обмен научной информацией, а просто более строгим применением уже существующих положений.

В качестве примера можно привести правительственный Закон об экспорте от 1979 г., на основании которого некоторые открытые материалы могут быть не допущены на конференции с участием иностранных граждан и может быть ограничено участие граждан США в открытых встречах. По словам Л. Янга, заведующего исследовательским отделом министерства обороны, в этом министерстве подобные ограничения налагаются в настоящее время гораздо чаще, чем раньше. «В последнее время, — говорит он, — задерживаются такие материалы, которые 3—4 года назад были бы опубликованы без долгих раздумий.»

Столь активное применение подобных ограничений породило явление, которое можно назвать «самоцензурой»: некоторые научные общества по своему усмотрению запрещали иностранным гражданам участвовать во встречах и конференциях. Организаторы конференций наделились таким способом избежать неприятностей, которые могли произойти в том случае, если бы в последний момент было запрещено их проведение или какие-либо доклады были бы исключены из программ конференций.

Другие ограничения на публикацию открытых материалов содержатся в принятой в 1981 г. поправке к Закону об атомной энергии, которая дает министерству энергетики право ограничивать распространение «несекретной, но контролируемой информации по ядерным исследованиям». Критики этой поправки считают, что она позволяет скрывать от общественности административные ошибки и случаи нарушения техники безопасности. Получается так, говорят они, что любя информация, подпадающая под

контроль, должна быть засекречена.

Наибольшую озабоченность вызывает тот факт, что ограничения на обмен открытой информацией могут оказать отрицательное влияние на научный прогресс в самих США. Одно из предложений, выдвинутых правительством США, является непосредственной угрозой свободному обмену информацией. В январе этого года министр торговли Малколм Болдридж предложил установить более строгий контроль над Национальной службой технической информации, которая призвана информировать общественность и предпринимателей, занимающихся продажей баз данных, о незасекреченных технических разработках, проводимых в правительственных агентствах. Болдридж высказал опасение, что такой информацией может воспользоваться СССР в своих научных исследованиях. Однако критики его предложений считают, что подобные ограничения нанесут ущерб национальной безопасности США в результате замедления темпов научно-исследовательских работ.

Правительственный контроль над научной информацией, вероятно, возрастет, поскольку значительная часть научно-исследовательских разработок в США переходит под контроль министерства обороны, однако ограничительные меры выходят за пределы области, имеющей отношение к национальной обороне. В декабре прошлого года Дж. Шэттак, вице-президент Гарвардского университета по вопросам деятельности правительственных и общественных организаций, подготовил доклад, в котором представлены примеры ограничений со стороны правительства на свободный обмен научной информацией. Шэттак установил, что некоторые виды ограничений, первоначально направленные на защиту национальной безопасности, были установлены агентствами, которые не имеют отношения к вопросам национальной безопасности». Такие ограничения часто принимают форму условий о «предварительном анализе» в договорах о субсидировании; в соответствии с этими условиями ученые должны еще до публикации результатов исследований получить предварительное разрешение от агентства, осуществляющего финансирование этих исследований.

Другие типы ограничений включают в себя условия о «техническом надзоре», предусматривающие непосредственное участие в проекте представителя правительства, и условия

об «изменениях», которые позволяют финансирующей организации «без предварительного уведомления и без согласия исследователей изменять содержание и (или) рамки исследовательского контракта». Ограничительные условия присутствовали в контрактах, заключенных с Национальным институтом здравоохранения, Национальным институтом образования, министерством по вопросам жилья и городского благоустройства, Управлением по здравоохранению и Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов. Гарвардский и другие крупнейшие университеты смогли договориться о внесении изменений в договоры или отказались от субсидий, в то время как руководители других научных учреждений были вынуждены согласиться с ограничительными условиями договоров.

Доклад Шэттака упоминает также Директиву по национальной безопасности № 84 — президентскую директиву, подписанную в марте 1983 г., которая, однако, не действует в настоящее время, поскольку в соответствии с решением Сената она была возвращена в Белый дом для дальнейшего рассмотрения. Согласно этой директиве, более чем 120 тысяч правительственных служащих должны будут подписывать пожизненное соглашение о том, что любая работа, имеющая отношение к их деятельности в правительственных службах, должна пройти специальную проверку, прежде чем будет опубликована. Такое соглашение заставило бы молчать многих, кто после службы в правительственных организациях вернется к научной деятельности. Если директива № 84 будет ратифицирована, это отобьет у научных работников всякое желание занимать правительственные посты, поскольку тем самым будут ограничены их будущие публикации. «Этого достаточно, чтобы я отказался от правительственной службы», — говорит Лангенберг, занимавший ранее пост заместителя директора Национального научного фонда, поскольку «маловероятно, что какая-либо из написанных мною работ не будет иметь ничего общего с моей службой в правительстве».

Сигнал к отступлению

Пять лет назад М. Мейер и его коллеги из Геологической службы США предсказали значительное отступление ледника Колумбия. Этот ледник спускается в залив Принс-Вильям вблизи города Валдиз на Аляске. С начала нашего века ледник

оставался стационарным, но в 1978 г. его край несколько отступил.

Теперь предсказание ученых получило подтверждение. Хотя скорость продвижения ледяного языка быстро возрастает, вместе с тем убыстряется и процесс образования айсбергов — откалывания их на конце ледника. Объем образующихся айсбергов возрос вчетверо, так что летом 1984 г. ледник «производил» в среднем 14 млн. кубических метров льда в сутки. Вследствие этого в настоящее время происходит отступление ледника, причем скорость этого процесса возрастает. В 1984 г. язык отодвинулся на 1,1 км — в два раза дальше, чем в 1983 г. В целом с 1978 г. ледник местами отступил на 2,4 км.

Предсказание Мейера явилось ответом на запрос Геологической службы. Было важно узнать, будет ли ледник Колумбия отступать или наступать или же останется стационарным, поскольку от поведения ледника зависит судоходство в районе Валдиза. В своих оценках Мейер опирался на результаты, полученные его коллегой из Геологической службы О. Постом. В начале 70-х годов Пост принял предварительное обследование основных ледников на Аляске, выступающих в море. Трудно было найти у них какие-то общие черты. Один ледник мог наступать, соседний с ним, подвергавшийся тем же климатическим воздействиям, мог оставаться стационарным и даже отступать. Специальный радар позволил

«увидеть» ложе ледников сквозь лед.

Постепенно выяснилось, что концы неустойчивых ледников лежат на глубокой воде. Хотя такие ледники, вообще говоря, не находятся на плаву, омывающая их вода и силы выталкивания способствуют их разрушению.

Ледник Колумбия, как выяснилось, представляет собой особый случай: за тысячи лет он создал мелководье впереди краевой морены (скопления обломков,двигающихся перед наступающим ледником). Поэтому даже небольшое отступление должно было вывести ледник на глубокую воду и сделать его неустойчивым. Такое отступление и произошло в 1978 г.

Мейер полагает, что скорость расхода льда будет возрастать; возможны кратковременные продвижения ледяного языка зимой, когда процесс откалывания айсбергов будет замедляться. Сами по себе айсберги, вероятно, не будут препятствовать движению судов на морских путях: подводный хребет в заливе Принс-Вильям задерживает крупные плавучие ледяные горы и не дает им выплыть в открытое море. Мейер предсказывает, что в течение ближайших десятилетий ледник Колумбия отступит на 35—45 км, т.е. половину своей нынешней длины. При этом обнажится фьорд, который на протяжении столетий оставался подо льдом. Возрождение жизни во фьорде представит интерес для экологов. В то же время гляциологам следует обратить свое внимание на процесс движения ледников.



Откалывание айсберга от 75-метрового уступа ледника Колумбия

В поисках распада протона

Физики ведут наблюдения у подземного детектора массой 8000 тонн в ожидании проявления признаков нестабильности протона. Ни одного случая его распада пока не обнаружено, но наблюдения продолжаются

ДЖОН М.ЛОСЕККО, Ф.РАЙНЕС, Д.СИНКЛЕР

ЖИЗНЬ наша быстротечна, и царства гибнут, и даже галактики когда-нибудь угаснут. Однако вполне может быть, что основные структурные элементы вещества — протоны, нейтроны и электроны — будут существовать вечно. Для электрона это предположение, по-видимому, справедливо: экспериментальные данные и элегантная теория приводят к выводу, что электрон не подвержен распаду. В то же время совсем неочевидно, что таким бессмертием наделены протон и нейтрон. Хорошо известно, что нейтрон самопроизвольно распадается на три более легкие частицы (протон, электрон и нейтрино), если только он не «заперт» внутри атомного ядра. Что же мешает протону тоже распадаться на более легкие частицы? Для уверенности в стабильности протона никогда не было серьезных оснований. Например, протон мог бы распадаться на позитрон (электрон с положительным зарядом) и пару нейтрино, и при этом ни один из фундаментальных законов физики не был бы нарушен. По-видимому, в природе ничто не мешает такому процессу, и тем не менее он никогда не наблюдался в эксперименте.

Возможность распада протона вызвала интерес физиков еще с 30-х годов, но в последнее десятилетие эта проблема приобрела гораздо большее значение. Был разработан ряд теоретических моделей, в которых распад протона не только разрешен, но и вполне определенно предсказывается. В самых простых вариантах этих моделей можно даже рассчитать время жизни протона: получающиеся значения (около 10^{30} лет) на много порядков превосходят возраст Вселенной (около 10^{10} лет). Таким образом, согласно этим теориям, протон живет долго, и все-таки он не вечен. Наблюдение распада и измерение времени жизни протона послужили бы пробным камнем для проверки справедливости таких теорий.

Физики-экспериментаторы приняли вызов, брошенный теоретиками. Технические средства для проведения

подобных исследований совершенно непохожи на те, которые применяются в большинстве экспериментов с элементарными частицами. Вместо того чтобы бомбардировать детектор пучками ускоренных частиц, здесь надо сделать все возможное, чтобы уберечь его от посторонних «шалых» частиц, которые могли бы откуда-нибудь проникнуть в аппаратуру. Поэтому огромные детекторы были размещены глубоко под землей в тоннелях и створах шахт. Пока никому не удалось зафиксировать бесспорный случай распада протона. Экспериментально установлена только нижняя граница его времени жизни, которая оказалась выше значения, предсказанного теоретически. Однако это не означает, что на самом деле протон стабилен: поиски его возможного распада должны быть продолжены.

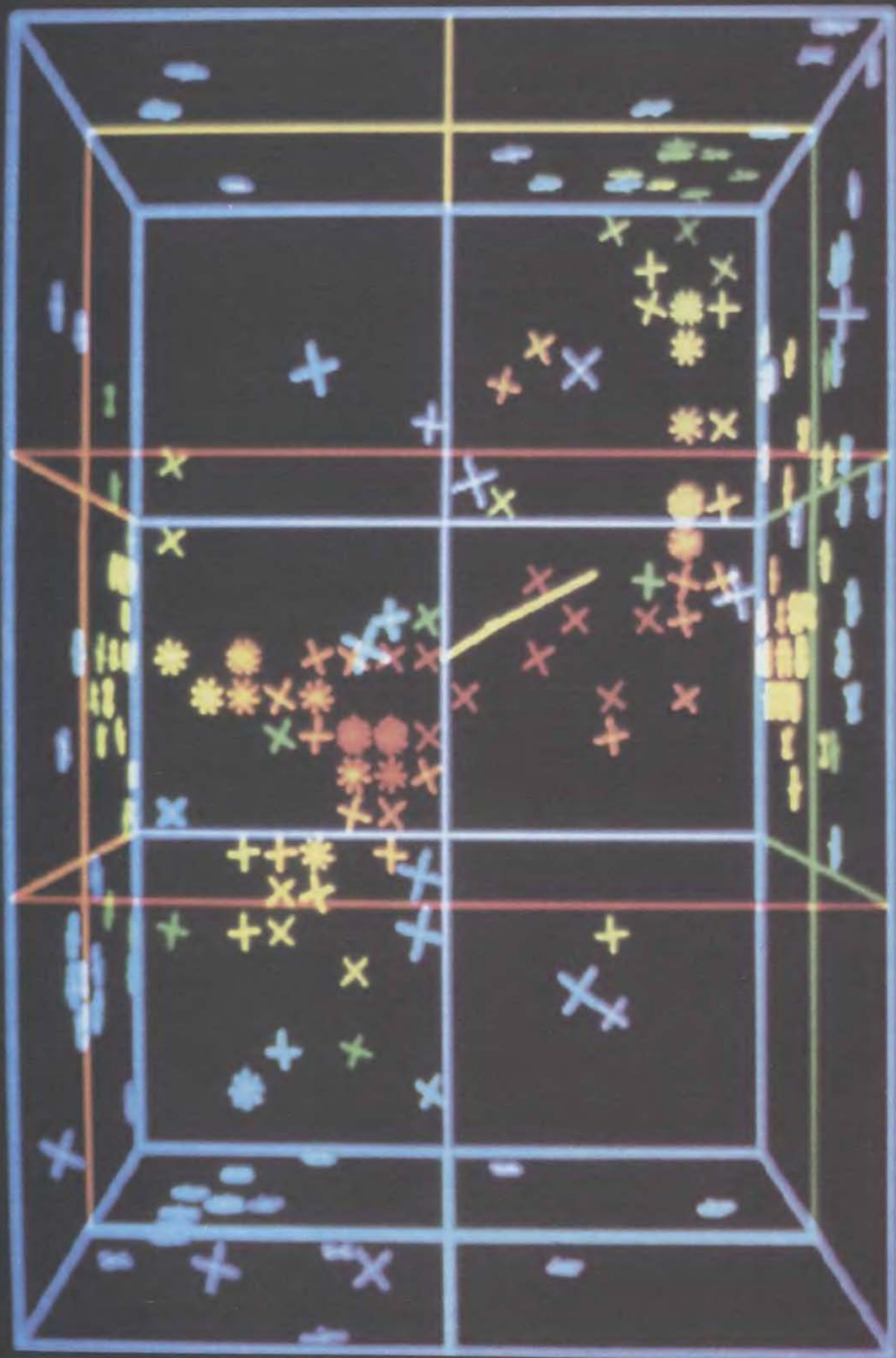
ПРАВИЛА, в соответствии с которыми происходит распад элементарных частиц, следуют из закона сохранения, утверждающих, что та или иная физическая величина или свойство всегда остаются неизменными. Среди законов сохранения наиболее важную роль играют сохранение энергии, импульса, углового момента и электрического заряда. Вообще говоря, любая частица может распа-

даться, если этому не препятствует ни один из указанных законов сохранения. Упомянутый выше распад свободного нейтрона совместим со всеми четырьмя законами сохранения. Например, его полный электрический заряд равен нулю как до, так и после распада. В то же время электрон не может распадаться, так как он является легкой заряженной частицей, и любая предполагаемая схема его распада нарушила бы закон сохранения заряда.

Следует подчеркнуть, что все четыре закона сохранения имеют всеобщий характер и основаны на фундаментальных принципах природы. Они справедливы во всех областях физики, и их достоверность обоснована экспериментально. Загадкой является то, что наблюдаемая стабильность протона не следует ни из одного подобного общего закона природы. В гипотетическом распаде протона на позитрон и пару нейтрино сохранялись бы энергия, импульс, угловой момент и электрический заряд. Множество других предполагаемых каналов его распада также удовлетворяют законам сохранения.

В 30-х годах Г. Вейль и Э. Штюкельберг, а позже Ю. Вигнер попытались объяснить стабильность протона, постулируя новый закон сохранения. Они отнесли протон и нейтрон к

РЕЗУЛЬТАТ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПАДА ПРОТОНА представлен в виде появления цветных звездочек на экране дисплея; такая картина соответствует структуре большого детектора. Детектор — резервуар прямоугольной формы, заполненный чистой водой, — показан так, как будто мы смотрим на него сверху. Фотоумножители, установленные на полу и стенках резервуара, а также вблизи поверхности воды, регистрируют свет, испускаемый быстродвижущимися частицами. Здесь моделируется распад протона на позитрон и нейтральный пион, которые разлетаются в противоположные стороны. Когда свет от движущейся частицы достигает фотоумножителя, он генерирует электрический импульс и на экране появляется звездочка. Число лучей у звездочки указывает на количество полученного света, а цвет — на время его поступления: фотоумножители, отмеченные красными звездочками, действовали первыми; за ними последовали желтые, зеленые и голубые. Восстановленные расходящиеся треки продуктов распада изображены толстыми желтыми линиями в центре экрана дисплея. Реальные события такого рода не обнаружены. Однако другие события, которые наблюдались на опыте, соответствуют событиям, полученным аналогичным моделированием. Поэтому экспериментаторы уверены, что если бы протон распался указанным образом, они непременно зарегистрировали бы это событие.



классу частиц, названных «барионами», и приписали им «барионное число», равное +1. Затем они предположили, что существует закон сохранения барионного числа. Нейтрон может распадаться на протон, электрон и нейтрино, потому что барионное число в этой реакции не изменяется: оно равно +1 как до, так и после распада. Протон не может распадаться, потому что он является легчайшим барионом.

Введение закона сохранения барионного числа не объяснило это явление, но всего лишь дало ему название. Закон сохранения барионного числа не относится к числу фундаментальных законов природы: он не связан с каким-либо общим принципом и не имеет приложений вне рамок физики элементарных частиц. Более того, этот закон мог бы вызвать сомнения даже в том случае, если бы он был введен не столь произвольным образом. Вещество во Вселенной состоит в основном из протонов и электронов. Для каждого положительного заряда, носителями которого служат протоны, существует, как следует из наблюдений, компенсирующий его отрицательный заряд электрона, так что Вселенная в целом электрически нейтральна.

Однако она не является нейтральной по отношению к барионному числу: во Вселенной гораздо больше протонов (барионное число +1), чем антипротонов (барионное число -1). По-видимому, в чрезвычайно горячие первые мгновения после Большого взрыва протонов родилось больше, чем антипротонов, т.е. тогда действовал какой-то механизм, нарушающий закон сохранения барионного числа. Но если закон сохранения уже был нарушен тогда, почему же он не может быть нарушен и сегодня?

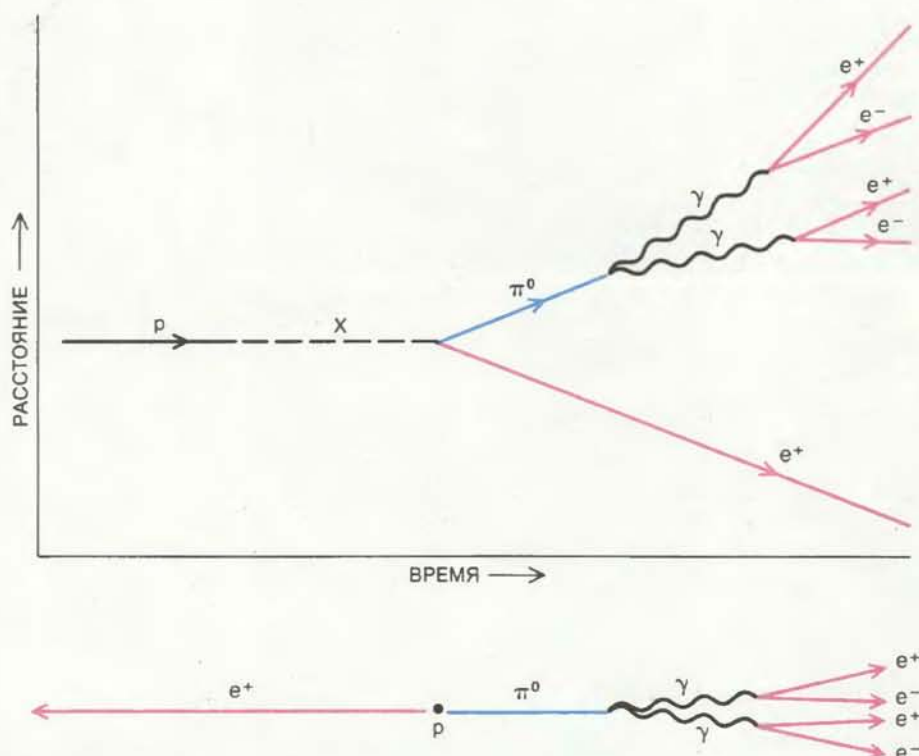
НЕСМОТЯ на то что стабильность протона покоилась на шатком теоретическом фундаменте, эта проблема привлекала мало внимания до 1974 г., пока не появились теоретические модели, называемые моделями великого объединения. Целью этих новых теорий было построение объединенной теории трех из четырех фундаментальных взаимодействий: сильного, слабого и электромагнитного. В стороне оставалась только гравитация. Физика уже сталкивалась с объединениями подобного рода: в XIX в. Джеймс Клерк Максвелл объединил теории электричества и магнетизма, а в 60-х годах нашего столетия была об-

наружена глубокая связь между электромагнитным и слабым взаимодействиями.

Простейшая из теорий великого объединения была разработана Говардом Джорджи и Шелдоном Ли Глэшоу из Гарвардского университета; она называется «минимальной SU(5)-моделью». Обозначение SU(5) относится к математической группе симметрии, которая лежит в основе этой модели. Минимальной она называется потому, что включает наименьшее число так называемых свободных параметров, значения которых должны быть определены из сравнения теории с экспериментом. Согласно минимальной SU(5)-модели, сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия, столь различающиеся по свойствам при обычных условиях, становятся неразличимыми, когда энергия взаимодействующих частиц достигает приблизительно 10^{15} ГэВ ($1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$). При такой огромной энергии закон сохранения барионного числа аннулируется: процессы с его изменением происходят так же часто, как и процессы, в которых оно сохраняется.

Энергия объединения 10^{15} ГэВ лежит далеко за пределами возможностей современных лабораторных экспериментов: крупнейшие из ускорителей элементарных частиц вот-вот преодолеют рубеж в 1000 ГэВ. Однако ниспровержение закона сохранения барионного числа должно проявляться даже в покоящемся веществе. В частности, минимальная SU(5)-модель предсказывает, что распад протона происходит с образованием промежуточной частицы массой 10^{15} ГэВ, которая в свою очередь должна превратиться в легкие частицы. Может показаться, что такой процесс нарушает закон сохранения энергии, так как протон массой 1 ГэВ порождает промежуточную частицу гораздо большей массы. Однако жить она будет столь непродолжительное время, что ее в принципе невозможно зарегистрировать. С точки зрения любого наблюдателя такого состояния не существует, т.е. энергия сохраняется.

Хотя распад протона не запрещен полностью законом сохранения энергии, вероятность этого процесса очень мала из-за огромной массы промежуточной частицы. Почти невероятно, чтобы в каждое данное мгновение протон испустил частицу массой 10^{15} ГэВ. Поскольку процесс распада в высшей степени маловероятен, время жизни протона чрезвычайно велико. В минимальной SU(5)-модели оно оценивается примерно в 10^{30} лет. Другие модели великого объединения также предсказывают распад



ПРЕДСКАЗАННЫЙ КАНАЛ РАСПАДА ПРОТОНА, в котором рождаются позитрон, или положительно заряженный электрон (e^+), и нейтральный пион (π^0). Пион затем распадается на два фотона (γ), которые в свою очередь порождают пары электронов и позитронов. Вверху показана эволюция этой системы. При таком событии в промежуточном состоянии возникает чрезвычайно массивная короткоживущая частица, обозначенная X. Внизу показана геометрия события так, как она должна выглядеть для наблюдателя в лаборатории: позитрон и продукты распада нейтрального пиона разлетаются по противоположно направленным траекториям.

протона, но в них вычислить его время жизни слишком сложно.

Несмотря на то что мы говорили исключительно о судьбе протона, нейтрон тоже должен быть подвержен действию того же механизма распада. Как отмечалось выше, свободный нейтрон может распадаться на протон, электрон и нейтрино. Если нейтрон связан в атомном ядре, то такой процесс подавляется. (Причина этого заключается в том, что добавление протона с положительным зарядом к ядру, которое само имеет положительный заряд, требует большей энергии, чем высвобождается при распаде нейтрона.) Таким образом, нейтрон в атомном ядре стабилен по отношению ко всем каналам распада, в которых барионное число сохраняется. Однако он может распадаться, если закон сохранения барионного числа нарушен. В моделях великого объединения время жизни нейтрона в атомном ядре приблизительно равно времени жизни протона, но из-за различия в электрических зарядах каналы распадов протона и нейтрона должны быть разными.

КАКИМ же образом можно измерить время жизни порядка 10^{30} лет во Вселенной, возраст которой «всего лишь» около 10^{10} лет? Для этого не надо ждать распада какого-то определенного, выделенного протона. Оценка 10^{30} лет относится к периоду полураспада протона, т.е. за это время должна распадаться половина протонов в любом объеме вещества. Если этот объем достаточно велик, то случаи распада могут наблюдаться с гораздо более коротким периодом. Так, контролируя массу вещества, содержащую 10^{30} протонов, можно ожидать в среднем один распад протона в год.

Наиболее прямым путем обнаружения распада протона мог бы быть эксперимент, основанный на простом подсчете. Надо взять большое количество вещества и определить число протонов в нем, а затем через год снова подсчитать количество протонов. Если вторичный подсчет покажет, что число протонов уменьшилось, то можно предположить, что это произошло из-за распада. Такой эксперимент не зависел бы от гипотез о возможных каналах распада протона: не имело бы никакого значения, какие частицы были при этом испущены, так как регистрировалось бы только число протонов. К сожалению, подобный эксперимент неосуществим, поскольку при этом требуется безошибочно сосчитать 10^{30} протонов.

Другой предложенный подход не только практичен, но и очень прост. Распад протона служил бы источником одного из видов радиоактивно-

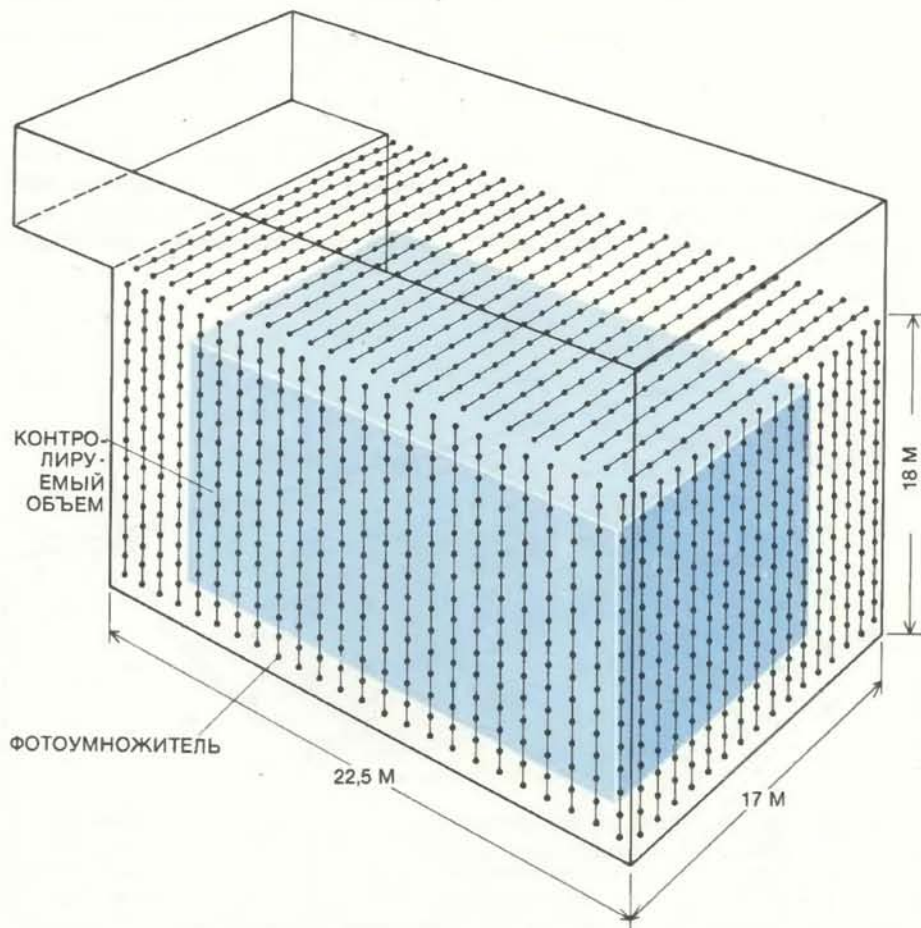


СХЕМА ДЕТЕКТОРА МАССОЙ 8000 т в соляной шахте компании Morton Thiokol неподалеку от Кливленда. Этот детектор используется группой IMB. На глубине более 600 м был сделан подземный резервуар, стены которого были обиты пластиком. Строительство завершилось установкой 2048 пятидюймовых фотоумножителей и заполнением резервуара водой. Даже на такой глубине часть космических лучей достигает детектора и вызывает реакции, которые можно спутать с распадом протона. Из-за фона, создаваемого космическими лучами, любое событие относят к числу потенциальных кандидатов на распад протона в том случае, если оно происходит в точке, отстоящей не менее чем на 2 м от стен детектора. Таким образом, внутри детектора выделяется «контролируемый» (показан цветом) объем, масса которого составляет 3300 т.

сти и, следовательно, должен был бы вносить свой вклад в общий радиоактивный фон на поверхности Земли. Радиоактивный фон можно измерить счетчиком Гейгера или другим подобным прибором. Если вычесть из измеренного значения вклад всех известных источников, то остаток можно было бы отнести на счет распада протонов. Такая грубая процедура приводит к нижней границе времени жизни протона в 10^{17} лет, что в 10 млн. раз превышает возраст Вселенной.

До появления моделей великого объединения единственным стимулом к постановке более тонких экспериментов было предположение о том, что такой принцип, как сохранение барионов, может выполняться с меньшей точностью, чем точность экспериментов по его проверке. На этом основании в 1953 г. К. Коузмладший из Лос-Аламаса, М. Гольдхабер из Брукхейвенской национальной лаборатории и один из нас (Рай-

нес) предприняли попытку измерить время жизни протона. Это был первый эксперимент, в котором для поиска распада протона использовался массивный детектор.

ДЕТЕКТОР представлял собой резервуар с 300 л жидкого сцинтиллятора, испускающего вспышку света при прохождении через него заряженной частицы. Вспышки света регистрировались с помощью 90 фотоумножителей. Первоначально детектор проектировался для совсем иных целей — экспериментов с интенсивными пучками нейтрино. С помощью приборов, которые тогда имелись в нашем распоряжении, невозможно было отличить распад протонов от других «маскирующих» их событий. Однако установка аппаратуры на глубине 30 м под землей защищала ее от воздействия космических лучей — основного источника посторонних частиц. Предположив, что все события,

которые не могли быть интерпретированы иным образом, имеют отношение к распаду протона, мы получили нижнюю границу времени жизни протона, равную 10^{22} лет.

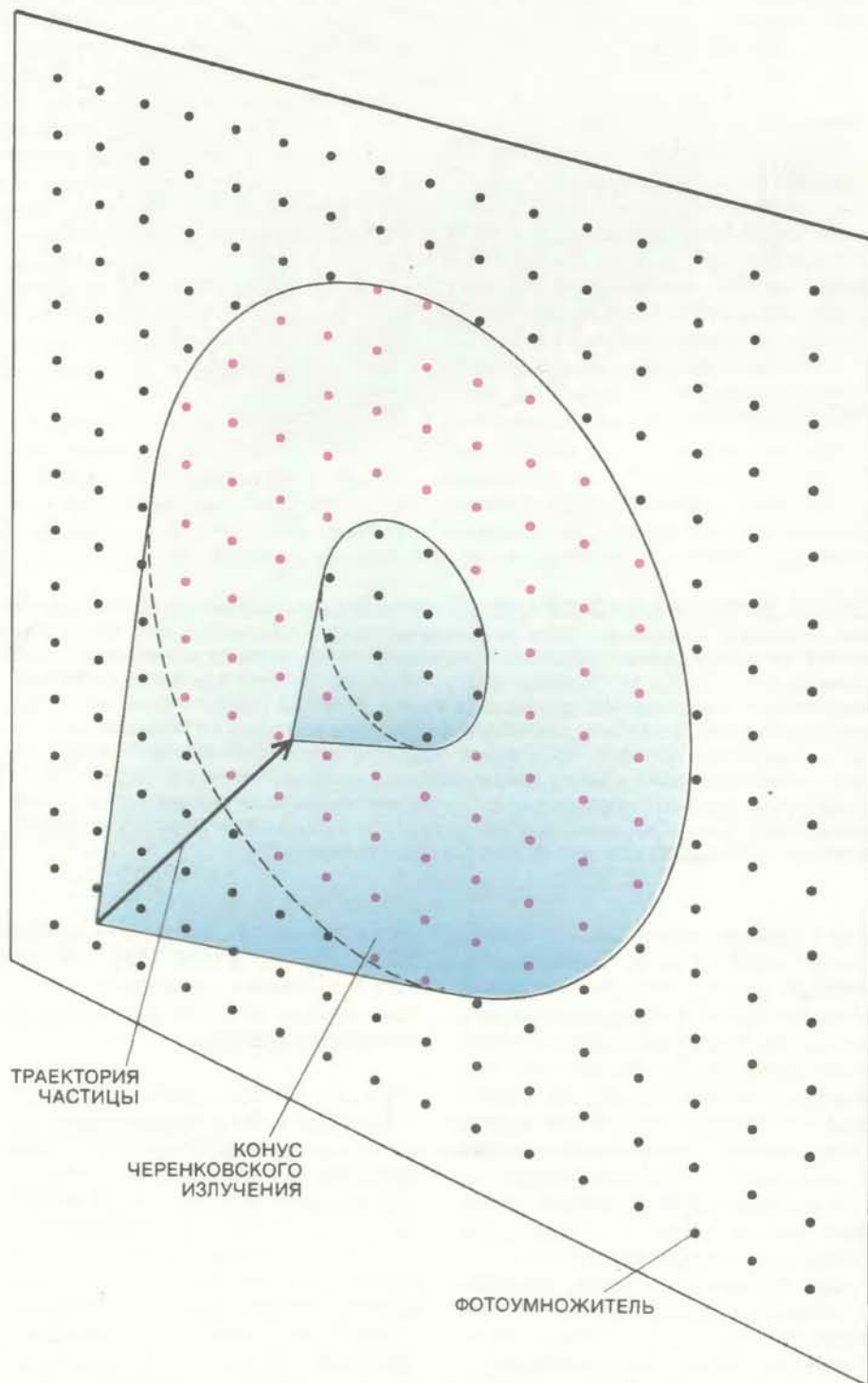
В течение последующих двух десятилетий в дальнейших исследованиях эта оценка была улучшена на несколько порядков величины. Некоторые

эксперименты основывались на радиохимическом анализе геологических образцов. Например, в результате распада протонов ядра калия-39 должны превращаться в ядра аргона-38, которые нестабильны и сразу же, испуская нейтрон, переходят в ядра аргона-37. Эти ядра радиоактивны, так что их концентрация может быть

измерена с помощью обычных счетчиков радиоактивности. Ключевой идеей эксперимента было обнаружение образцов пород, не претерпевших изменений со времени их образования. По отношению концентраций аргона-37 и калия-39 можно определить число протонов, распавшихся за геологический период. Этим методом было доказано, что время жизни протона составляет не менее 10^{26} лет.

В других экспериментах, напоминающих современные, пытались подсчитать отдельные случаи распада протонов по мере того, как они будут происходить. Измерения проводились вместе с исследованиями космических лучей глубоко под землей, так что аппаратура была экранирована от всех внешних излучений, кроме наиболее проникающей радиации. В 1974 г. один из нас (Райнес) сообщил о результатах, полученных с помощью детектора, расположенного на глубине около 3 км в одной из золотоносных шахт Южной Африки. Установка содержала 20 т жидкого сцинтиллятора и 84 тыс. фотоумножителей, в которых прохождение заряженной частицы вызывало газовый электрический разряд. И вновь оценка времени жизни протона была получена путем выделения тех событий, источник которых оставался неизвестным, поэтому они приписывались распаду протона. Было найдено, что время жизни протона превышает 10^{30} лет, но это относилось только к определенным каналам распада, а именно к тем, где в числе продуктов распада присутствовали либо мюон, либо положительно заряженный пион. (Мюон — частица, подобная электрону, но тяжелее его почти в 200 раз; пион — легчайшая частица из класса мезонов.)

С появлением минимальной SU(5)-модели изменился сам характер поисков распада протона. Сначала всего несколько теоретиков проявляли энтузиазм в связи с экспериментами по проверке стабильности протона, в первую очередь это были Дж. Пати из Университета шт. Мэриленд и А. Салам из Международного центра теоретической физики в Триесте. Сейчас подобные эксперименты вызывают более широкий интерес. Частично это объясняется одним простым фактом — существованием четкого предсказания нестабильности протона. Однако столь же важную роль сыграла оценка его времени жизни, проведенная на основании минимальной SU(5)-модели, — она не выходила за рамки значения, доступного для современных экспериментов. Модель также указала, какой из каналов распада является предпочтительным: в большинстве случаев протон должен



ЧЕРЕНКОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ лежит в основе принципа действия водно-черенковского детектора. Это излучение возникает, если заряженная частица движется в воде со скоростью, большей скорости света в воде (которая составляет примерно $3/4$ скорости света в вакууме). Черенковское излучение образует конус с вершиной на траектории частицы, которая может быть восстановлена по данным об интенсивности и времени поступления света на фотоумножители.

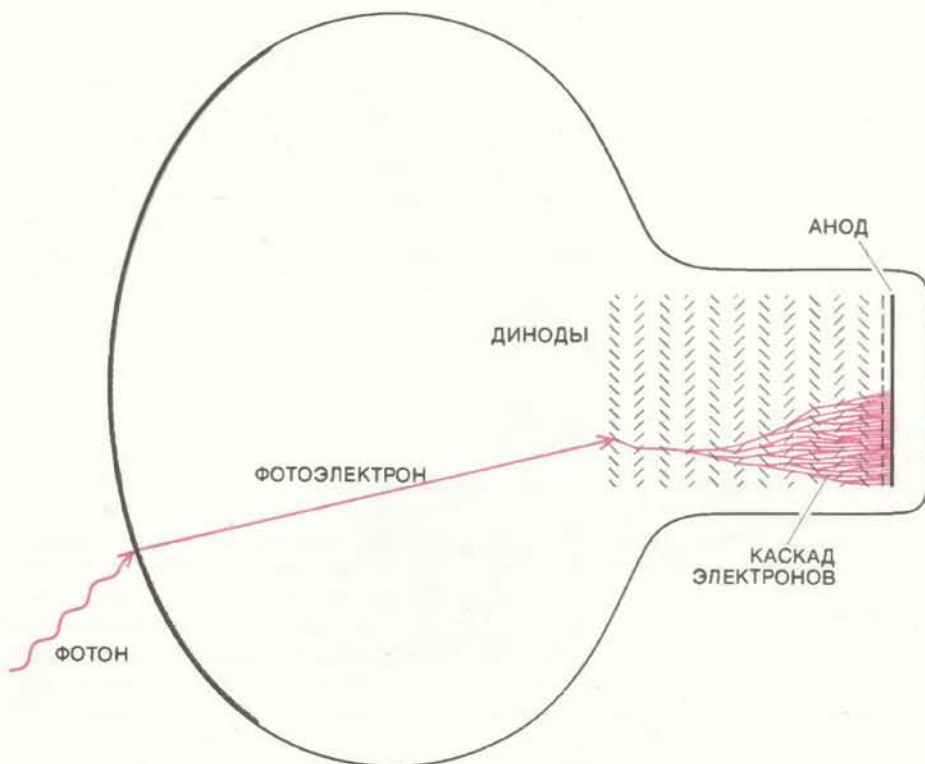
распасться на позитрон и нейтральный пион. Все эти предсказания поставили перед экспериментаторами определенную цель и указали направление, в котором должны вестись поиски.

Согласно минимальной SU(5)-модели, предпочтительный канал распада протона относится к тем процессам, которые обладают отчетливыми признаками, позволяющими выделить их на фоне прочих событий. Как позитрон, так и нейтральный пион должны иметь сравнительно большую энергию (около 0,5 ГэВ) и разлетаться в противоположных направлениях. Маловероятно, чтобы подобные события, происходящие при высоких энергиях, могли иметь какой-нибудь другой источник, кроме распада протона. Поэтому события с испусканием позитрона и нейтрального пиона можно было бы идентифицировать гораздо легче, чем многие другие возможные каналы распада протона.

Тем не менее, хотя и известно, что именно надо искать, проверка предсказаний минимальной SU(5)-модели представляет грандиозную по своим масштабам задачу. Время жизни 10^{30} лет означает, что в 1000 т вещества происходит один распад протона или нейтрона в день. Учитывая, что теоретические предсказания имеют некоторую неопределенность, надо спланировать эксперимент таким образом, чтобы можно было зарегистрировать распад протона даже в том случае, если его время жизни составляет 10^{33} лет. Таким образом, если ориентироваться на худший случай, то надо наблюдать за 10^{33} протонов (или примерно за 3000 т вещества) в течение целого года, и тогда можно надеяться зарегистрировать единственный распад. Этот единственный случай надо еще выявить на фоне множества посторонних событий.

БОРЬБУ с фоновыми событиями можно вести двумя методами: либо попытаться уберечь детектор от попадания в него посторонних частиц, либо не учитывать фоновые события при анализе зарегистрированных данных. На практике применяют оба метода.

Один из источников фона — естественная радиоактивность, которую в принципе невозможно полностью экранировать. Любой выбранный защитный материал сам будет содержать какое-то количество ядер, подверженных радиоактивному распаду; то же относится к материалу, из которого сделан детектор. Излучение радиоактивных ядер сравнительно про-



ФОТОУМНОЖИТЕЛИ реагируют на чрезвычайно слабые вспышки черенковского излучения. Когда фотон попадает на фотоумножитель, фотокатод, расположенный на внутренней поверхности стеклянного баллона, испускает электрон, который затем под действием электрического поля направляется на электроды, называемые динодами. Диноды располагаются рядами по схеме «жалюзи», причем в каждом последующем ряду диноды имеют больший потенциал, чем в предыдущем. При ударе одного электрона о динод последний испускает еще несколько электронов, в результате число электронов в фотоумножителе увеличивается в миллиард раз. За счет последовательного «умножения» потока электронов даже один фотон может вызвать на выходе регистрируемую величину тока. Время прилета фотона можно определить с точностью до 5 нс.

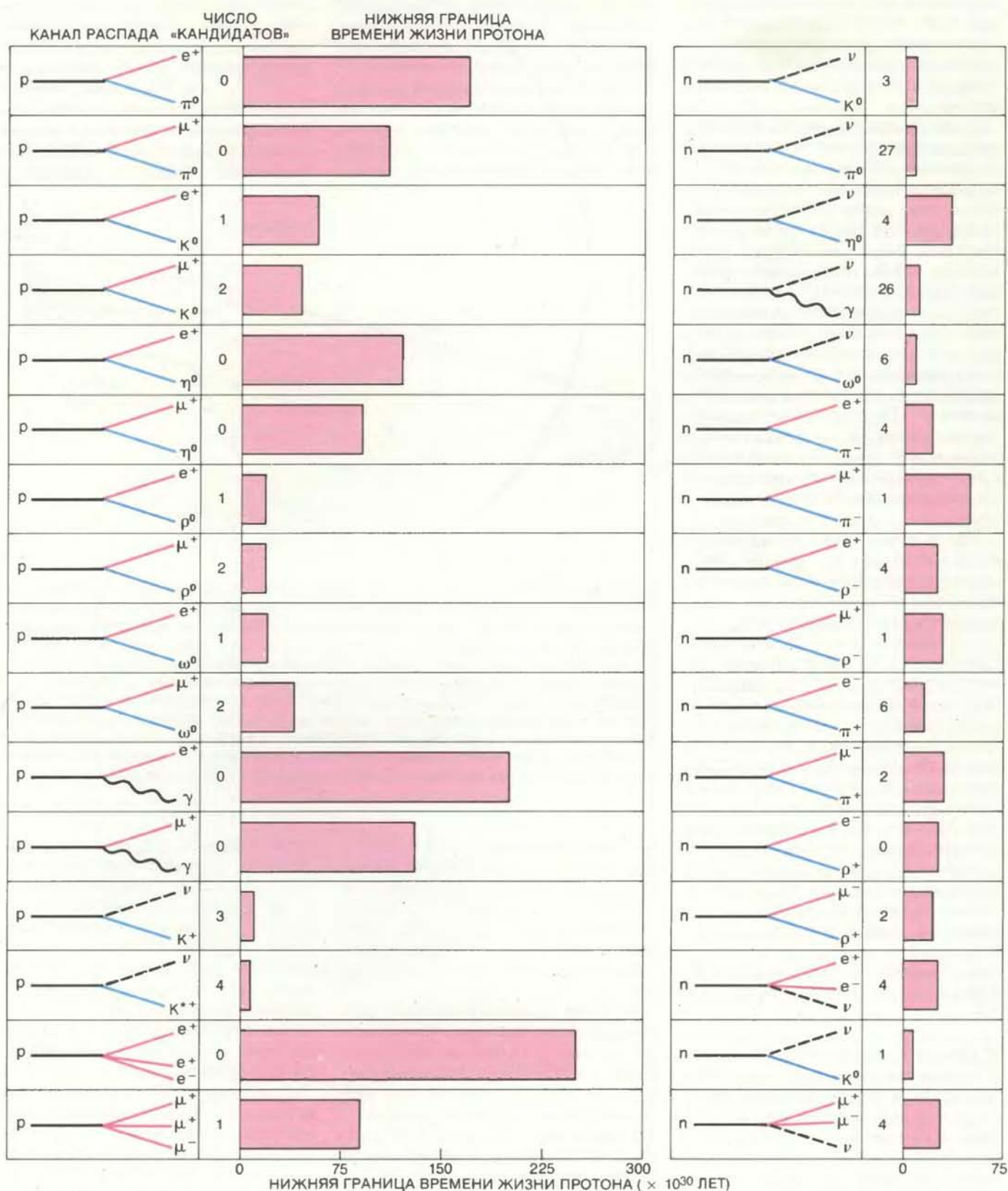
сто идентифицировать. При типичном радиоактивном распаде высвобождается энергия, составляющая примерно 1% энергии распада протона. Поэтому простое измерение энергосодержания позволяет провести различие между событиями этих двух типов.

Большие трудности создают космические лучи. Частицы в них обладают самыми различными энергиями, причем у поверхности Земли еще и велико разнообразие этих частиц. Поток космических лучей на уровне моря составляет одну частицу на 1 см^2 в минуту, так что через детектор массой 10 000 т за год пролетит более 10^{12} частиц. Чтобы обнаружить один-единственный распад протона, который мог бы произойти за год, надо идентифицировать и исключить из рассмотрения триллион других событий, обусловленных космическими лучами.

Именно для уменьшения потока космических лучей детекторы помещают под землей. Многие из падающих на Землю частиц, таких, как про-

тоны, нейтроны и пионы, можно задержать, используя тяжелую металлическую защиту толщиной несколько метров. Мюоны требуют гораздо более «суровых» мер. Они очень медленно теряют свою энергию при прохождении через вещество, поэтому, чтобы защита была эффективной, ее толщина должна составлять несколько тысяч метров. И даже в этом случае через нее сумеют проникнуть несколько мюонов с высокой энергией.

Совершенно невозможно защитить детектор от нейтрино. Эти частицы с энергией, характерной для распада протона, так редко взаимодействуют с веществом, что свободно проходят сквозь толщу Земли. Разумеется, большая часть нейтрино пройдет через объем детектора также незамеченной. Но все-таки время от времени нейтрино сталкиваются с частицами вещества. Частота таких событий пропорциональна массе детектора (как и частота распада протона). В 1000 т вещества каждые несколько дней происходит один акт взаимодействия с нейтрино. В некоторых



ОГРАНИЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ протона и нейтрона для 32 возможных каналов распада. Эти значения получены на основе данных, собранных за 204 дня работы детектора IMB. Все события, которые нельзя было с определенностью отнести к взаимодействиям с космическими лучами, рассматривались как возможные кандидаты на распад протона по каждому каналу распада. Минимальное время для данного канала рассчитывалось затем по количеству возможных кандидатов и по эффективности детектора (проценту событий каждого типа, который, как ожидается, способен зафиксировать детектор). Нижняя граница времени жизни для конкретного канала распада представ-

ляет собой минимальное время жизни, которым обладал бы протон, если бы данный канал распада был единственным возможным. Для предпочтительного канала распада протона на позитрон и нейтральный пион теория предсказывает время жизни не более $2,5 \cdot 10^{31}$ лет. Ни одного кандидата на такое событие не было обнаружено; из эксперимента следует, что нижняя граница времени жизни протона равна $1,7 \cdot 10^{32}$ лет. Хотя наблюдались события, являющиеся кандидатами на другие каналы распада, их труднее отличить от взаимодействий с космическими лучами. Авторы статьи считают, что нет неоспоримых доказательств случая распада протона.

случаях осколки этих столкновений содержат мюоны, электроны и пионы с энергиями, характерными для ожидаемого распада протона.

Поскольку избавиться от событий, индуцируемых нейтрино, невозможно, надо уметь отделять их от событий, связанных с распадом протона. Для этого используют свойства углового распределения продуктов реакции. Когда нейтрино сталкивается с какой-либо частицей, продукты реакции летят вперед, по направлению импульса нейтрино. Если же распадается покоящийся протон, то вылетающие частицы движутся в противоположных направлениях, так что полный импульс системы остается равным нулю. Необходимость «сортировать» различные события именно по этому признаку оказывает сильное влияние на особенности проектирования детекторов для экспериментов по поиску распада протона. Недостаточно зарегистрировать полную энергию события, как это делалось на установках прошлых лет: надо научиться определять также положения и направления движения образующихся частиц.

ДЕТЕКТОРЫ, которые были спроектированы и построены в последнее десятилетие, можно разделить на два типа: водно-черенковские и слоистые трековые. В последних между железными или стальными пластинами, представляющими собой рабочее вещество детектора, установлены электронные «счетчики», чувствительные к прохождению заряженных частиц. Железо или сталь служат источником протонов и нейтронов, распад которых надеются обнаружить. Счетчики регистрируют последовательные положения продуктов распада по мере того, как они движутся от одной пластины к другой. Пространственное разрешение такого детектора (и, следовательно, точность восстановления траектории частиц) зависит, в частности, от толщины пластин. Тонкие пластины дают лучшее разрешение, но приводят к удорожанию установки, так как тогда требуется большое число счетчиков частиц.

Действие водно-черенковских детекторов основано на эффекте, открытом в 1934 г. советским физиком П. А. Черенковым. Этот эффект заключается в излучении света частицей, движущейся через прозрачную среду (например, воду) со скоростью, превышающей скорость света в этой среде. (В вакууме ни один объект не может двигаться быстрее, чем свет, но в воде сам свет замедляется до скорости, составляющей $3/4$ его скорости в вакууме.) Черенковское излуче-

ние — это электромагнитная ударная волна, подобная «удару грома» при переходе самолета на сверхзвуковую скорость. Так же как и звуковая волна, черенковское излучение испускается в конусе. Угол между направлением движения частицы и направлением испускания света зависит от отношения скорости частицы к скорости света в среде. Для частицы, движущейся через воду со скоростью, близкой к скорости света в вакууме, этот угол составляет 42° .

В черенковском детекторе большой объем чистой воды окружен фотоумножителями. Каждая заряженная частица, рожденная при распаде протона или нейтрона в воде, приводит к кратковременной вспышке черенковского излучения, которая заставляет «зажечься», т.е. выработать короткий электрический импульс, некоторые из фотоумножителей. Амплитуды импульсов и время их возникновения записываются на магнитный диск, а затем анализируются. Расположение фотоумножителей и последовательность их срабатывания дают информацию, необходимую для восстановления траектории частицы. Фотоумножители должны быть чрезвычайно чувствительными. На расстоянии 5 м вспышка света от одной заряженной частицы имеет такую же яркость, как обычная фотовспышка, наблюдаемая на расстоянии, равном расстоянию от Земли до Луны.

Поскольку черенковское излучение испускается только заряженными частицами, может показаться, что электрически нейтральные частицы останутся незамеченными. С некоторыми из них, особенно с нейтрино, так и происходит, но другие регистрируются по вторичным продуктам их распада. Например, нейтральный пион обычно распадается на пару гамма-квантов (фотонов высоких энергий). Гамма-лучи тоже электрически нейтральны, но при взаимодействии с веществом они порождают пары электронов и позитронов, которые можно зарегистрировать. Поэтому нейтральный пион наблюдается в виде каскада электрон-позитронных пар.

Одним из преимуществ черенковских детекторов служит то, что вода, состоящая частично из атомов водорода, содержит протоны, не связанные в сложные атомные ядра. Сигнал о распаде протона будет отчетлив именно в случае свободных протонов. Другое преимущество черенковских детекторов состоит в том, что их стоимость не связана с размером. Основные затраты приходятся не на активную среду (воду), а на фотоумножители. Так как они расположены на поверхности замкнутого объема, то их

число зависит от площади поверхности, которая пропорциональна массе детектора в степени $2/3$. Иными словами, стоимость единицы массы уменьшается при увеличении размеров детектора. По этой причине метод, основанный на использовании эффекта Черенкова, применяется в самых больших детекторах, предназначенных для поиска распада протона. Вместе с тем размеры таких установок ограничены поглощением света в воде, но эти пределы еще не достигнуты.

МЫ ПРИНИМАЛИ участие в разработке проекта и исследованиях на самом большом детекторе. Он представляет собой резервуар прямоугольной формы с водой длиной 23 м, шириной 17 м и высотой 18 м. Полный объем детектора составляет более 7 млн. литров. Вся поверхность детектора покрыта квадратной сеткой из фотоумножителей, расстояние между которыми равно 1 м. Всего на поверхности детектора размещено 2048 фотоумножителей.

Планирование эксперимента было начато в 1979 г. физиками из Калифорнийского университета в Ирвине и Мичиганского университета (в их число входили и мы). Позже к нам присоединился М. Гольдхабер из Брукхейвена, так что проект получил сокращенное название IMB (ИМБ, Ирвин — Мичиган — Брукхейвен). Целью эксперимента было наблюдение распада протона, а в случае неудачи — повышение нижней границы его времени жизни до 10^{33} лет. Первое важное решение было принято относительно типа детектора. Слоистые трековые детекторы использовались (в нескольких иных целях) уже более десяти лет. Что же касается возможности использования большого водно-черенковского детектора для записи значительного объема информации, с помощью которой можно было бы восстановить траекторию заряженной частицы, то эта идея еще не была апробирована. Однако моделирование на компьютере показало, что это вполне реальная идея.

Оставалось решить совсем непростой вопрос о месте размещения детектора. На поверхности Земли электронные системы, обслуживающие установку, были бы «завалены» 100 тыс. событиями в секунду, происходящими под действием космических лучей. Их число следовало уменьшить до нескольких событий в секунду, а для этого надо было «зарыться» под землю на глубину более 600 м. Но как по приемлемой цене смонтировать на такой глубине огромную установку размером с шестизэтажный дом, да еще заполненную водой?

Сначала мы хотели использовать

какую-нибудь шахту или туннель и построить подземный резервуар, но такой путь оказался слишком дорогим. Тогда мы стали искать уже готовую пещеру, но не нашли ни одной подходящей. Решение пришло совершенно неожиданно. Члены нашей группы когда-то участвовали в экспериментах с космическими лучами, которые проводились в шахте близ Кливленда, эксплуатируемой Morton Salt Company (ныне Morton Thiokol, Inc.). Мы узнали, что правление шахты заинтересовано в испытаниях новой горнопроходческой машины и покроет часть расходов по доставке ее под землю. Еще более важным было то, что руководство шахты согласилось предоставить за наш счет горных мастеров и рабочих, которые соорудили бы большой подземный резервуар для наших экспериментов. Впоследствии, чтобы уменьшить расходы, мы решили отказаться от свободно стоящего резервуара и вместо

этого стены пещеры были выложены пластиком.

Резервуар был заполнен водой в июле 1982 г., а вскоре была закончена установка 2048 фотоумножителей, которые были размещены вдоль стен, пола и вблизи поверхности воды. Фотоумножители были направлены внутрь резервуара, причем полусферическая поверхность каждого фотоумножителя размером 5 дюймов (примерно 13 см) помещалась в водонепроницаемый пластиковый кожух. Общая масса воды составляет 8000 т, но события, происходящие в двухметровом защитном слое воды у каждой из шести стен резервуара, исключаются из рассмотрения. В результате масса контролируемой зоны, в которой идентифицировались события — кандидаты на распад протона, составляет 3300 т.

Наибольшее расстояние, которое могут пролететь продукты распада протона, составляет примерно 10 м.

Такое расстояние в воде свет пройдет за 50 нс. Поэтому событие фиксировалось лишь в том случае, если время между срабатыванием фотоумножителей не превышало 50 нс, причем должно было действовать не менее 12 фотоумножителей. Временное разрешение фотоумножителей составляет 5 нс, так что последовательность «зажигания» фотоумножителей могла быть использована для определения направления, откуда пришел свет.

Даже на глубине около 600 м проникающие мюоны «запускали» детектор примерно 2,7 раза в секунду. Проходя через детектор сверху донизу, мюоны инициировали достаточно много вспышек черенковского излучения, так что срабатывало около 600 фотоумножителей. Однако при распаде протона могло сработать не более 250 фотоумножителей. Поэтому многие из мюонных событий могли быть идентифицированы и отброшены уже по одному этому признаку.

	ОРГАНИЗАЦИИ — УЧАСТНИКИ ЭКСПЕРИМЕНТА	МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ДЕТЕКТОРА	ГЛУБИНА, М	МАССА ДЕТЕКТОРА, Т	МЕТОД ДЕТЕКТИРОВАНИЯ
ВОДНО-ЧЕРЕНКОВСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ	Калифорнийский университет в Ирвине, Мичиганский университет, Брукгейвенская национальная лаборатория, Кливлендский университет, Гавайский университет, Калифорнийский технологический институт, Колледж университета в Уорсо	Соляная шахта Morton Thiokol, Пейнсвил, шт. Огайо	600 1 600	8000 (полная) 3300 (контролируемая)	2048 5-дюймовых фотоумножителей
	КЕК, Токийский университет, Университет г. Цукуба	Рудник в Камиоке	825 2 400	3000 (полная) 1000 (контролируемая)	1000 20-дюймовых фотоумножителей на плоской сетке с периодом 1 м
	Гарвардский университет, Университет Пардю, Висконсинский университет	Шахта Silver King, Парк-сити, шт. Юта	525 1 500	700 (полная) 420 (контролируемая)	704 5-дюймовых фотоумножителей на кубической решетке с периодом 1 м, окруженные зеркалами
СЛОИСТЫЕ ТРЕКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ	Институт Тата, Университет г. Осака, Токийский университет	Колар-Голдфилдс, Южная Индия	2 500 7 600	140 (полная) 100 (контролируемая)	1600 пропорциональных газовых счетчиков
	ЦЕРН, Лаборатория Фраскати, Миланский университет, Туринский университет	Автотуннель под Монбланом, франко-итальянская граница	1 850 5 000	150 (полная) 100 (контролируемая)	47000 стримерных счетчиков
	Научный центр в Орсе, Высшая политехническая школа, Центр ядерных исследований в Сакле, Университет г. Вупперталь, Университет Тафтса	Автотуннель во Фрежюсе, франко-итальянская граница	1 550 4 200	160 (полная)	1500 импульсных ламп, 200 счетчиков Гейгера
	Аргоннская национальная лаборатория, Миннесотский университет, Оксфордский университет, Лаборатория им. Резерфорда	Рудник в Судане, шт. Миннесота	675 1 800	30 (опытный образец)	Гексагональные дрейфовые счетчики Резерфорда (клизтроны)

В СЕМИ ЭКСПЕРИМЕНТАХ, проводящихся в глубоких шахтах и тоннелях, продолжаются поиски распада протона. В трех из них используются водно-черенковские детекторы, а в остальных четырех — слоистые трековые детекторы, в которых между железными пластинами расположены

счетчики частиц. Приведенные значения глубины, на которой находится каждый детектор, соотносятся с толщиной слоя воды, который обеспечил бы эквивалентную защиту от космических лучей (показано цветом).

Около трети мюонов «задевало» лишь угол детектора, что приводило к действию менее 300 фотоумножителей. Такие события нельзя отбрасывать до анализа записанных данных. Разделение событий выполнялось компьютерной программой, которая исключала из дальнейшего рассмотрения события, индуцированные частицами, влетевшими в детектор снаружи. Оставшиеся события, называемые «содержательными», начинаются в контролируемом объеме. Случаи распада протона могут быть найдены только среди этих «содержательных» событий.

Однако далеко не все «содержательные» события могут оказаться кандидатами на распад протона. Нейтрино (и другие случайные нейтральные частицы) могут попасть в детектор незамеченными, а затем, провзаимодействовав с веществом, инициировать событие, которое будет проявляться так, как будто оно возникло в контролируемом объеме. Такие события должны быть исключены при детальном анализе, причем главным критерием здесь служит их геометрия. Как было отмечено выше, осколки столкновения нейтрино с частицей вещества в общем сохраняют направление движения нейтрино. При распаде протона наиболее вероятно появление частиц, «разбегающихся» в разные стороны.

К СОЖАЛЕНИЮ, отмеченные различия между двумя типами событий не всегда выражены достаточно отчетливо. В редких случаях один из конечных продуктов нейтринной реакции может быть отброшен назад, под большим углом по отношению к направлению движения нейтрино. «Разлетающаяся» конфигурация протонного события также может быть иногда нарушена. Если распадется один из свободных протонов (ядро атома водорода), то угол разлета образовавшихся частиц составит точно 180° . Однако в молекуле воды 16 из 18 протонов связаны в ядре атома кислорода. Рассеяние продуктов распада может ослабить угловую корреляцию между ними.

Лишь небольшая часть «содержательных» событий удовлетворяет геометрическому критерию. Эти несколько событий далее исследуются на основе всего объема информации, полученной детектором, включая полную энергию события, число участвующих в нем частиц, их траектории и в некоторых случаях их сорт. Каждое событие рассматривается независимо как возможный кандидат для каждого из гипотетических каналов распада протона или нейтрона.

Число кандидатов для каждого канала распада, которые не могут быть отвергнуты, определяет нижнюю границу времени жизни для этого канала. При вычислении нижней границы мы учитываем также эффективность детектора, т.е. процент событий в каждом канале, которые можно зарегистрировать при большой статистике.

Члены группы IMB уже закончили анализ данных, полученных в течение 204 дней работы детектора. За это время набралось 169 «содержательных» событий. Совместимо ли хоть одно из них с предположением о распаде протона? Для конкретного канала распада на позитрон и нейтральный пион, который является предпочтительным в минимальной SU(5)-модели, ответ недвусмыслен: не обнаружено ни одного события с этими частицами в характерной «разлетающейся» конфигурации. Нижняя граница времени жизни протона для распада по этому каналу, установленная на основании данных нашего эксперимента, равна $1,7 \cdot 10^{32}$ лет. Теоретически предсказывалось, что эта величина должна лежать в интервале между 10^{28} лет и $2,5 \cdot 10^{31}$ лет. Таким образом, налицо очевидное несоответствие. Если рассматривать только указанный канал распада, то оказывается, что время жизни протона в 7 раз больше максимального значения, предсказанного теорией.

Для других каналов распада результаты не столь очевидны. Убедительных доказательств, что наблюдался распад протона по какому-нибудь каналу, не получено. Однако имеется ряд событий, классификация которых в некоторой степени неоднозначна. Они могут быть результатом взаимодействия с нейтрино, но нельзя исключить и того, что это и есть истинные распады протона или нейтрона. При установлении границ для времени жизни протона мы придерживались консервативной политики и рассматривали каждое событие как кандидат на распад, если его нельзя было наверняка объяснить по-другому. Полученные результаты приведены на рисунке на с. 32.

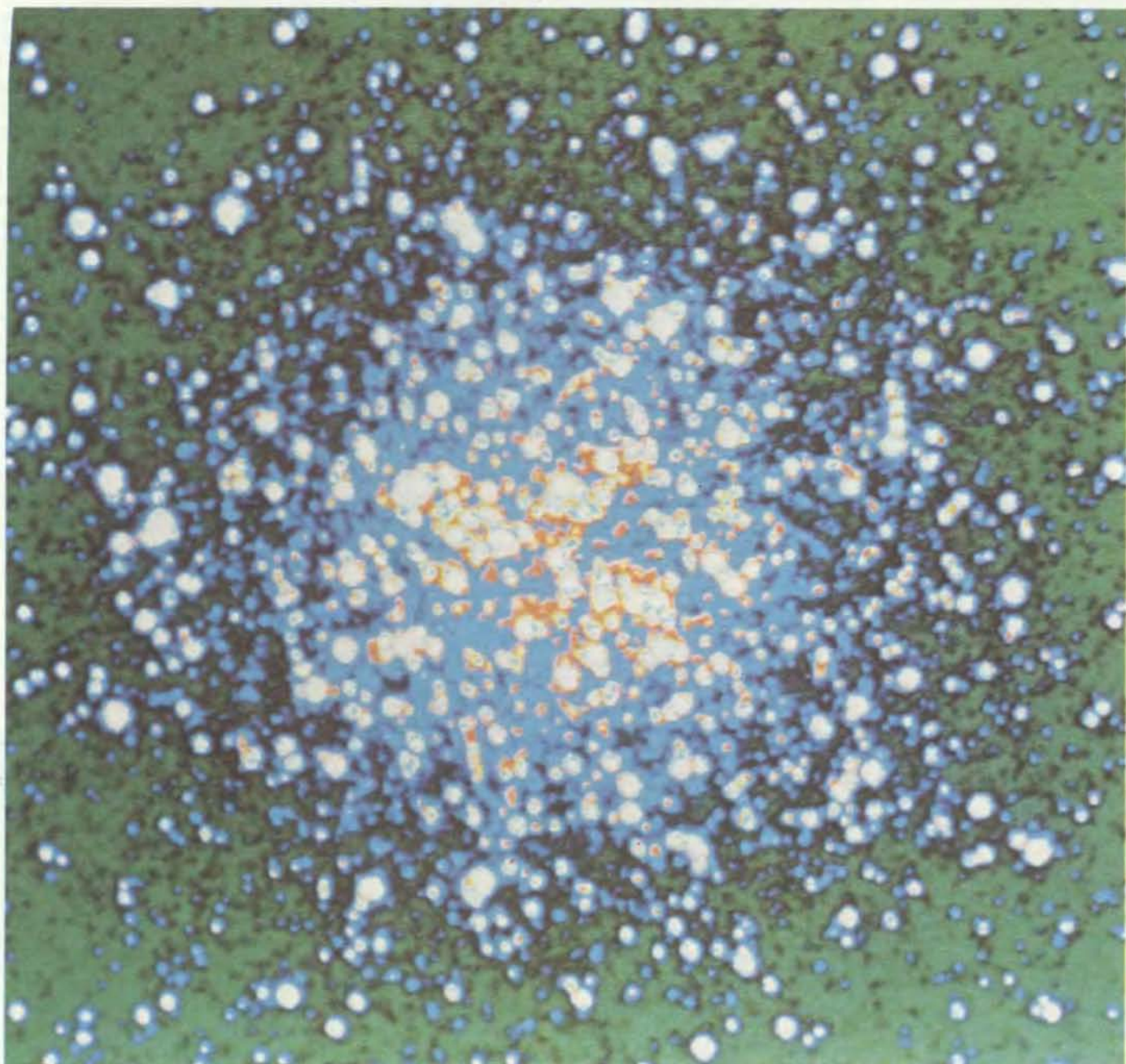
Н АШ эксперимент не дал ответа на вопрос, распадается протон или нет. С одной стороны, создававшаяся ситуация во многом напоминает ту, которая существовала до появления минимальной SU(5)-модели: экспериментаторы не располагают количественными оценками, которые могли бы им помочь определить необходимые размеры и параметры будущих установок. Время жизни протона может лежать буквально вблизи

пределов возможностей современных детекторов, но оно может быть и на много порядков больше. С другой стороны, ситуация в корне изменилась. Несмотря на то что минимальная SU(5)-модель представляется неадекватной, согласно современным теоретическим представлениям, протон должен быть нестабильным. Более того, наблюдение его распада можно рассматривать как единственную и убедительную проверку самой идеи великого объединения.

Чтобы все-таки продолжать попытки обнаружить распад протона или расширить границы оценки его времени жизни, необходимы большие по размеру высокочувствительные детекторы. Нужно будет модифицировать существующие установки и построить новые. Мы уже улучшаем наш детектор, устанавливая большие фотоумножители и рассматривая возможность использования других устройств для повышения количества собираемого света. Эти изменения расширят наши возможности и можно будет более четко отличать различные каналы распада протона от событий, вызванных нейтрино из космических лучей.

Распадается протон или нет? Будет ли когда-нибудь получен ответ на этот вопрос? Современные значения для нижней границы времени жизни протона несомненно могут быть несколько расширены, но этот процесс продолжаться бесконечно не может. Возможно, когда-нибудь построят детектор, в десять раз больший детектора IMB, но невозможно создать установки в сто или тысячу раз большие. Стоимость — не единственное ограничение, хотя и весьма существенное. Если время жизни протона заметно превышает 10^{33} лет, то как бы ни был велик детектор, неустраиваемый фон от нейтринных реакций, по видимому, скроет от экспериментаторов многие каналы распада протона. Дальнейшее увеличение массы приведет просто к увеличению числа фоновых событий в той же пропорции, что и событий распада.

Несмотря на то что вопрос о распаде протона остался нерешенным, история этих исследований позволяет сделать одно любопытное наблюдение относительно взаимосвязи между теорией и экспериментом. Когда этот вопрос был поднят впервые, ограничения на время жизни протона были не столь «суровыми», как сейчас, и все же большинство физиков ожидали отрицательного ответа на него. Ныне граница поднята на 15 порядков величины, но большинство физиков стали верить, что окончательный ответ будет положительным.



МЕССЬЕ 13 в созвездии Геркулеса — ярчайшее шаровое скопление на северном небе. Оно содержит около 500 тыс. звезд; звездная плотность в его центре примерно в 20 тыс. раз больше, чем в окрестности Солнца. В искусственных цветах изображена центральная часть скопления (*вверху*): более яркими цветами выделены области наибольшей интенсивности излучения. Это изображение было получено с помощью светочувствительного полупроводникового прибора с зарядовой связью (ПЗС), прикрепленного к 5-метровому телескопу Паломарской обсерватории. *Внизу* — фотография размером 15', примерно втрое больше, чем ПЗС-изображение. Звезды обращаются вокруг центра скопления с периодом порядка миллиона лет. Обычно орбита звезды (*синяя линия*) лежит почти в одной плоскости, но звезда не возвращается к своему начальному положению.

Шаровые скопления

Шаровые скопления — это плотные группы старых звезд, связанных вместе силами взаимного притяжения.

Длительное изучение шаровых скоплений позволило решить многие проблемы эволюции звезд, галактик и Вселенной в целом

АЙВАН Р. КИНГ

ПРИ наблюдении в большой телескоп шаровое скопление выглядит одним из наиболее замечательных объектов на небе: поле зрения заполняют тысячи звезд. В действительности их миллионы, но большинство из них слишком слабы, чтобы быть видимыми, и все звезды заключены в сферический «объем», диаметр которого обычно не превышает 150 св. лет. Долгие годы астрономы размышляют над тем, как могли сформироваться такие звездные «кучи» и как взаимодействие гравитационных полей поддерживает эти скопления в устойчивом состоянии.

Не раз на протяжении нашего столетия изучение шаровых скоплений приводило к решению фундаментальных проблем в различных областях астрономии. Отчасти это связано с высокой светимостью скоплений, позволяющей определять границы нашей и соседних галактик. Предполагают даже, что газовые облака, в которых зародились шаровые скопления, были теми «строительными блоками», из которых сформировались галактики. Кроме того, можно считать, что все звезды в каждом скоплении имеют примерно одинаковый возраст, поэтому их спектральные типы прямо указывают на то, как эти звезды эволюционируют и почему они различаются между собой по яркости и цвету. Наконец, шаровые скопления имеют отношение к эволюции Вселенной как целого. Они наиболее старые среди известных объектов и возникли, по-видимому, сразу же после Большого взрыва, поэтому их возраст накладывает строгое ограничение на космологические модели, а их химический состав дает представление о составе галактик на ранних стадиях эволюции.

Сейчас, когда каждое из направленных исследований — изучение структуры Галактики, классификация и теория эволюции звезд, а также космология — превратилось в самостоятельную дисциплину, исследование шаровых скоплений представляет не только узкоспециальный интерес, но и продолжает служить основой для

объединения астрономических проблем. Если бы астрономы смогли ответить на все вопросы, связанные с шаровыми скоплениями, они узнали бы о природе Вселенной значительно больше, чем знают сейчас.

Структура Галактики

В начале века считалось, что наша звездная система представляет собой диск диаметром 1000 пс, в центре которого находится Солнце [1 парсек (пс) = 3,260 св. года]. Эта гелиоцентрическая концепция подверглась сомнению в 1918 г., когда Х. Шэпли с помощью телескопов Обсерватории Маунт-Вилсон измерил расстояние до нескольких десятков шаровых скоплений. Он обнаружил, что скопления составляют обширную систему с центром, расположенным зади ярчайшего звездного облака Млечного Пути, в созвездии Стрелец, которое очень богато шаровыми скоплениями. Шэпли сделал, как он объяснял позже, «дерзкое и поспешное предположение, что шаровые скопления образуют своеобразный "костяк", центр которого совпадает с центром всей звездной системы». «Солнце, — утверждал он, — в действительности находится далеко от этого центра, почти на краю диска».

По существу, Шэпли открыл нашу Галактику. Ее размер, определенный по расположению шаровых скоплений, оказался значительно больше размера изученной до этого «местной системы» звезд. Существование «местной системы» вообще оказалось чисто иллюзорным, связанным с неполной прозрачностью космического пространства. В результате поглощения света межзвездной пылью звезды кажутся нам расположенными дальше, чем на самом деле. Если не учитывать межзвездное поглощение, то расстояние до звезд переоценивается, причем величина погрешности растет с увеличением истинного расстояния до звезды. Поэтому слабые далекие звезды кажутся значительно более рассеянными в пространстве, чем яркие, близкие звезды, а это при-

водит к фиктивному систематическому спаданию звездной плотности в любом направлении от Земли. Именно на этой зрительной иллюзии основывалась гелиоцентрическая концепция.

Любопытно, что Шэпли не учитывал межзвездного поглощения, но ему повезло: скопления наблюдаются достаточно далеко от поглощающего слоя пыли, которая в основном сосредоточена в тонком плоском галактическом диске. Тем не менее без учета поглощения Шэпли значительно переоценил расстояния до скоплений и, следовательно, размер галактического диска, для которого он получил радиус 50 000 пс. Эта ошибка была исправлена только в 1930 г., когда Р. Тремплер из Ликской обсерватории показал, что межзвездное поглощение имеет всеобщий характер. Сейчас радиус галактического диска принимается равным примерно 15 000 пс.

«Дерзкое предположение» Шэпли о том, что центр распределения шаровых скоплений отмечает положение центра Галактики, в наше время воспринимается как аксиома. Мощный источник радиоизлучения в Стрельце прямо указывает направление на центр, но точное значение расстояния от него до Солнца остается пока неопределенным. Астрономы до сих пор используют метод Шэпли и вычисляют это расстояние по расположению шаровых скоплений. У. Харрис из Университета Мак-Мастера (пров. Онтарио, Канада) в своем обзоре за 1976 г. дал значение 8500 пс. Однако недавно К. Френк из Суссекского университета и С. Уайт из Аризонского университета привели аргументы в пользу того, что расстояния до шаровых скоплений до сих пор преувеличивались и до центра Галактики всего лишь 6800 пс. Истинная величина, по-видимому, заключена между этими двумя значениями. Хотя применяются другие методы обнаружения центра Галактики (примерно с таким же результатом), изучение шаровых скоплений все еще дает надежду окончательно решить этот вопрос.

«Костяк», образованный шаровы-

ми скоплениями, является также хорошим «индикатором» формы нашей Галактики. Причина этого заключается в своеобразии звездного населения скоплений, которое Шэпли обнаружил при измерении яркости и цвета отдельных звезд. Он заметил, что распределение звезд в скоплениях на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла (где по вертикальной оси отложена звездная величина, или светимость звезды, а по горизонтальной — ее цвет) совершенно не похоже на распределение звезд в окрестности Солнца. Например, ярчайшие среди близких к нам звезд — голубые, а в шаровых скоплениях они красные.

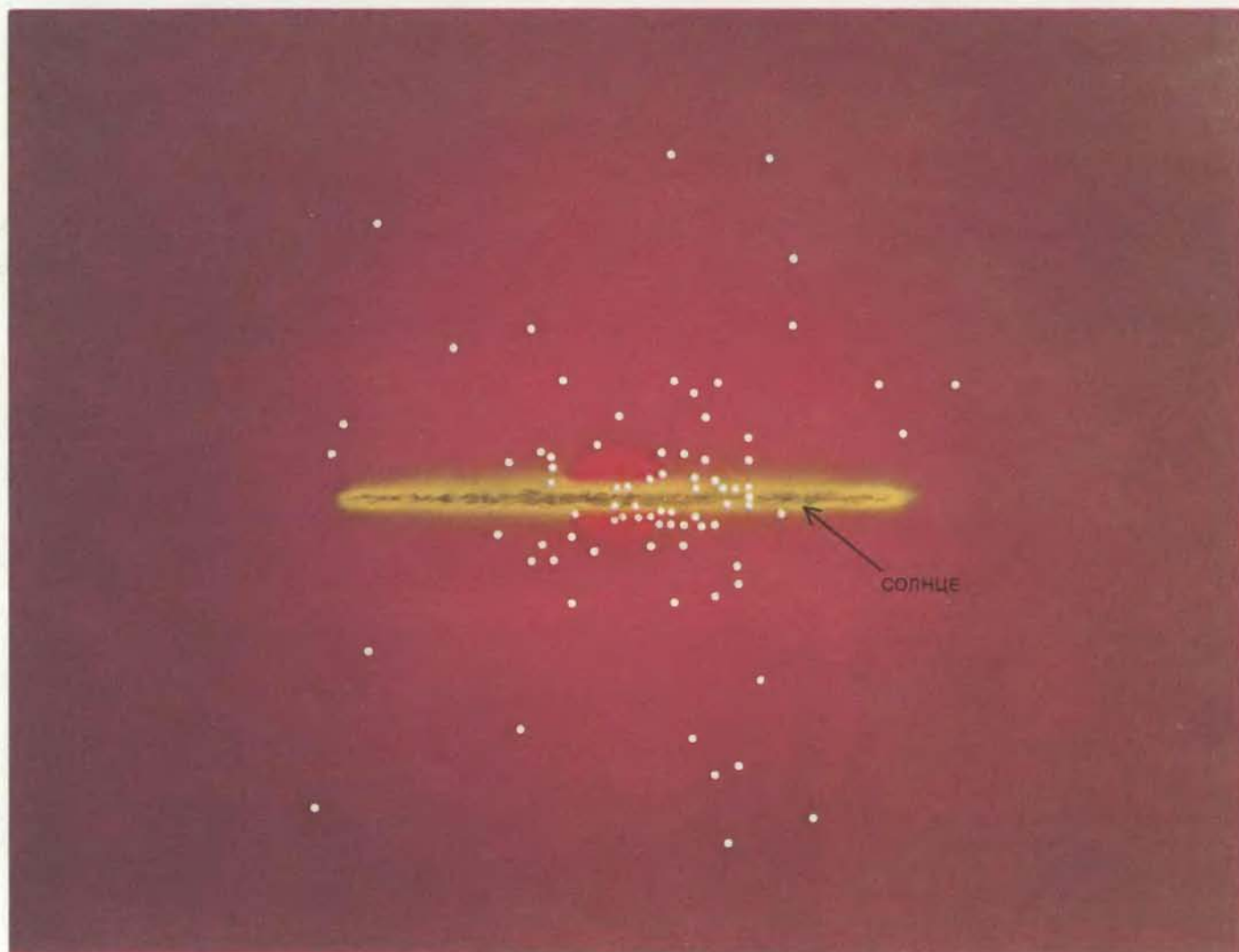
Звездные населения

Никто не мог объяснить этого любопытного факта до тех пор, пока в 1944 г. В. Бааде на Обсерватории

Маунт-Вилсон не обнаружил, что ярчайшие звезды в центральной части Туманности Андромеды также являются красными гигантами. Сделав такой важный шаг в развитии существующих представлений, Бааде предположил, что все звезды делятся на два совершенно различных «населения»: население I представлено звездами солнечных окрестностей и вообще звездами, населяющими диски нашей Галактики и других галактик; звезды населения II распределены в почти сферическом «гало», окружающем диск, и в отличие от звезд диска концентрируются к центру Галактики. А шаровые скопления — просто наиболее яркие и легко наблюдаемые группы звезд гало. Следовательно, их распределение в пространстве не только дает возможность обнаружить центр Галактики, но и позволяет оценить размер гало; теперь из-

вестно, что гало Галактики протянулось на 100 000 пс от центра.

В тот момент, когда Бааде выдвинул предположение о звездных населении, еще не были понятны физические причины различия в их диаграммах «цвет — звездная величина». Эти причины начали проясняться после второй мировой войны, когда в научных исследованиях стала широко применяться фотоэлектрическая фотометрия. Изучение звездных скоплений фотоэлектрическими методами позволило построить значительно более точные диаграммы «цвет — звездная величина». Для скопления, все звезды которого, по-видимому, сформировались примерно в одно время и в одном месте, диаграмма Герцшпрунга—Ресселла фактически показывает эволюционный путь звезд: звезды расходятся в верхней части диаграммы, поскольку более яркие и



ШАРОВЫЕ СКОПЛЕНИЯ помогают выявить структуру нашей Галактики. Известно около 125 скоплений (белые точки); здесь показаны те, положения которых надежно определены. Пыль может скрывать от наблюдателя многие объекты на дальней от Солнца стороне галактической плоскости. По распределению скоплений можно определить центр Галактики. Шаровые скопления — это группировки звезд населения II: звезд, принадлежащих галакти-

ческому гало (красный цвет), которое формировалось в процессе сжатия протогалактического газового облака вскоре после Большого взрыва. Молодые звезды спирального диска (желтый цвет), в котором до сих пор сохранился газ и происходит звездообразование, принадлежат населению I. Радиус диска примерно 15 000 пс; гало, возможно, протянулось вплоть до 100 000 пс от центра Галактики.

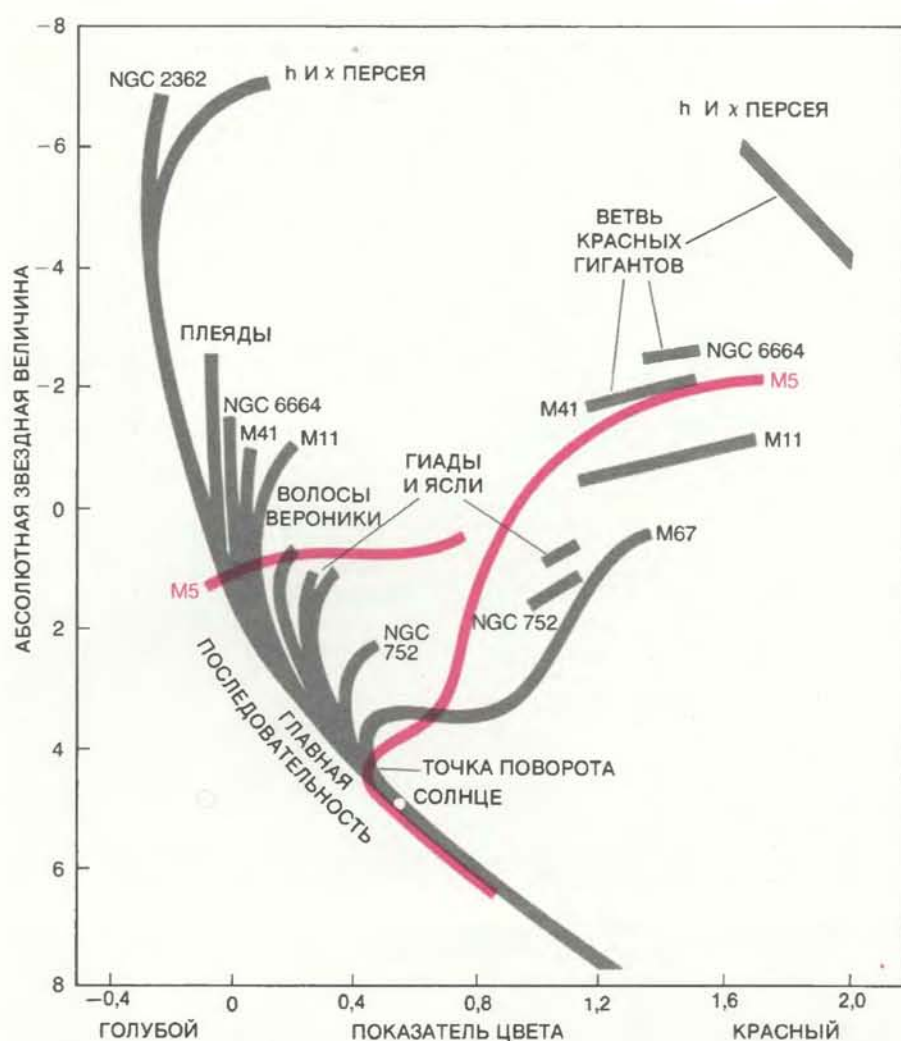
массивные из них эволюционируют быстрее. Большую часть жизни звезда находится на «главной последовательности» диаграммы; при этом излучается энергия термоядерного превращения водорода в гелий в ее ядре. Когда запас водорода в ядре исчерпывается, звезда «сходит» с главной последовательности и превращается в красный гигант.

Положение «точки поворота» указывает на возраст скопления: самые яркие звезды «уходят» первыми, поэтому со временем точка поворота движется вниз по главной последовательности в область менее ярких звезд. В начале 50-х годов многие исследователи определяли возраст как шаровых, так и «рассеянных» скоплений — значительно менее плотных группировок звезд населения I в галактическом диске. Эти исследования впервые указали на физическое различие между двумя звездными населением. Отдельные рассеянные скопления заметно различаются по возрасту, но все шаровые скопления оказались значительно старше их — они, по-видимому, наиболее старые объекты во Вселенной.

Дальнейшие исследования показали, что возраст не является единственной особенностью звезд населения II: они отличаются также по химическому составу. В середине 50-х годов Дж. Чемберлен из Чикагского университета и Л. Аллер из Мичиганского университета обнаружили, что определенные темные линии поглощения в спектрах звезд гало слабее, чем эти же линии в спектрах звезд населения I. Это указывало на пониженное содержание в звездах гало некоторых химических элементов, поглощающих излучение на данных длинах волн.

Элементы, о которых идет речь, астрономы обычно называют «тяжелыми» — это все присутствующие химические элементы, за исключением водорода и гелия. Рассчитывая первые эволюционные треки звезд для шаровых скоплений, Ф. Хойл (работавший тогда в Кембриджском университете) и М. Шварцшильд из Принстонского университета обнаружили, что наблюдаемые треки красных гигантов можно объяснить, если только предположить существование дефицита тяжелых элементов. Астрономы называют такие элементы «металлами», несмотря на то что в основном это кислород, углерод и азот. Таким образом, шаровые скопления кроме большого возраста выделяют «низкой металличностью».

Большинство астрономов сейчас считают, что шаровые скопления, как и звезды гало вообще, низкометалличны именно из-за их большого воз-



ДИАГРАММЫ ГЕРЦШПРУНГА — РЕССЕЛЛА (ГР) представляют распределение звезд в скоплении по их цвету и звездной величине. Для сравнения приведены ГР-диаграммы рассеянного скопления (серый цвет), расположенного в галактическом диске, и шарового скопления M5 (красный цвет), принадлежащего гало. В каждом скоплении звезды имеют одинаковый возраст, поэтому ГР-диаграмма отражает эволюционный путь звезд. Массивные яркие звезды (звездная величина которых отрицательна) эволюционируют быстрее, первыми «сходят» с главной последовательности и становятся красными гигантами. С увеличением возраста скопления точка поворота движется вниз по шкале звездных величин. Рассеянные скопления (население I) различаются по возрасту; одно из наиболее молодых — NGC 2362 — образовалось примерно 1 млн. лет назад. Шаровые скопления (население II), включая M 5, образовались по крайней мере 13 млрд. лет назад.

раста. Общепринято, что в процессе Большого взрыва, с которого началось расширение Вселенной, сформировались лишь водород и гелий. Ядра более тяжелых элементов образовались позднее в недрах звезд, где достаточно высокие температура и давление, затем в результате взрывов сверхновых они попали в космическое пространство; причем наиболее тяжелые элементы могли образоваться в процессе самих взрывов. Согласно этому сценарию, шаровые скопления и звезды гало образовались рано — еще в ту эпоху, когда содержание тяжелых элементов везде во Вселенной было низким. Затем протогалактические газовые облака сжимались, формируя диски нашей Галактики и дру-

гих подобных галактик. К этому времени в результате нуклеосинтеза в умирающих звездах гало содержание тяжелых элементов в газе увеличилось почти до современного уровня. Гало нашей Галактики, вероятно, служит хорошим «индикатором» ее размера в тот момент, когда начали формироваться звезды; в настоящее время звездообразование продолжается только в облаках газа, заполняющих тонкий диск Галактики.

Проблемы звездных населений

Приведенное выше объяснение различий между звездными населением кажется привлекательно простым,

однако в действительности все намного сложнее. Не все шаровые скопления одинаковы. Начнем с того, что, хотя все они бедны металлами, относительное обилие тяжелых элементов меняется от скопления к скоплению. Впервые это было замечено около 30 лет назад У. Морганом из Йеркской обсерватории, который обнаружил различие в интенсивности спектральных линий в скоплениях. К настоящему времени, детально проанализировав спектры отдельных звезд, астро-

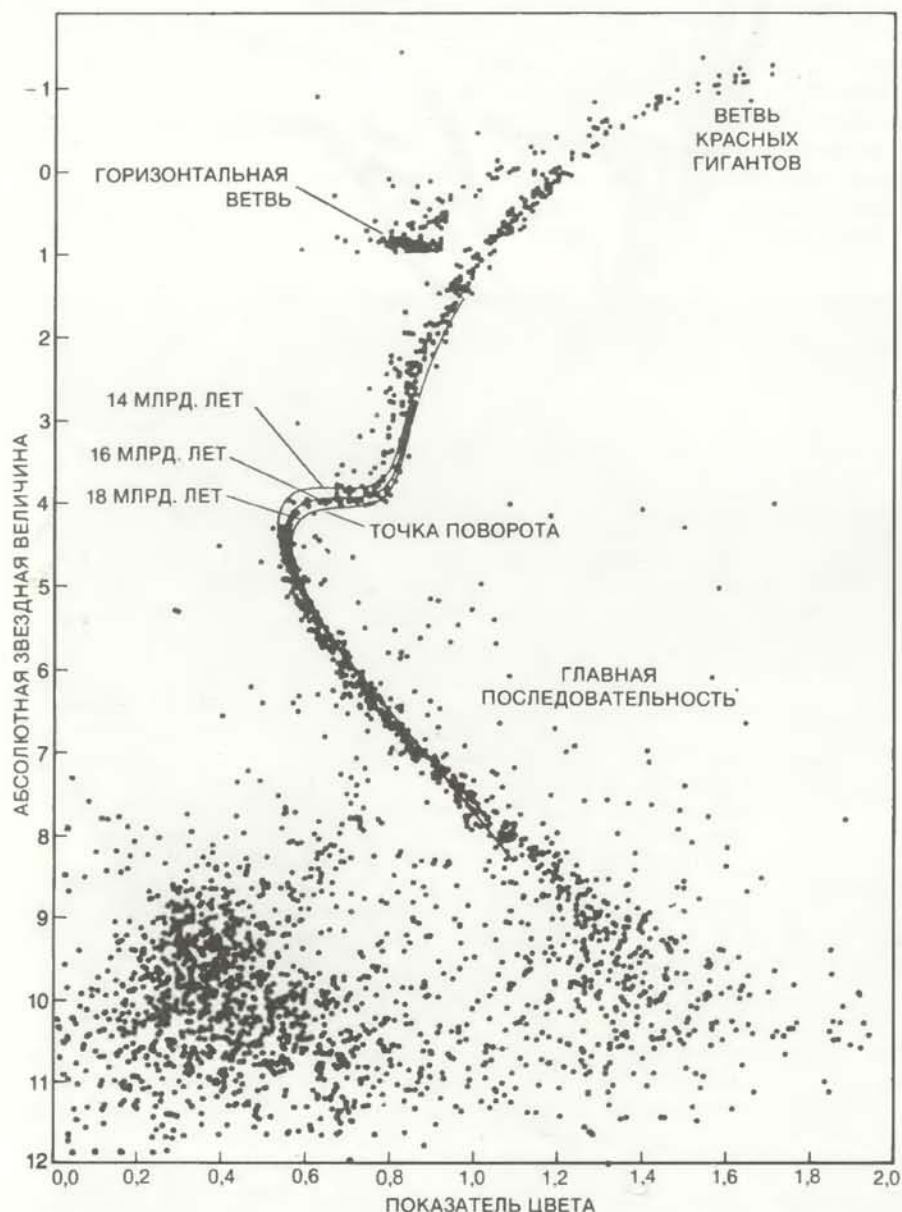
номы провели количественные измерения содержания тяжелых элементов. Эти исследования показали, что содержание металлов в звездах шаровых скоплений лежит в диапазоне примерно от 1/200 уровня, наблюдаемого на Солнце (типичная звезда населения I), до величины, лишь немного меньше солнечной. Верхний предел пока точно не определен — в основном потому, что спектры отдельных звезд в скоплениях очень слабы.

Некоторые звезды, обычно причис-

ляемые к населению гало, имеют такое же содержание металлов, как и Солнце. Переменные звезды типа RR Лиры (яркость которых меняется периодически) обычно наблюдаются в шаровых скоплениях и повсюду в гало Галактики. У некоторых из них спектральные линии тяжелых элементов такие же сильные, как у Солнца. Если на самом деле диапазон содержания металлов у звезд гало простирается вплоть до уровня, характерного для звезд диска, то четкое деление на два населения будет нарушено. Существуют, однако, два аргумента в пользу того, что звезды типа RR Лиры с сильными линиями металлов не являются настоящими звездами гало. Во-первых, в шаровых скоплениях до сих пор не были обнаружены такие звезды. А во-вторых, движение этих звезд вокруг галактического центра скорее напоминает движение звезд диска, чем звезд гало. Несмотря на их поразительное внешнее сходство со своими собратьями в шаровых скоплениях, звезды типа RR Лиры с сильными линиями металлов могут быть отнесены к отдельному типу звезд, возможно, промежуточному между населениями диска (I) и гало (II).

Во всяком случае, шаровые скопления значительно различаются по содержанию металлов. Служит ли это доказательством различия их возраста? Хотя мы уверены, что все шаровые скопления галактического гало старше большинства звезд диска, до сих пор не ясно, каков их точный возраст и занимал ли период их формирования заметную долю в ранней эволюции Галактики. Метод определения возраста скоплений в основном не изменился с тех пор, как был развит в 50-х годах, — его определяют по наилучшему совпадению моделей звездной эволюции с наблюдаемым распределением звезд скопления на диаграмме цвет — звездная величина; особенно важно добиться совпадения в окрестности точки поворота. Д. Ванденберг из Университета г. Виктория (пров. Британская Колумбия, Канада) недавно с поразительной тщательностью рассчитал серию эволюционных треков для большого числа шаровых скоплений. Он сделал вывод, что возраст всех шаровых скоплений близок к 16 млрд. лет, но даже эти вычисления содержат неопределенность величиной 3 млрд. лет.

Некоторые астрономы утверждают, что, каков бы ни был возраст шаровых скоплений, все они должны быть ровесниками, поскольку быстрое остывание вещества в формирующейся Галактике препятствовало длительному сохранению сферической формы газового гало. В соответствии с этим утверждением враща-



ВОЗРАСТ ШАРОВОГО СКОПЛЕНИЯ можно оценить, сравнивая теоретическую модель эволюции звезд с наблюдаемым их распределением на ГР-диаграмме. Распределение, вычисленное по эволюционным моделям, особенно положение точки поворота, очень чувствительно к сделанному при вычислениях предположению о возрасте скопления. Показана ГР-диаграмма гигантского шарового скопления 47 Тукана. Данные получены в основном Дж. Хессером из Астрофизической обсерватории Доминьон и У. Харрисом из Университета Мак-Мастера с помощью 4-метрового телескопа Межамериканской обсерватории Серро-Тололо (Чили). Теоретические модели (черные линии) рассчитаны Д. Ванденбергом из Университета г. Виктории. Наилучшее совпадение в точке поворота представлено моделью, соответствующей возрасту скопления 16 млрд. лет. Большинство звезд в нижней левой части диаграммы принадлежит Малому Магелланову Облаку — галактике, расположенной за скоплением 47 Тукана.

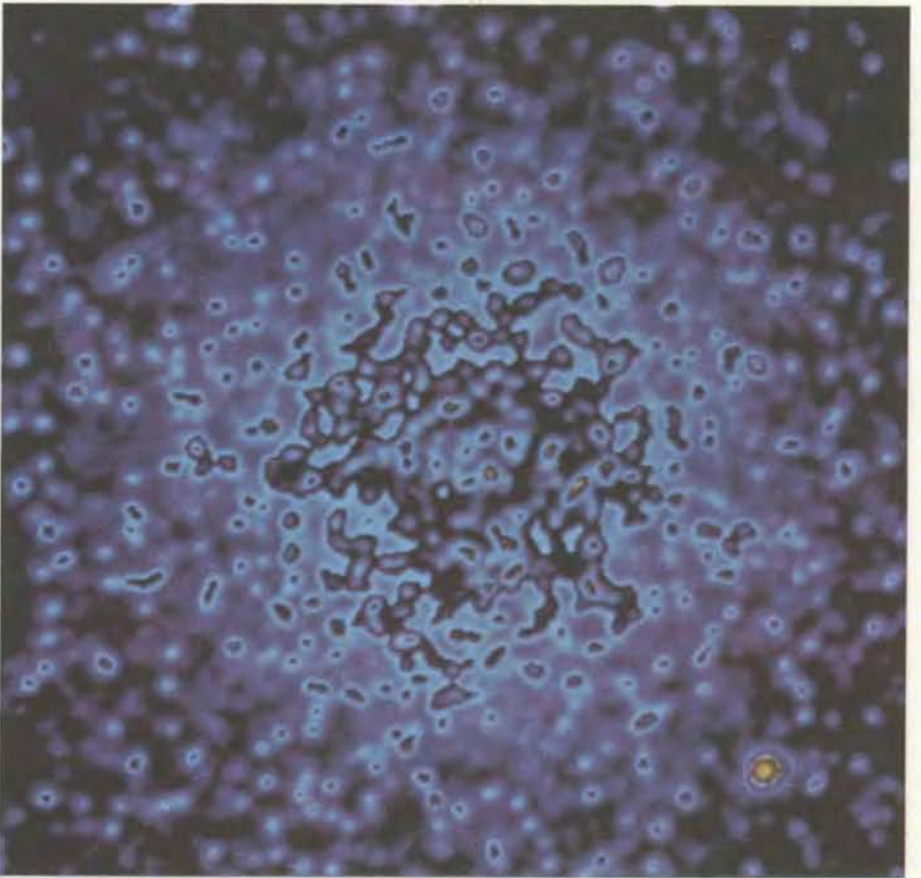
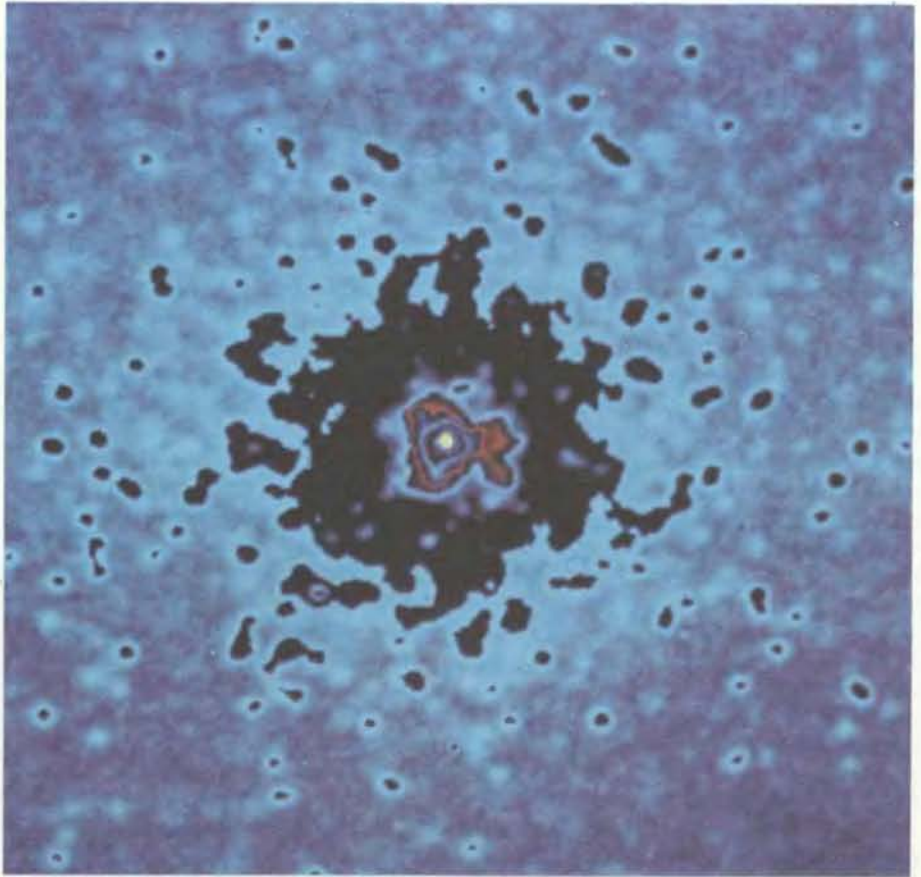
ющееся облако должно было быстро сжаться в тонкий диск, успев до этого породить шаровые скопления и прочие звезды гало. Широкий диапазон их «металличности» приписывается тому факту, что шаровые скопления формировались в различных местах облака, химический состав которого мог быть неоднородным.

Существуют, однако, указания на то, что шаровые скопления отличаются друг от друга не только содержанием тяжелых элементов: скопления с одинаковым содержанием металлов часто имеют заметно различающиеся диаграммы Гершпрунга—Ресселла. Например, «горизонтальная ветвь», которая в эволюционной последовательности следует за стадией красного гиганта, у одних скоплений содержит только голубые звезды, у других — только красные звезды, а у некоторых — и те и другие; следовательно, должен существовать какой-то второй переменный параметр, ответственный за эти различия. Некоторые исследователи считают, что это — возраст. Но различия могут быть связаны также с вариациями содержания гелия в скоплениях, с соотношением между отдельными тяжелыми элементами или даже со скоростью вращения звезд вокруг своей оси. В общем природа второго параметра до сих пор остается загадочной.

Космология

Еще большая загадка — как шаровые скопления приобрели тяжелые элементы, учитывая, что в процессе Большого взрыва образовались только водород и гелий. Наблюдаемое в скоплениях содержание металлов, хотя и малое по сравнению со звездами населения I, не так уж ничтожно. Повидимому, должно было существовать более раннее поколение звезд, в недрах которых были синтезированы те тяжелые элементы, которые мы сейчас обнаруживаем у звезд скоплений. Но пока нигде не найдены признаки этого первичного звездного населения, образовавшегося раньше, чем шаровые скопления.

Поскольку шаровые скопления галактического гало — наиболее старые из известных объектов, их возраст является нижней границей возраста самой Вселенной. Это ограничение на космологические теории имеет особое значение сейчас, когда наблюдательная космология сталкивается с большими трудностями. А. Сэндидж, работающий на Обсерваториях Маунт-Вилсон и Лас-Кампанас, однажды охарактеризовал космологию как «поиск двух чисел»: современной скорости расширения Вселенной и



КОЛЛАПС ЯДРА приводит к резкому увеличению звездной плотности в центре шарового скопления и появлению соответствующего пика в распределении яркости. Такой пик виден на созданной с помощью ЭВМ в искусственных цветах карте распределения яркости в скоплении NGC 6624 (вверху). На карте 47 Тукана (внизу) не заметно следов коллапса ядра, хотя яркость этого скопления также увеличивается по направлению к центру.

скорости, с которой это расширение замедляется. (То, что Вселенная действительно расширяется, доказывается красным смещением в спектрах далеких галактик, которое указывает, что они удаляются от нашей Галактики со скоростью, пропорциональной расстоянию до них.) Ни одно из этих чисел не получено из наблюдений с достаточной точностью. В принципе наиболее просто поддается определению современная скорость расширения, которую принято обозначать постоянной Хаббла, но и о ее значении постоянно ведутся споры, которые разделили сейчас всех космологов на два лагеря. Лидеры одного из них — М. Ааронсон из Аризонского университета и Дж. Малд из Калифорнийского технологического института получили значение постоянной Хаббла от 80 до 100 км/с на 1 млн. парсек (Мпс); а Сэндидж и его коллега Г. Тамман утверждают, что ее истинное значение почти вдвое меньше — примерно 55 км/с на 1 Мпс.

Величина постоянной Хаббла непосредственно связана с возрастом Вселенной, поскольку, экстраполируя скорость расширения «назад в прошлое», можно определить момент начала расширения. На самом деле очевидно, что взаимное гравитационное притяжение галактик замедляет расширение, которое в прошлом должно было происходить быстрее. Поэтому

возраст, полученный экстраполяцией постоянной Хаббла, — это верхний предел. Наибольшее из приведенных выше значений постоянной указывает на то, что возраст Вселенной не превышает 10—11 млрд. лет; это противоречит лучшим оценкам возраста шаровых скоплений, согласно которым он составляет 13 млрд. лет.

Если справедлива более низкая оценка постоянной Хаббла, полученная Сэндиджем и Тамманом, то Большой взрыв произошел около 20 млрд. лет назад. Однако многие космологи, опираясь на последние достижения физики элементарных частиц, считают сейчас, что второе космологическое число — скорость, с которой замедляется расширение, — достаточно велико (см. статью: Гут А. Г., Стейнхардт П. Дж. Раздувающаяся Вселенная, «В мире науки», 1984, № 7, с. 56—68). В этом случае даже меньшее из значений постоянной Хаббла приводит к возрасту Вселенной около 12—13 млрд. лет, который кажется неприемлемо малым по сравнению с возрастом шаровых скоплений. Пока неясно, как разрешить это противоречие.

Образование галактик

Шаровые скопления не только указывают возраст Вселенной, но и являются «свидетелями» формирования галактик. Вскоре после первичного

взрыва однородная разреженная среда из водорода и гелия начала сжиматься в гигантские облака. Размер этих облаков определялся балансом между силой тяжести, стремившейся сжать газ, и тепловым давлением, которое пыталось его рассеять. П. Пиблс и Р. Дикке из Принстонского университета высказали предположение, что догалактические облака, которые сформировались в большом количестве, по-видимому, имели размер шаровых скоплений. Эти облака постепенно собирались вместе под действием взаимного притяжения. Хотя большинство облаков слиплось в более крупные агрегаты, из которых сформировались галактики, некоторые из них избежали столкновений; но остались гравитационно связанными с массивными галактическими структурами. Согласно Пиблсу и Дикке, именно из таких облаков сформировались шаровые скопления галактического гало.

Если справедлив этот сценарий, то, вероятно, требуется несколько по-иному объяснять происхождение всех галактик, включая и нашу. Помимо немногим более 125 шаровых скоплений Галактики тысячи подобных скоплений обнаружены в других крупных галактиках. Большинство этих далеких скоплений имеют слишком низкую светимость и их изучение сейчас только начинается. Тем не менее уже найдены некоторые различия между галактиками. Например, все шаровые скопления Галактики старые, а молодые рассеянные скопления галактического диска значительно беднее их по числу звезд. В противоположность этому в Магеллановых Облаках содержатся молодые, богатые звездами агрегаты, очень напоминающие шаровые скопления (см. статью: Мэтьюс Д. Магеллановы Облака, «В мире науки», 1985, № 6, с. 58—68). Неясно, почему в Магеллановых Облаках — наших ближайших соседях — до сих пор формируются богатые скопления, в то время как в Галактике этого не происходит.

Непонятно также, почему эллиптические галактики имеют значительно больше шаровых скоплений на единицу массы, чем спиральные. Этот факт особенно важен по той причине, что он служит аргументом против популярной теории образования эллиптических галактик. А. Туумре из Массачусетского технологического института и некоторые другие исследователи считают, что эллиптические галактики сформировались в процессе столкновения и слипания спиральных галактик. Наиболее сильный аргумент против этой гипотезы — более высокая доля скоплений в эллиптических галактиках.



ШИРОКИЙ ДИАПАЗОН ХАРАКТЕРИСТИК шаровых скоплений иллюстрируется фотографией двух из них, которые случайно оказались расположенными примерно в одном направлении. Скопление М 53 (вверху справа) из созвездия Волосы Вероники — типичное богатое звездами скопление с высокой плотностью, которое надежно противостоит приливам. В противоположность этому NGC 5053 (внизу слева) — слабо связанное скопление, содержащее значительно меньше звезд.

Структура и динамика

Разгадка структуры самих шаровых скоплений не менее интересна, чем использование их для изучения структуры и происхождения галактик. Каким образом взаимодействие тысяч звезд приводит к столь простому и правильному их распределению в пространстве? Каждая звезда удерживается в скоплении общим гравитационным притяжением всех остальных звезд. Она движется от центра скопления к периферии и обратно по незамкнутой орбите, напоминающей лепестки цветка, с периодом порядка миллиона лет. В среднем в каждый момент половина звезд движется к центру скопления, а другая половина — наружу. Скорости звезд как раз таковы, что уравнивают притяжение к центру скопления. Говоря более строго, существует точное соответствие между распределением звездных скоростей и распределением звезд по радиусу, которое определяет профиль плотности скопления, а следовательно, и его гравитационное поле.

Возможно различное поведение этих двух сопряженных величин, но подобие структуры большинства шаровых скоплений свидетельствует о том, что лишь некоторые определенные распределения плотности и скорости предпочтительны. Появление таких «особых» распределений связано с характером взаимодействий звезд в скоплении. Хотя движение каждой звезды почти полностью управляется довольно гладким гравитационным полем всего звездного ансамбля, в тех редких случаях, когда две звезды проходят достаточно близко друг к другу, их взаимодействие происходит индивидуально. Обмен энергией, вызванный такими случайными звездными сближениями, приводит к установлению максвелловского распределения скоростей, названного так в честь английского физика Джеймса Клерка Максвелла, который вывел статистическую формулу, описывающую движение молекул в газе, во многом напоминающее хаотическое движение звезд в скоплении.

Но шаровые скопления не достигают полностью максвелловского распределения, которое в принципе должно содержать объекты со всевозможными скоростями. Причина этого состоит в том, что скопление имеет конечную скорость «отрыва»: звезды, получившие в результате взаимного сближения скорость больше некоторой критической величины, имеют достаточно энергии, чтобы «вырваться» из гравитационного поля скопления. Однако при значениях,

меньших критического, распределение звездных скоростей в скоплении приблизительно описывается формулой Максвелла и в свою очередь определяет радиальный профиль плотности.

Строение шаровых скоплений не бывает совершенно одинаковым. Два десятилетия назад я изучил многие из них и обнаружил, что структурные особенности можно однозначно описать тремя параметрами: радиусом центрального ядра, внешним радиусом и числом звезд. Наиболее сильно скопления различаются радиусом ядра, который определяется как расстояние, где звездная плотность падает до половины своего центрального значения. У некоторых скоплений ядра меньше и плотнее, чем у остальных. Такие скопления более устойчивы к приливам и соответственно имеют более высокую скорость отрыва, т.е. скорость, которую нужно сообщить звезде, чтобы она достигла внешнего радиуса скопления. В то время как граница ядра определяется только гравитационным потенциалом самого скопления, его внешний радиус обусловлен влиянием гравитационного поля Галактики. Обычно за внешний радиус принимается то минимальное расстояние от центра, на котором приливные силы галактического поля способны «отрывать» звезды от скопления.

Динамическая эволюция

Хотя шаровые скопления, бесспорно, являются «долгожителями», они не вечны. Медленно, но регулярно звезды достигают скорости «отрыва» и «вылетают» из скопления. Теория, правильно описывающая происходящую при этом эволюцию скопления, в принципе проста, но многие ее детали до сих пор остаются не ясными.

Энергия связи скопления по определению есть такая энергия, которую нужно сообщить всем звездам, чтобы разогнать их до скорости отрыва и тем самым разрушить скопление. Для достижения скорости отрыва звезда должна приобрести положительную кинетическую энергию, достаточную, чтобы преодолеть отрицательную гравитационную энергию скопления. Поэтому кинетическая энергия вылетающих звезд существенно больше средней, в то время как их вклад в гравитационную энергию скопления такой же, как и других звезд. В результате увеличивается энергия гравитационной связи каждой оставшейся звезды и скопление сжимается.

Согласно современной теории, скопление не достигает стационарного состояния. Напротив, энергия сжатия переходит в кинетическую энер-

гию движения звезд, приводя тем самым к «разогреву» ядра. Большинство звезд вылетает, а ядро продолжает безгранично сжиматься и разогреваться до тех пор, пока его плотность не станет бесконечно большой. Д. Линден-Белл из Кембриджского университета назвал это явление положительной обратной связи «гравитермической катастрофой».

Когда в 1960 г. М. Энон из Обсерватории в Нише впервые выдвинул эту теорию, наблюдений, подтверждающих ее, практически не было. Только у одного шарового скопления (M15) имелись некоторые признаки резкого пика плотности, который можно ожидать при коллапсе ядра. Однако недавно мой коллега С. Дьорговски и я провели тщательные наблюдения большого числа шаровых скоплений. Мы обнаружили по меньшей мере у шести скоплений центральные пики плотности, которые, как мы полагаем, указывают на коллапс их ядра. Однако теория эволюции скоплений предсказывает, что значительно большая часть древних шаровых скоплений галактического гало должна была уже пройти коллапс. (Различные аналитические и численные модели однозначно указывают на то, что, если коллапс ядра начался, он происходит так быстро, что вероятность обнаружить скопление как раз на этой стадии очень мала.) Почему же не наблюдается значительно большее число центральных пиков плотности?

Предсказанная временная шкала коллапса ядра может быть слишком коротка, и в действительности этот процесс происходит значительно медленнее. Но более вероятное объяснение заключается в том, что существует некоторый физический механизм, способный приостановить коллапс ядра и даже вызвать его последующее расширение до нормального размера.

Двойные звезды

Двойные звезды, т.е. пары звезд, гравитационно связанных друг с другом на замкнутой орбите, как раз могут быть основой такого механизма. Еще в 1959 г. численное моделирование, проведенное С. фон Хёрнером из Национальной радионастрономической обсерватории, показало, что двойные системы формируются в звездных скоплениях в результате случайного сближения трех звезд. В более поздних моделях С. Аарсета (Кембриджский университет) сжатие ядра останавливалось после образования в центре массивной двойной системы, сближение с которой «подталкивало» одиночные звезды, переводя их на более высокие орбиты.

Издательство МИР предлагает:

Л. Маргелис РОЛЬ СИМБИОЗА В ЭВОЛЮЦИИ КЛЕТКИ

Перевод с английского

Монография известного американского специалиста по происхождению жизни посвящена интересной проблеме — происхождению клеток эукариот в результате симбиоза. В монографии детально излагаются суть теории симбиоза и те фактические данные, на которых она основана, геологические и физические предпосылки возникновения жизни, ранние этапы формирования обмена веществ, история возникновения различных клеточных органелл.

Предназначена для эволюционистов, цитологов, молекулярных биологов, зоологов, ботаников, палеонтологов.

1983, 40 л. Цена 4р. 30к.

Дж. Симпсон ВЕЛИКОЛЕПНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ История млекопитающих Южной Америки

Перевод с английского

Книга известного американского ученого посвящена эволюции млекопитающих Южной Америки, развивавшихся в условиях изоляции на протяжении большей части кайнозойской эры. Рассмотрены общезволюционные аспекты — влияние изоляции, факторы биоценотических сукцессий, влияние животных-иммигрантов на перестройку флоры и фауны континента, явления параллельного и конвергентного развития.

Предназначена для зоологов, палеонтологов, биогеографов, а также биологов других специальностей.

1983, 16 л. Цена 1р. 50к.



Модели рассеянных скоплений Аарсета содержали не более 500 звезд; Л. Спитцер-младший и М. Харт из Принстонского университета показали впоследствии, что трехзвездные сближения значительно менее продуктивны для формирования двойных систем в шаровых скоплениях, которые обычно содержат 100 тыс. звезд или больше. Отчасти это объясняется тем, что скорости звезд в шаровых скоплениях заметно больше, чем в рассеянных. Однако, когда ядро шарового скопления сжимается, оно почти теряет связь с окружающей оболочкой. Поэтому оно содержит значительно меньше звезд, что улучшает условия для формирования двойных звезд. Кроме того, А. Фабиан, Дж. Прингл и М. Рисс из Кембриджского университета обнаружили, что двухзвездные сближения также приводят к формированию тесных двойных. Оба механизма или один из них могут иметь место в плотном ядре скопления, формируя двойные системы, необходимые для остановки коллапса.

В то же время ядро шарового скопления обычно достаточно мало и при современном уровне разрешающей способности телескопов, по-видимому, почти не отличимо от полностью сколлапсировавшего ядра, которое, вероятно, должно иметь центральный пик плотности такого типа, как наблюдали Дьорговски и я. Чтобы объяснить, почему эти пики не были обнаружены в случае других скоплений, мы должны предположить, что энергии, переданной двойными системами звездам сжимающегося ядра, хватило для остановки сжатия и последующего расширения ядра. Такая идея привлекательна, но пока ее нельзя считать надежно обоснованной.

К сожалению, центральные области шаровых скоплений настолько плотны, что нет никакой надежды непосредственно обнаружить там двойные звезды с помощью наземных телескопов. Но косвенным указанием на присутствие двойных является жесткое рентгеновское излучение некоторых скоплений. Одно время существовало мнение, что это рентгеновское излучение рождается в горячем веществе, сжатом мощным гравитационным полем черной дыры. Но в таком случае следовало бы ожидать обнаружения этого массивного объекта точно в центре скопления. Однако недавние исследования Дж. Гриндлэя и его сотрудников из Гарвардского университета показали, что рентгеновские источники в шаровых скоплениях находятся немного в стороне от центра. Поэтому сейчас считается более вероятным, что эти источники связаны с тесными двойными системами, в

которых вещество с поверхности нормальной расширяющейся звезды стягивается сильным гравитационным полем нейтронной звезды или белого карлика.

Почти все рентгеновские источники в шаровых скоплениях расположены в области плотного ядра, и поэтому обычно считают, что это те двойные системы, которые ответственны за предотвращение коллапса ядра. На самом деле нет причин предполагать, что двойные звезды, стабилизовавшие ядро, должны быть рентгеновскими двойными; и действительно, некоторые скопления со сколлапсировавшими ядрами, которые мы обнаружили, не содержат рентгеновских источников. С другой стороны, у некоторых известных рентгеновских скоплений отсутствуют признаки коллапса ядра. В плотных ядрах формирование двойных может происходить легче, поскольку в них звезды чаще сближаются.

Многие загадки центральных областей шаровых скоплений сможет раскрыть Космический телескоп (Space Telescope), который подготавливается к запуску в 1986 г. Наблюдения с поверхности Земли по разрешающей способности ограничены нестабильностью земной атмосферы. Орбитальный телескоп диаметром 2,4 м будет иметь разрешающую способность почти в 20 раз больше, чем у лучших наземных инструментов.

Сейчас, в период, предшествующий запуску Космического телескопа, в изучении движения индивидуальных звезд в скоплениях наблюдается бурный прогресс. С помощью новых цифровых спектрометров стало возможным измерять лучевые скорости звезд по доплеровскому смещению линий в их спектре. Этот метод более точен, чем грубое измерение угловых скоростей звезд по еле заметному их перемещению на фотографиях, разделенных по времени десятилетиями. Доплеровская методика как бы увеличила размерность наших знаний о структуре скоплений.

Как и любые работы в области астрономии, изучение шаровых скоплений сильно выигрывает от таких технических новинок. Для исследования скоплений имеет также большое значение связь различных научных направлений. В то же время для многих фундаментальных достижений в астрономии изучение шаровых скоплений явилось совершенно необходимым. Именно это уникальное положение больше, чем какие-либо конкретные успехи, позволяет исследователям шаровых скоплений с оптимизмом смотреть в будущее. Новые достижения ожидаются здесь практически во всех направлениях.

50 и 100 лет назад

SCIENTIFIC
AMERICAN

ИЮНЬ 1935 г. Большой интерес среди ученых вызвало открытие изотопа атома водорода — так называемого тяжелого водорода, или дейтерия — и успешные опыты по его отделению от обычного водорода. Определение структуры ядра атома водорода — одна из проблем, стоящих перед физиками. В общем мы имеем представление о внешних электронных оболочках атомов, однако структура миниатюрного «солнца» в этой «планетной системе» совершенно не изучена. Ядро дейтерия (дейтрон), несомненно, окажется ценным помощником в разгадке строения атомных ядер.

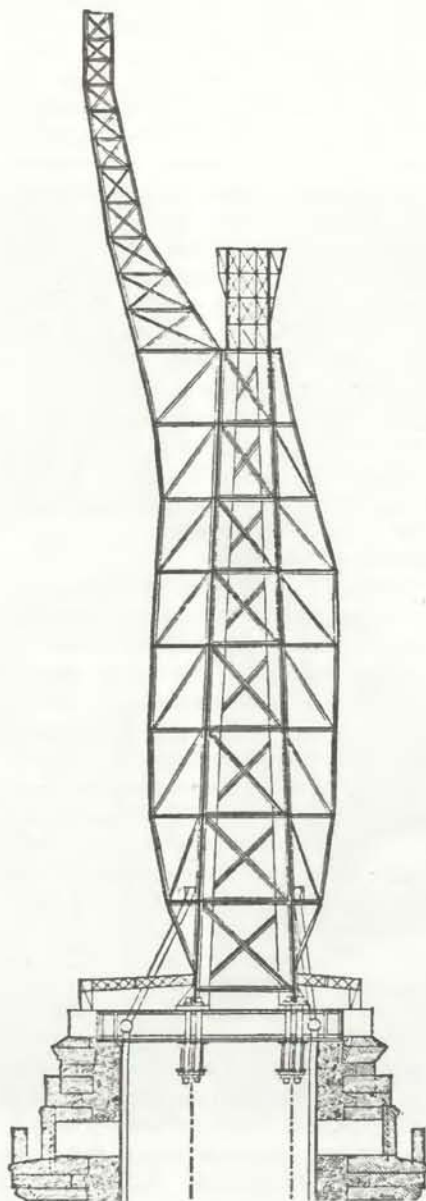
Не являются ли некоторые диффузные туманности, состоящие из сильно разреженного газа, остатками взрывов новых звезд (т.е. звезд, находящихся на завершающей стадии эволюции), подобно новой в созвездии Геркулеса. Г. Стрёмберг из Обсерватории Маунт-Вилсон считает, что Крабовидная туманность в созвездии Тельца относится именно к этому типу туманностей и что взрыв, как показывает анализ спектра излучения, произошел около 900 лет назад. Случайность ли это, что китайские астрономы 900 лет назад обнаружили новую звезду в том же месте небесного свода?

С тех пор как в плейстоценовых отложениях в Саффолке (Великобритания) были найдены кремневые орудия, прошло около 25 лет. В то время господствовало мнение, что первые люди появились гораздо позже плейстоцена. Поэтому находка в Саффолке послужила сигналом к началу яростной баталии в ученом мире, которая затихла только недавно. Большинство исследователей, изучавших найденные орудия, пришли к выводу, что они сделаны людьми. Такой вывод ознаменовал окончание первой стадии борьбы за то, чтобы признать более древнее происхождение человека.



ИЮНЬ 1885 г. Желание способствовать более тесному сближению французов и американцев побудило ряд выдающихся граждан Франции вы-

ступить с предложением о создании совместными усилиями монументального произведения искусства. Эта идея встретила самый благожелательный отклик в обеих странах. Практически законченная статуя Свободы, созданная по проекту знаменитого скульптора Огюста Фредерика Бартольди, была официально передана американскому посланнику в Париже 4 июля 1884 г. Недавно статуя была погружена на борт судна «Изер» в Руане. Судно отбыло в Нью-Йорк 20 мая этого года и утром 17 июня прибыло в порт назначения. Официальная церемония встречи состоялась 19 июня. Чудесная солнечная погода, оживленная толпа, развевающиеся флаги — все это создавало впечатляющую картину, которая надолго останется в памяти.



Каркас статуи Свободы

Издательство
МИР
предлагает:

Т. Браун, Г. Лемей
ХИМИЯ—В ЦЕНТРЕ НАУК

В двух частях
Перевод с английского

Продолжение серии учебных пособий, промежуточных между программами для высших и средних учебных заведений и заполняющих некоторый разрыв в химической литературе, образуемый школьными и вузовскими учебниками

1983, 75 л. Цена бр. 40к. за комплект



На выставке в Нью-Йоркском музее естественной истории недавно демонстрировалась коллекция, которая представляла почти все деревья, произрастающие в Соединенных Штатах. Было выставлено около 500 образцов древесины. Каждый образец представлял собой часть ствола длиной около 1,7 м и был обрезан таким образом, чтобы показать кору, а также продольную и поперечную структуру древесины. Эта ценная коллекция включает многие разнообразные, в том числе и редкие породы деревьев. Вряд ли кто-нибудь видел все эти деревья в совокупности в естественных условиях.

Фирма Бриннов в Пасси производит в большом количестве кислород из окиси бария. Окись бария прокаливают в двух больших ретортах, пропуская над ней струю воздуха. Предварительно воздух проходит через негашеную известь, которая поглощает угольную кислоту. Во время прокаливания температура не поднимается выше 500°C; при этом окись бария поглощает кислород, превращаясь в перекись. Остающийся азот направляется в газгольдеры, а затем используется для изготовления аммиака и других продуктов. После того как процесс поглощения кислорода окисью бария завершается, температуру повышают до 800°C; при этом перекись разлагается и выделяющийся кислород закачивается в газгольдер. Полученный таким способом кислород находит множество применений.

Первые организмы

Самые первые системы, способные эволюционировать под действием естественного отбора, видимо, были устроены иначе, чем современные организмы, и имели иной состав. Ими могли быть кристаллы глины

А. ДЖ. КЕРНС-СМИТ

ПРИ ВСЕМ разнообразии ныне существующих на Земле форм жизни у них есть общее: главные молекулярные механизмы у современных организмов, как было неоднократно показано, одни и те же. Установление этой общности биохимической организации — одно из крупнейших открытий за последние сто лет. Нет никакого сомнения, что оно проливает свет и на историю эволюции. Но, как мне кажется, при рассмотрении самых первых этапов эволюции концепция единства биохимической организации не приносит большой пользы.

Сказанное противоречит наиболее широко распространенной точке зрения относительно зарождения жизни. Принято считать, что до возникновения первых организмов, или, иными словами, до возникновения систем, способных к неопределенно долгой эволюции под действием естественного отбора, происходила иная, химическая эволюция, в ходе которой образовался некий набор молекул, своего рода универсальный конструктор, из которого «собраны» ныне существующие организмы. В этот набор входили аминокислоты, сахара и молекулы других типов.

Такая точка зрения имеет свои корни в исследованиях 20-х годов, когда советский биохимик А.И. Опарин и английский биолог Дж. Холдейн создали концепцию «первичного бульона», содержавшего органические молекулы, которые существовали в океанах до зарождения жизни на Земле. Предполагалось, что «бульон» образовался в результате геохимических процессов и воздействия различных энергетических процессов на атмосферу, которая в чем-то напоминала существующую сегодня на Юпитере — в ней преобладали неокисленные газы метан, аммиак и водород. Этому мнению относительно состава первичной атмосферы придерживался Г. Юри. В его пользу говорили результаты опытов С. Миллера (в ту пору студента в лаборатории Юри), которые он выполнил в начале 50-х годов. Через

смесь газов, которые предположительно входили в состав примитивной атмосферы, Миллер пропускал электрические разряды («молнии») и после этого обнаружил в ней водорастворимые молекулы органических веществ. Не менее 15% углерода, входившего первоначально в состав метана, превращалось в относительно небольшое число некрупных молекул, включая четыре из двадцати аминокислот, образующих белки — эффект весьма впечатляющий. Не менее убедительны результаты экспериментов Х. Оро, которые он провел в начале 60-х годов. Оро показал, что молекулы синильной кислоты HCN в одностадийной реакции могут конденсироваться с образованием аденина. Ранее Миллер продемонстрировал, что синильная кислота может образовываться в опытах с электрическими разрядами. При этом происходило образование малых молекул еще одного типа — формальдегида CH_2O ; а уже лет сто известно, что молекулы формальдегида также способны объединяться с образованием сахаров, таких, как рибоза, являющаяся одним из компонентов РНК.

Думалось, что формирование адекватного «конструктора для начинающих» в таких условиях было лишь вопросом времени. Замечание скептиков, что первичная атмосфера на Земле могла иметь иной состав, чем ныне на Юпитере (а сегодня так считают многие), не казалось существенным, поскольку эксперименты с искусственными атмосферами другого состава и при использовании иных источников энергии давали похожие смеси аминокислот.

И ВСЕ ЖЕ первоначальные предположения не нашли подтверждения. Экспериментальный подход, предложенный Миллером, не имел развития. В таких опытах при имитации условий, существовавших на ранних этапах развития Земли, даже простейшие молекулы образуются в очень небольших количествах. Дело осложняется и тем, что эти молекулы

составляют обычно лишь малую часть продуктов реакций. Трудно представить себе, как осуществлялись их отделение и очистка в ходе геохимических процессов, в которых обычно смеси органических веществ, напротив, становятся все более беспорядочными. Чем сложнее молекулы, тем более усугубляются эти противоречия. В частности, трудно представить себе чисто геохимическое образование нуклеотидов (мономеров ДНК и РНК). Во всяком случае, в имитационных экспериментах типа тех, что ставил Миллер, образование нуклеотидов до сих пор не наблюдалось.

Остается ли, несмотря на все сказанное, в пределах здравого смысла предположение, что конструктор должен был образоваться в самом начале? Действительно или ложно, что

1) самые главные молекулы жизни одинаковы у всех организмов, живущих сегодня на Земле;

2) по меньшей мере некоторые из этих молекул могли образоваться в условиях, характерных для ранних стадий истории Земли?

Я думаю, что эти утверждения уведут нас в сторону, а то, что их два, еще больше ухудшает дело.

Неправомомерность первого из них выявляется при анализе единства биохимии, когда мы вспоминаем, что для всех организмов общим является нечто большее, чем конструктор из малых молекул. Имеется система — общий план организации, который всегда одинаков. Взаимодействие механизмов в такой системе чрезвычайно сложное. Даже единичная молекула белка — это сложное образование, в котором специфически соединены тысячи атомов, а ведь для жизнедеятельности нужны сотни таких должным образом организованных молекул. Одно из звеньев, где потребность в белках выражена наиболее ярко (и где они должны быть наиболее «подогнаны»), — механизм биосинтеза белка. Этот типичный пример клубка проблем представляет другой аспект единства биохимии — тесную взаимосвязь всех компонентов жизнедеятельности.

тельности. Наконец, существует и произвольность в наших представлениях относительно некоторых свойств самого комплекса основных механизмов. Так, код для «перевода» текста РНК в последовательность белка, всюду практически одинаков, а набор аминокислот везде один и тот же. Трудно поверить, что был возможен только один работоспособный код или один набор аминокислот или что они были наилучшими для всех организмов при всех обстоятельствах.

Вне сомнения, наиболее правильно заключить из этого детального рассмотрения единства биохимии следующее:

1) все живое на Земле происходит от общего предка, 2) на эволюционном древе этот предок располагается достаточно высоко и 3) главная биохимическая система к этому времени уже сложилась. Тот факт, что она оставалась без изменений столь долго, определялся, без сомнения, взаимосвязанностью ее компонентов и сложностью. Это сложность того же типа, что и в инженерных разработ-

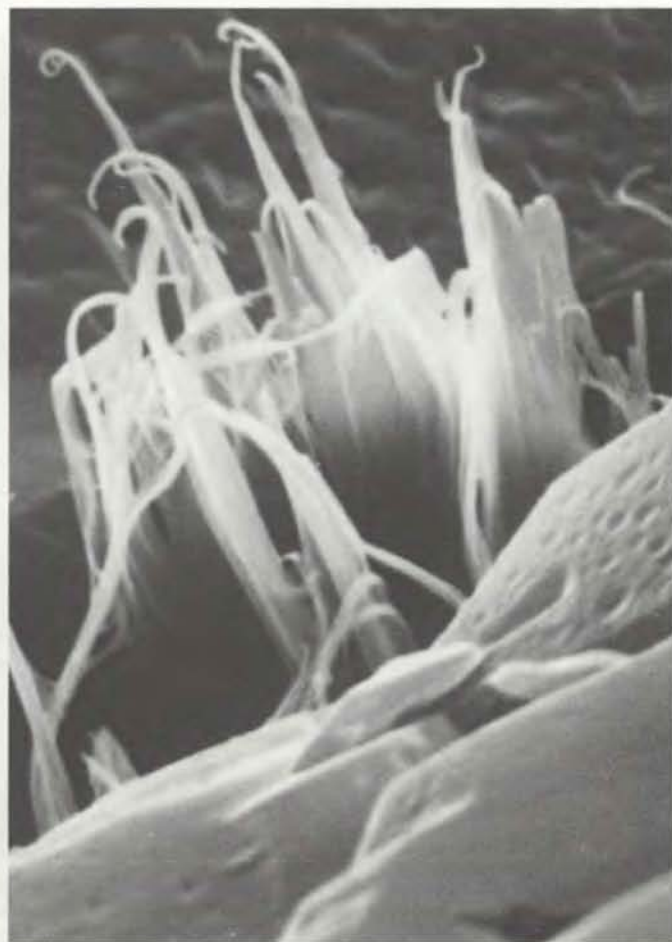
ках высшего уровня, когда многие тщательно отобранные компоненты настолько тесно взаимосвязаны, что ни один из них не может быть изменен. Такая «умная машина» могла быть лишь продуктом эволюции. В то же время далеко не ясно, сложился ли в результате эволюции и набор вошедших в ее состав компонентов. Итак, можно заключить, что единство биохимической организации сложилось не на начальных этапах эволюции, а гораздо позже.

Второй постулат из вышеприведенной пары можно перефразировать так: «некоторые из важнейших биохимических компонентов живого получить очень легко — и точка». На доказательство и дополнение его новыми данными были нацелены эксперименты, выполненные вслед за экспериментами Миллера. Действительно, оказалось, что ряд веществ, к числу которых принадлежат некоторые простейшие аминокислоты, легко получить в самых разнообразных условиях, а не только сходных с существовавшими на ранних этапах эволюции Земли. Это «и точка» в постулате

смазывает историческую перспективу, поскольку, приняв постулат, мы должны будем предполагать, что суть длительного эволюционного процесса заключалась в объединении компонентов, иные из которых было не слишком сложно соединить вместе и которые обладали достаточной стабильностью. Как и в случае первого постулата, все это мало говорит нам о событиях, происходивших у основания эволюционного древа.

Конечно, мы можем продолжать считать, что первые организмы были образованы из молекул тех же типов, что и современные, но такую точку зрения нужно рассматривать лишь как гипотезу, не имеющую подтверждений.

На самом деле имеется много оснований для сомнений. Прежде всего вспомним об исключительной сложности и взаимосвязанности основных биохимических процессов. Первые организмы не могли быть устроены таким образом. В них должны были действовать относительно простые «молекулярные машины», которые могли без особого труда вступать во



ГЛИНА КРИСТАЛЛИЗУЕТСЯ из слабых растворов, которые образуются при просачивании воды сквозь выветренные породы. Слева кристаллы галейзитовой глины, которые растут в воде, просачивающейся сквозь трещины в грани-

те (электронная микрофотография: увеличение $\times 3750$). Справа кристаллы иллита, растущие в порах песчаника (увеличение $\times 16\,000$). Процессы такого рода могли играть главенствующую роль при возникновении жизни.

взаимодействие и которые «работали» проще (выражаясь фигурально, это были копы, а не пулеметы). Здесь мы имеем дело с иным подходом к проблеме: он должен привести к мысли, что первые организмы имели другое строение, чем современные, и состояли из других веществ. Это справедливо и для вещей, сделанных человеком: для создания сложных и простых устройств нужны и разные материалы, и разные составные части. Не пытайтесь отыскать хоть одну костяшку от деревянных счетов в карманном компьютере (да и дерево вообще).

Можно усомниться поэтому, что аминокислоты, которые замечательно подходят для построения катали-

заторов, нужных для определенных процессов, были столь же хороши для образования их в самом начале. Задумайтесь вопросом, действительно ли аминокислоты или другие важнейшие компоненты современного нам живого вещества вообще участвовали в «старте» жизни.

ОЧЕВИДНО, что современные живые существа на всех уровнях их организации устроены очень сложно. Классическим примером сложного многокомпонентного устройства может служить глаз, который, для того чтобы вообще иметь практическую ценность, должен быть устроен именно так, как он устроен. «Как

может такой орган возникнуть за счет малых эволюционных изменений?» — спрашивают антидарвинисты, думая, что попали в цель. Пусть они успокоятся: здесь нет ничего парадоксального. Высокий уровень организации может возникать за счет постепенных эволюционных изменений.

Представьте себе простой аналог «парадоксальной» структуры — каменную арку. Как можно построить арку постепенно, камень за камнем? Ответ: ее нужно собирать на опоре. А для начала нужно собрать эту опору, в которой нет ничего парадоксального, причем собрать по кусочкам — элемент за элементом.

Я думаю, что именно таким путем и возникла известная нам, еще более удивительная, чем арка, биохимическая организация живого. Части ее, столь тесно пригнанные друг к другу сегодня, на первых порах опирались на что-то другое, устроенное более просто. Быть может, какие-то фрагменты древней опоры существуют и теперь, сама же опора разрушилась.

Что же дальше? Что мы можем сказать о том, чего уже нет?

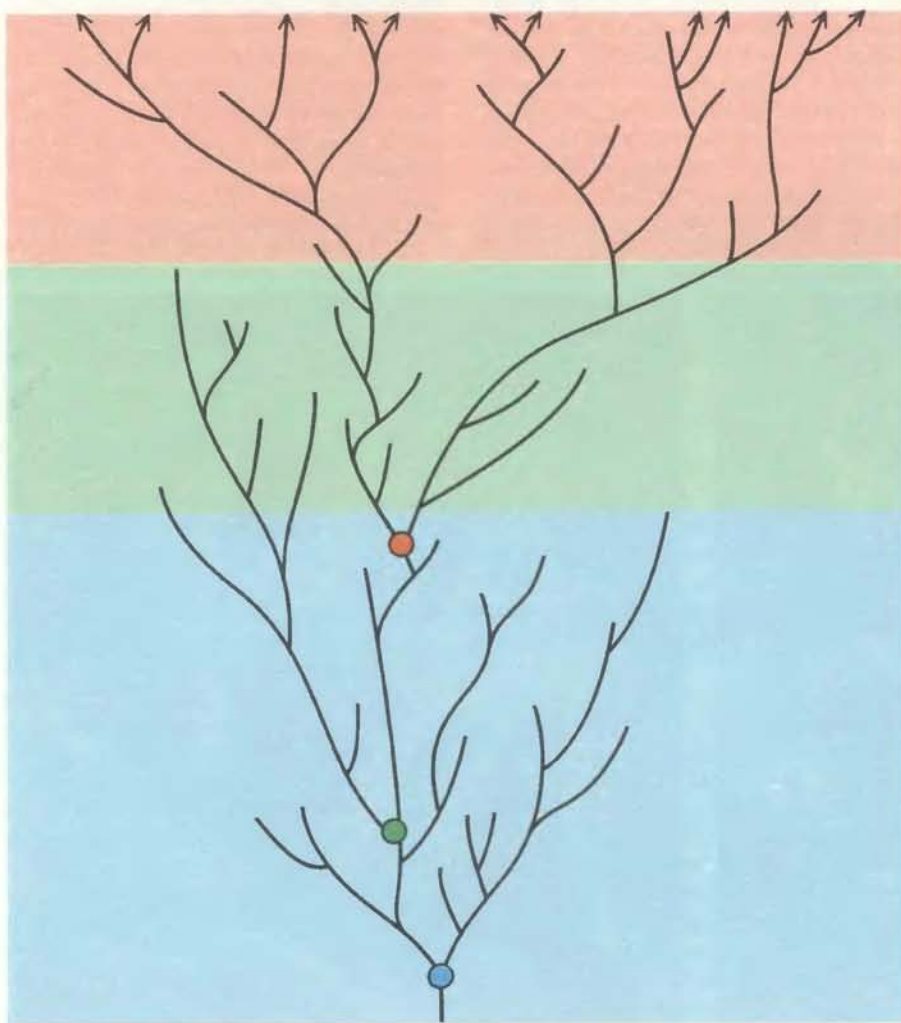
Задумайтесь иной вопрос: как узнать, каким оружием пользовались люди в древности, если не сохранилось никаких следов их деятельности? Вряд ли первым на ум придет пулемет, сделанный из камней и палок. Скорее вы попытаетесь представить наиболее простой путь, по которому могли пойти древние люди в создании оружия. При этом вы будете руководствоваться тем, что вы знаете о их потребностях, о технологии и доступных им материалах.

Рассуждая подобным образом, мы можем сказать о первых организмах следующее.

1. Они могли эволюционировать.
2. Они были просто организованы.
3. Они состояли из веществ геохимического происхождения.

Эти тезисы кажутся мне куда более правдоподобными, чем ранее рассмотренные, в них больше смысла и их стоит развивать.

За тезис 1 можно не беспокоиться, так как я определяю организмы как системы, способные эволюционировать. Однако нужно быть очень внимательным в отношении смысла термина «эволюционировать»; это в конечном счете приводит к весьма точному описанию класса систем, к которым относятся самые первые организмы. Один организм эволюционировать не может: на это способны лишь организмы, некая их последовательность. Но и этого недостаточно. Эволюционировать может то, что объединяет организмы в ряд сменяющихся поколений, что передается от



ГИПОТЕТИЧЕСКОЕ ЭВОЛЮЦИОННОЕ ДРЕВО: таким оно получилось в результате использования метода, согласно которому разветвление и вымирание отдельных ветвей происходят случайным образом. Оно очень схоже с другими древами такого рода тем, что все ныне существующие виды (показаны наверху стрелками) происходят из предковой точки ветвления, находящейся на некотором расстоянии от корня древа. (По мере роста древа такие точки ветвления могут переходить лишь на более высокий уровень.) Реально эволюция также идет путем ветвления и вымирания, поэтому неудивительно, что все организмы, существующие сегодня на Земле, вероятно, имеют относительно высоко развитого общего предка. Во всех ныне живущих организмах работает сложная молекулярная «машина», но из этого вовсе не следует, что такая же «машина» была характерна и для самых первых организмов.

одного их поколения к другому. Этим является не вещество, а генетическая информация, не субстанция, а форма.

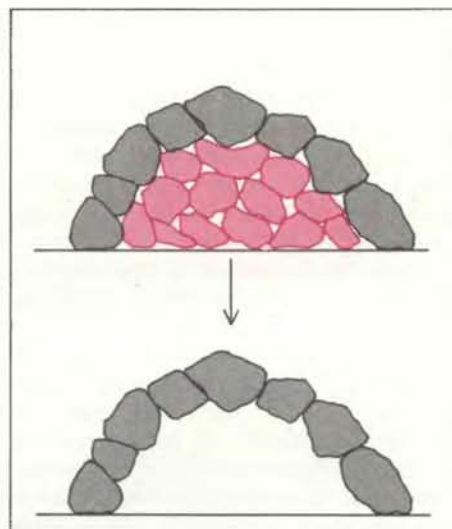
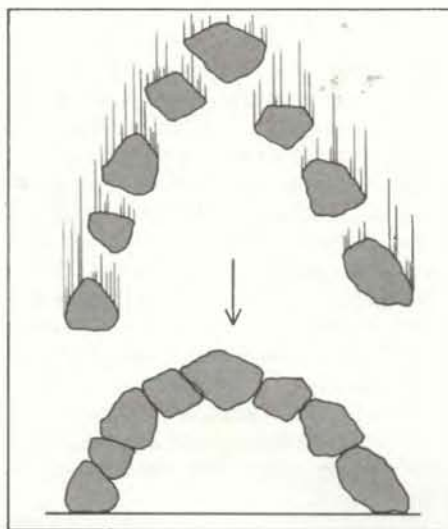
Очевидно, что генетическая информация должна храниться в каком-то материальном субстрате, в неких генах. И генетическая информация должна как-то проявляться (т.е. давать фенотип), что способствует ее сохранению и размножению. В этом, вероятно, принимают участие и другие вещества, но единственное, что сохраняется долго, — это сама информация. За время, необходимое для смены сотен поколений, каждый атом из того набора, который имелся у организма-основателя, будет заменен другим, исходное вещество исчезнет. Выживают только формы, измененные или неизменные. Такой ход вещей, такой способ существования форм во времени путем многократного копирования и составляет сущность эволюции.

Есть и другие условия, определяющие саму возможность эволюции. В генетической информации должны происходить случайные изменения — мутации, и эти изменения должны наследоваться потомками и приводить к появлению измененных фенотипов; поэтому должен иметь место отбор измененной генетической информации. Таким путем за много поколений осуществляется изменение линий развития, и генетическая информация видоизменяется таким образом, что образуются фенотипы, которые особенно приспособлены к определенным условиям среды.

Конечно, мы сказали об эволюции далеко не все, что можно, но уже вполне сделать одно важное заключение: каков бы ни был состав первых, простых организмов, которые мы пытаемся себе представить, они должны были содержать некое подобие генов.

ЧТО ЖЕ еще, кроме генов, нужно было иметь этим первым организмам? Ответ на этот вопрос дал в 1926 г. Г. Мёллер, и звучал он так: «Ничего». Даже то небольшое, что уже было известно и использовалось для объяснения свойств генов, оказалось в принципе достаточным для того, чтобы утверждать, что гены могут эволюционировать сами по себе. Мёллер пошел дальше. То, что первые организмы были просто генами, возможно не только теоретически — вероятно, они действительно представляли собой что-то в этом роде.

В первую очередь Мёллер подчеркивал, что иметь ген (или гены) было абсолютно необходимо. Предположим далее, что в первых организмах было и что-то еще. Для того чтобы



ВОЗНИКНОВЕНИЕ СИСТЕМЫ, использующей принцип кооперативности (например, арки из камней), можно представить себе как результат случайных маловероятных событий (слева). Гораздо разумнее ожидать, однако, что система возникла на некой «опоре», которая исчезла в прошлом и не доступна нашим наблюдениям (справа). Неорганические глины могли служить такого рода опорой — каркасом, на котором эволюция построила ныне существующую молекулярную машину.

эти организмы размножались, такие сопутствующие образования должны были либо синтезироваться заново, либо откуда-то поступать. Из чего следует, что для осуществления синтеза или приобретения требовалась дополнительная информация, которая должна была предсуществовать в генах. Конечно, лучше обходиться без «помощи» такого рода, а если уж прибегать к ней, то как можно реже.

Неоднократно высказывалось предположение, что в роли первичного вещества генов выступала РНК, хотя я считаю, что для этого она очень уж сложно устроена. И все же было показано, что молекулы РНК могут эволюционировать даже в пробирке. Важной особенностью РНК является то, что, хотя она, как и ДНК, несет генетическую информацию, способную к репликации, для того чтобы заключенная в РНК информация была эффективной, не обязателен процесс трансляции. Так же как и в случае белков, способ пространственного складывания цепей РНК может определяться содержащейся в ней наследственной информацией. Эти экспериментальные результаты очень интересны, но говорят ли они нам что-нибудь о ранних этапах эволюции? Фермент, который был использован в опытах с РНК, слишком сложно устроен, чтобы его можно было считать продуктом геохимических процессов, проходивших на ранних этапах эволюции Земли. Если бы даже для этой цели оказались пригодными более просто устроенные

катализаторы, то на пути встала бы новая сложность: для репликации РНК нужны особые, макроэргические (богатые энергией) формы нуклеотидов.

В любом случае наш второй тезис побуждает мыслить в строго определенном направлении: ясно, что при попытке очертить особенности строения первых организмов вряд ли стоит использовать какие-то усеченные модели современной жизни. Поскольку первые организмы были просто устроены, они должны были быть и иначе устроены, и могли включать в свой состав совсем иные вещества. Возможно, в частности, что строение генетического материала, позволявшее обходиться без вспомогательных структур, отличалось от того его строения, которое стало возможным при возникновении таких сопутствующих структур в ходе эволюции.

Не так уж трудно представить себе эволюционный процесс, в результате которого первичный, геохимический генетический материал был постепенно замещен совсем другим материалом — органохимической природы. Я называю этот процесс генетическим захватом (см. рисунок на с. 52).

Если на ранних этапах эволюции центральной биохимической контролирующей машины действительно происходил генетический захват (или захваты), то вряд ли можно ожидать, что компоненты первичного генетического материала сохранились в современном молекулярном конструкторе. На первый взгляд это соображе-

ние подрывает гипотезу генетического захвата. Но у последней есть и достоинства: если следовать такой модели, открывается возможность использовать совершенно новые представления, предлагаемые химией. Наш третий тезис концентрирует внимание на мире минералов; при этом мы не оставляем в стороне основные соображения о том, каковы должны быть самые общие свойства генетического материала.

Вот что говорил Мёллер о природе генетического материала четверть века назад, еще до того, как стала известна роль ДНК: «В роли вещества генов может выступать любое соединение, которое в определенных условиях (в протоплазме или где-то еще) способно самовоспроизводиться с сохранением специфического состава и которое, кроме того, периодически изменяется — мутирует — и тем не менее сохраняет способность к самовоспроизведению во всем разнообразии своих форм».

Вывод о том, что в процессе репликации генов должны фигурировать какие-то матрицы, следует из этого высказывания со всей очевидностью. Трудно не увидеть в «специфическом составе» (генетической информации) некую специфическую пространственную организацию (паттерны), которая копируется за счет специфического расположения и связывания воедино контактирующих с нею мономеров. (Именно так обстоит дело при репликации ДНК и РНК.) Если матричный синтез представляется и не

единственно возможным путем репликации сложных, мутабельных структур, то он во всяком случае принадлежит к числу простейших и наиболее прямых.

Теперь нам стоит поразмыслить о генетическом материале, составные части (момеры) которого устроены проще, чем у ДНК. Нам нужно представить такой тип мономеров, которые могли бы образовываться на Земле с легкостью и постоянно в течение длительного времени. Специфических помощников — ферментов — тогда не было: компоненты первичного генетического материала должны были в той или иной мере обходиться самосборкой.

Теперь мы рассмотрим еще один тезис:

4. Гены должны включать большое число атомов.

Ген никогда не мог быть малочисленным объединением атомов, так как должен был содержать информацию в количестве выше среднего уровня, что позволяло ему эволюционировать. Более того, гены должны были представлять собой хорошо упорядоченные образования.

Не были ли первые вещества наследственности кристаллами? Ведь кристаллы — это наиболее часто встречающиеся образования, способные к самосборке. Аналогия между процессом кристаллизации и основными процессами жизнедеятельности проводилась неоднократно, но в конечном счете от нее отказывались как от слишком приблизительной. (Дж. Бернал

пошел еще дальше: по его мнению, «кристаллизация — это смерть».)

На мой взгляд, возражения такого типа скрывают еще два ложных постулата:

3) структуры кристаллов слишком однообразны;

4) для живого лучше всего подходит углерод.

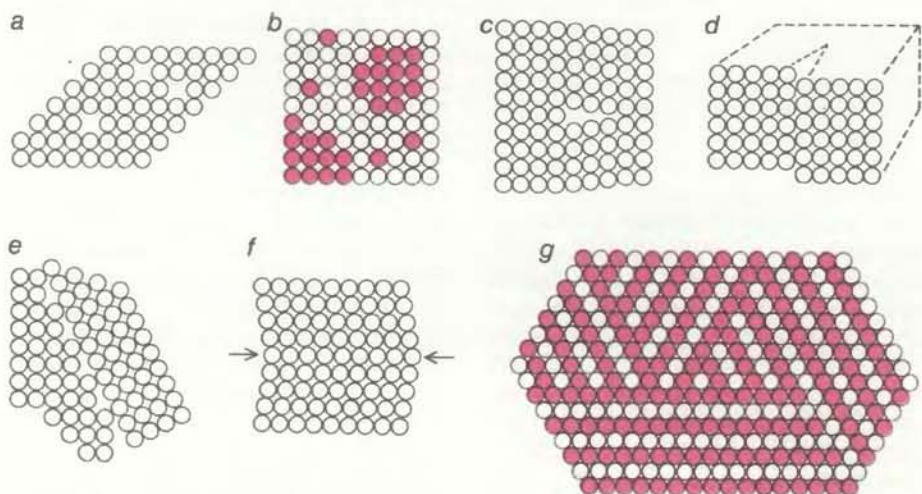
Первый из них не может рассматриваться всерьез, потому что корни его лежат в представлении о существовании идеальных кристаллов, которых на самом деле не бывает. Верно то, что у кристаллов есть основной тип строения, для которого характерна высокая периодичность, но в каждом реальном кристалле эта структура имеет дефекты. Даже сама конечность объекта (то, что он имеет форму и размер) — это уже «дефект», хотя, почти наверняка, найдутся и многие другие такие особенности. Некоторые структурные блоки могут отсутствовать или замещаться другими; образно говоря, большие или меньшие «куски обоев» могут быть смещены относительно друг друга в той или иной степени. Некоторые из таких нарушений могут быть весьма незначительными. Все это делает реальные кристаллы потенциально высокоинформационными.

Можно ли представить себе какие-либо структуры с дефектами, которые бы реплицировались в процессе роста кристалла? Ответ будет положительным. Это может происходить в кристаллах нескольких типов, обладающих подходящей комбинацией особенностей структуры, закономерностей роста и свойств спайности.

Остается разобраться с последним тезисом. Здесь мы опять-таки имеем дело не с истиной, а с предположением. Можно согласиться, что молекулы органических соединений — это наилучшие вещества для жизни. Но наилучшим, надо думать, является то, к чему эволюция пришла; начиналась же она, как мы вправе предположить, с наиболее доступного. Наиболее же доступная форма самосборки — это спонтанная кристаллизация простых, распространенных мономеров. Все эти рассуждения приводят к глине.

ВОКРУГ нас постоянно происходит процесс кристаллизации минералов глины из слабых растворов кремниевой кислоты и гидратированных ионов металлов, которые образуются при выветривании горных пород. В целом поверхность Земли можно уподобить гигантской фабрике по производству минералов глины.

Движущих сил здесь две. Во-первых, имеется геологический цикл, существующий за счет энергии радио-



ДЕФЕКТЫ В КРИСТАЛЛАХ могут приводить к образованию множества стабильных альтернативных конфигураций, что является необходимым условием для хранения информации. На рисунке показаны наиболее обычные дефекты кристаллов: незанятые места в решетке (а), замещение отдельных элементов или доменов (b), краевые дислокации (c), вращательные дислокации (d) и зернистые границы между решетками (e). В двойниковых кристаллах (f) по-разному ориентированные их части имеют общую плоскость взаимодействующих составляющих (стрелки). В некоторых кристаллах (g) большие домены имеют один и тот же состав, но различаются упаковкой составляющих их элементов.

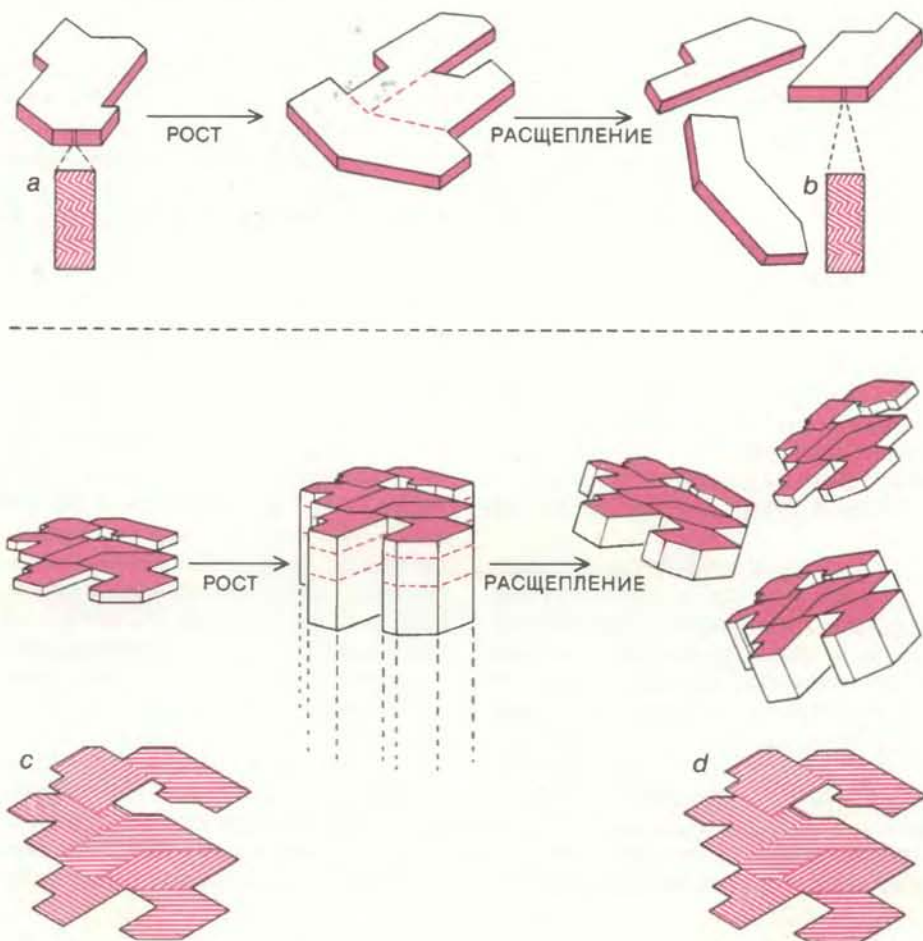
активного распада, разогревающей недр. Этот цикл включает целый ряд процессов, в которых происходит захоронение осадочных пород, их преобразование при высоких температурах, погружение в более глубокие горизонты и наконец выход видоизмененных пород обратно на поверхность. В этих условиях они оказываются не полностью стабильными и с легкостью растворяются водой с образованием простейших составляющих — кремниевой кислоты и ионов металлов, которые могут кристаллизоваться, образуя совсем новые вещества — разнообразные минералы глины. В конце концов эти минералы в более или менее измененном состоянии вновь попадают в осадочные породы и опять подвергаются захоронению. За счет второго цикла обеспечивается поступление воды. Этот цикл зависит от Солнца: вода испаряется из морей, возникают облака, идут дожди, образуются грунтовые воды, ручьи и реки, а завершается все опять в морях.

Конечно, условия на Земле во время зарождения на ней жизни были иные. Из того, что мы знаем, впрочем, следует, что эти отличия не так уж велики. Метаморфизированные осадочные породы принадлежат к числу древнейших; это позволяет предположить, что климатический цикл действовал уже 3,8 млрд. лет назад. Вполне вероятно, что жизнь древнее таких пород. Возможно, она возникла в условиях, когда глины еще не могли формироваться, но для этой гипотезы нет особых оснований.

Не менее вероятно, что примитивные гены представляли собой микрокристаллические минералы, отличные от слоистых силикатов, т.е. «глин» в более широком понимании этого слова. Тем не менее я буду рассматривать именно обычные минералы глины.

ОДНО из следствий принятой мною линии рассуждений таково: простейший генетический материал (или что-то подобное ему) должен и сегодня образовываться на Земле. Как приступить к поиску этого материала? Из абстрактных описаний генетических кристаллов разных типов и из того, что мы знаем о минералах глины, мы можем составить представление о том, как они должны выглядеть, и заняться поисками реальных глины, которые соответствуют этим представлениям.

Рассмотрим вначале одномерный ген. Он должен быть обычным для глины, которые, по-разному сочетаясь, могут давать различные слоистые структуры. Возможна ситуация, когда слои одного типа наложены



КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ГЕНЫ должны были обладать правильной комбинацией структурных и ростовых признаков и признаков делимости. Информация могла храниться в одномерных или двумерных кристаллических генах. В случае одномерного гена (вверху) она содержалась в детальной структуре ряда взаимодействующих слоев (выделено цветом), которая сохранялась при репликации генов (a, b). Рост происходил только по окрашенным граням, а разделение шло только в параллельном им направлении. Физические свойства слоев, несущих информацию, могли быть различными (например, это могли быть по-разному уложенные кристаллические структуры); то же касается их химического состава. В двумерных кристаллических генах (внизу) информация могла храниться в форме специфической пространственной организации (в отношении и физических, и химических свойств) на грани кристалла (показано цветом). Эта организация сохранялась при репликации гена (c, d) за счет роста на окрашенной грани и при его расщеплении по плоскости, параллельной этой грани.

друг на друга различным образом или когда имеется последовательность слоев разных типов. Если вспомнить, что кристаллит глины, даже построенный из нескольких слоев, может быть весьма гибким и что одномерный кристаллический ген способен расти только в стороны, на ум легко придет некая структура, образованная определенным образом свернутыми (а может быть, и разветвленными) мембранами или лентами постоянной толщины. Существует множество глины с нерегулярной упаковкой слоев, которые весьма схожи с этим описанием.

Конечно, во всем сказанном содержится лишь намек на истину. (Но как был бы интересен такой ген, способный неограниченно распространять

содержащуюся в нем информацию без деления!) Рассмотрим теперь еще одну глину особого строения, которая может быть примером двумерного гена.

С. Бейли и К. Мэнсфилд, сотрудники Висконсинского университета в Мадисоне, провели рентгеноструктурный анализ крупных кристаллов вермиформного (червеобразного) каолинита и обнаружили в них интересные дефекты структуры. Отдельные слои каолинита представляют собой мозаично расположенные небольшие домены, составляющие в целом весьма прихотливый рисунок. В каждом домене все атомы алюминия имеют одну из трех возможных ориентаций. В таких структурах может храниться очень много информации, и эта ин-

формация может быть реплицирована при условии, что во вновь образующемся слое ориентация атомов алюминия будет зависеть от их ориентации в том слое, на котором он формируется. В идеальных кристаллах каолинита ориентация атомов алюминия в слоях сохраняется, но в реальных кристаллах нередко «ошибки».

Сходный тип организации, видимо, присущ индивидуальным слоям типичных червеобразных кристаллов: для некоторых из них характерна сложная, но неизменная организация поперечного сечения. Как эти особенности строения, так и наличие глубоких борозд на поверхности говорят о доменной структуре (см. рисунок на с. 50).

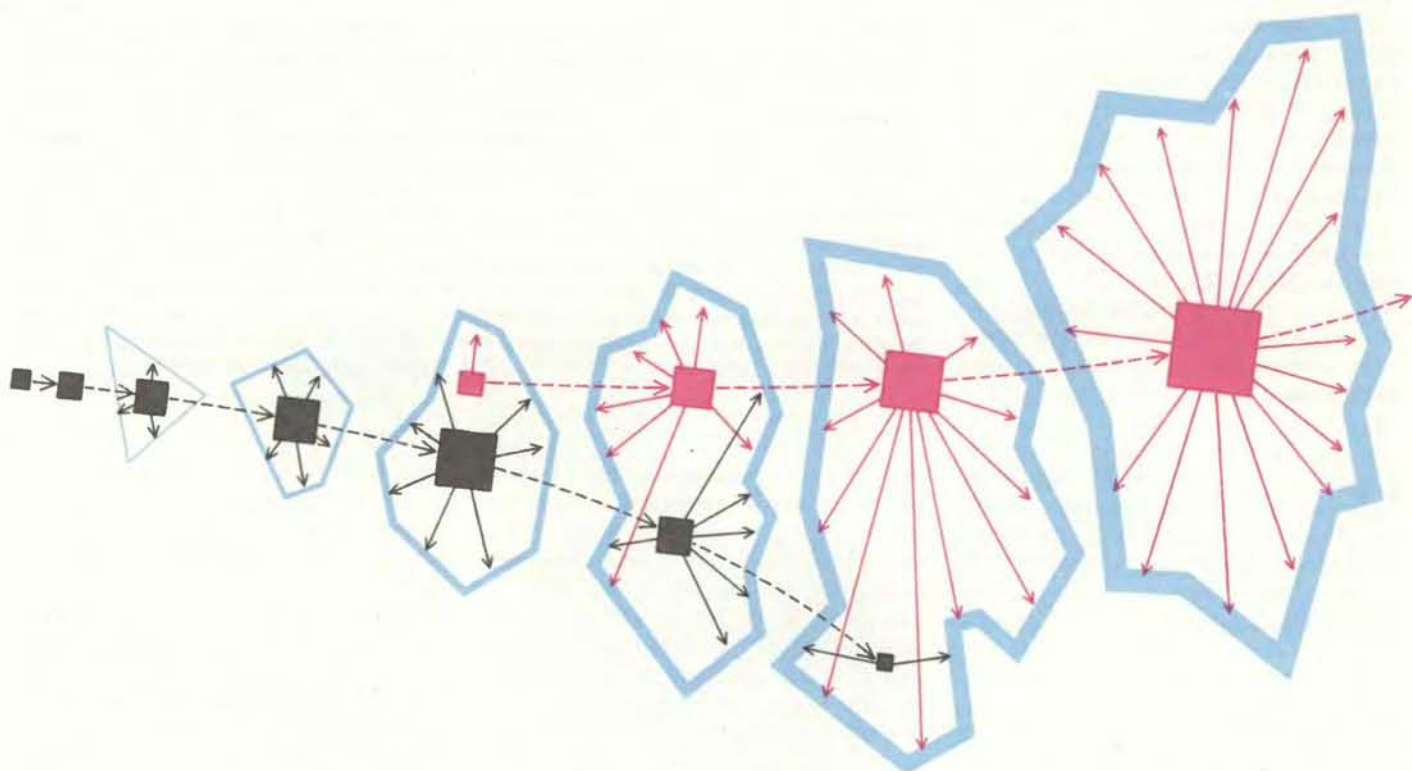
Сказанное подтверждают результаты экспериментов А. Вейса из Мюнхенского университета, который исследовал рост кристаллов смектита. Вейс указывает, что новые слои, образующиеся в промежутках между предсуществовавшими слоями кристаллов, получают от них информацию: речь идет о распределении плотности отрицательных зарядов, появляющихся при замещении атомов на алюминий в кремний-кислородной сети.

Конечно, нужно проводить новые наблюдения и ставить опыты, чтобы обосновать правомерность главного вопроса: существуют ли минеральные, кристаллические гены? Сегодня на этот вопрос я могу ответить лишь так: «Быть может, существуют» — и перейти к другому вопросу: могли ли такие гены эволюционировать? На этот вопрос, как мне кажется, можно ответить так: «Да; маловероятно, что они не эволюционировали».

РАССМОТРИМ обычные микроусловия формирования глин — пористую структуру песчаника. Растворы, содержащие продукты выветривания, просачиваются сквозь него, и в порах происходит кристаллизация двумерно реплицирующихся глин. Процесс может одновременно происходить в ряде участков, и в каждом из них будут находиться миллионы кристаллов с определенными дефектами структуры. В каких-то из этих участков кристаллы могут иметь такие форму и размеры, что они будут близко прилегать друг к другу и образовывать водонепроницаемый заслон. Движение растворов в таких участках нарушится и кристаллы в них пере-

станут расти. В других участках небольшие, рыхло расположенные кристаллы не будут мешать протеканию растворов, но при дожде такие структуры будут легко вымываться, так что в этом тоже мало хорошего. Наконец, в участках третьего типа кристаллы могут иметь такую форму, что они закрепятся в углублениях стенок пор; такие кристаллы и останутся на месте, не препятствуя протеканию питающих растворов. Возможны и участки, где реплицируются относительно длинные кристаллы, которые ввиду ограниченности пространства соединятся друг с другом и образуют довольно рыхлую структуру — это еще один путь сохранения постоянной локализации при поддержании потока питающих растворов.

Даже в таких относительно простых условиях могут проявляться весьма тонко действующие силы отбора — некие факторы, обуславливающие причины преимущественного развития определенных структур с дефектами (в данном случае имеются в виду главным образом их форма и размеры). В результате мутаций появятся варианты таких структур; по этой причине в разных частях расту-



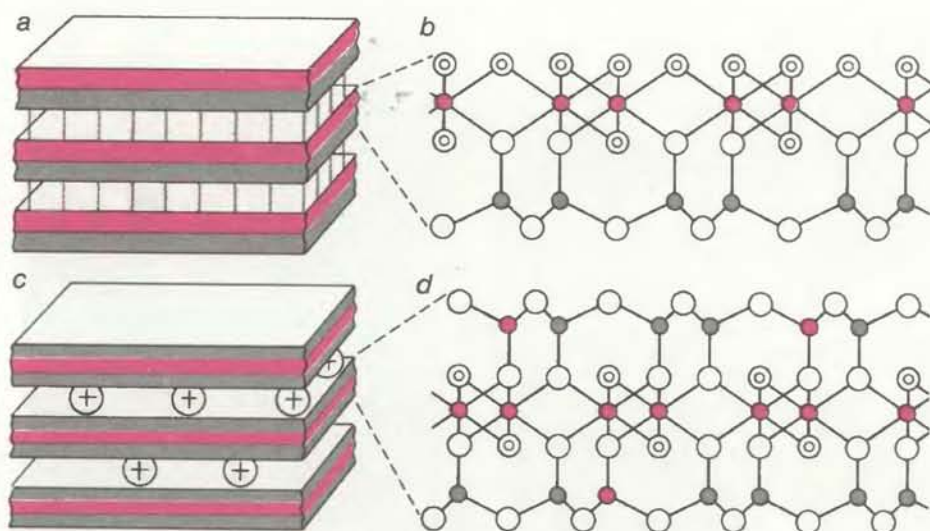
ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ЗАХВАТ, каким он представляется автору, был важнейшим этапом ранней эволюции. Вначале существовали лишь «голые» гены, состоявшие из какого-то не известного нам первичного генетического вещества (черные квадратики слева), которые эволюционировали таким образом, что стали контролировать условия окружающей их среды путем управления образованием все более сложных, окружающих их фенотипов (голубые много-

угольники). Возник новый тип генов (красные квадратики), которые могли «работать» только в границах довольно сложно устроенного фенотипа, но были более «работоспособными», чем исходные гены. Новые гены постепенно захватывали контрольные функции при формировании фенотипов, так что в конечном счете начальная форма генов была ими полностью вытеснена.

ших участков будут часто находиться кристаллы, несколько отличающиеся дефектами своей структуры. Это может привести к тому, что в одних местах рост пойдет быстрее, чем в других, одни части будут лучше переносить периодические неблагоприятные условия, чем другие.

Давайте теперь рассмотрим несколько более сложные условия. Пусть почвенные растворы из песчаника попадают в быстро текущий поток, который в силу повышенной кислотности и малой концентрации веществ в нем не обеспечивает условий для синтеза глин, но содержит один из компонентов (нужных для образования «генетической» глины), которого недостает в песчанике. С позиции химии идеальным местом для образования такой глины будет в этом случае поверхность раздела между двумя разными средами. С физической точки зрения условия для этого отнюдь не идеальны, так как эта поверхность невелика и подвержена изменениям. Образующиеся кристаллы всегда находятся под угрозой вымывания или растворения либо того и другого вместе. Тем не менее поверхность раздела может быть стабилизирована и расширена значительными группами тесно взаимодействующих (реплицирующихся) кристаллов, прикрепленных к песчанику; получится весьма клейкая масса. Мутации, изменяющие форму образующих ее переплетающихся кристаллов, будут изменять ее пористость, что в свою очередь приведет к изменению в ней градиентов кислотности, а также градиентов концентрации различных ионов. Подбор условий, подходящих для синтеза глин в таких массах, может происходить путем естественного отбора. Наибольшие шансы на успех будет иметь такой «комочек генов», который окажется и хорошей поддерживающей средой, и подходящим местом для образования глины. Считается, что длинная шея у жирафа возникла под действием естественного отбора; в результате животные этого вида могут поедать листья с макушек деревьев без особых усилий. Можно думать, что и разные формы реплицирующихся глинистых частиц могут в определенных условиях также «приспосабливать» свой размер и форму. Забудем на время о сложностях физиологии. В логике событий здесь действительно есть много общего. Реплицирующиеся, мутирующие структуры оптимизируются одним и тем же путем — в ответ на меняющиеся условия. Они просто не могут вести себя иначе.

ДО СИХ ПОР мы рассматривали самые первые организмы как состо-



- КИСЛОРОД
- ⊙ ОН-ГРУППА
- КРЕМНИЙ
- АЛЮМИНИЙ
- ⊕ КАТИОН

БОЛЬШИНСТВО ГЛИН образовано стопкой слоев. В каолините (а) асимметричные слои скреплены водородными связями. Каждый слой образован сеткой из атомов алюминия и гидроксильных групп, слитой воедино с сетью из атомов кремния и кислорода (b). В других глинах слои симметричны. В них кремний-кислородная сеть с обеих сторон слита с металл-гидроксильной сетью. Эти слои заряжены отрицательно и взаимодействуют при участии положительно заряженных ионов (с). В иллитах (d) большая часть отрицательных зарядов появляется в результате замещения атомов кремния атомами алюминия.

ящие из одних только генов. Такие организмы действительно могли существовать, поскольку даже сам набор генов может обладать фенотипом. Иными словами, он характеризуется неким комплексом физико-химических свойств, определяемых имеющейся в генах информацией, от которых зависит его эволюционная судьба. В реальных условиях исходный набор «глиняных» генов постоянно «загрязнялся» бы другими глинами, образовавшимися в условиях, которые возникли под влиянием этих генов. Совместная кристаллизация могла иногда приводить к улучшению свойств агрегатов, например их пористости или способности удерживаться в месте роста. Одновременно могли происходить мутации генов, попадавшие под действие отбора, который способствовал образованию «вторичных» глин. Нетрудно представить себе, каким образом дефектная структура в генетическом кристалле могла самым прямым способом осуществлять контроль над ростом аналогичных образований: это могло происходить за счет эпитахии, т.е. под влиянием специфических дефектов предсуществовавших структур на кристаллизацию вторичных глин на поверхности генетических глин.

Рассмотрев первые организмы, пойдем теперь дальше. Я попробую в нескольких словах описать взаимо-

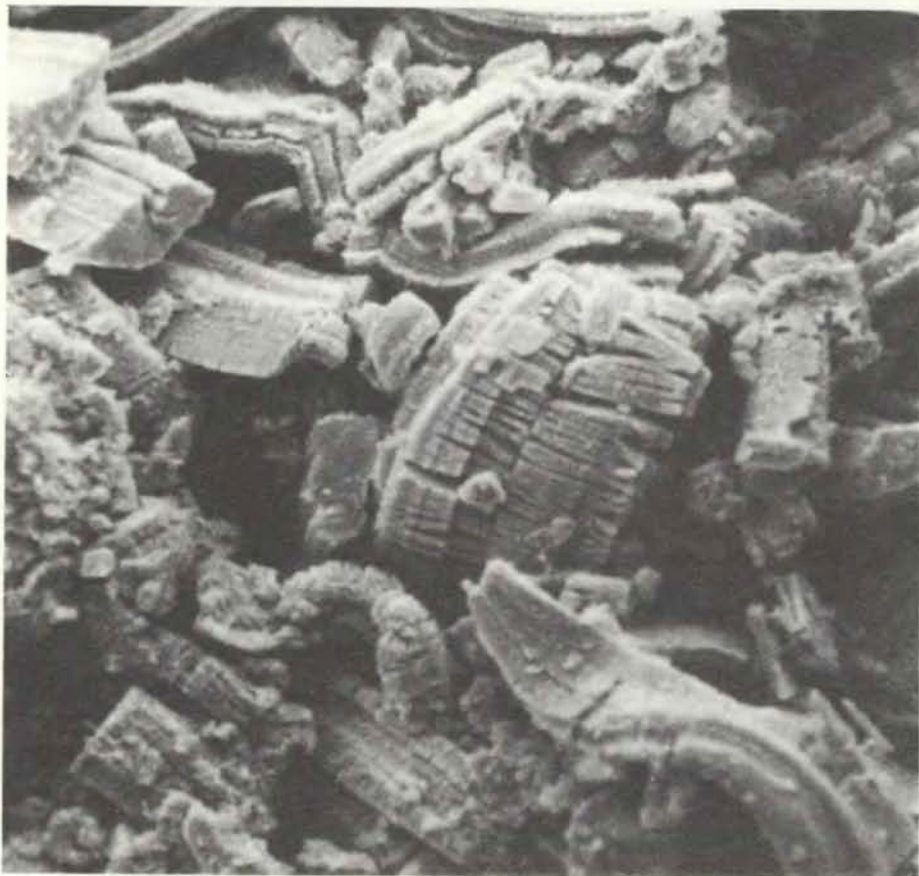
связи между нами и первыми организмами. Для этого нам не обойтись без молекул органических соединений, а также без вопросов «почему?» и «как?».

Почему вообще на сцену вышли молекулы органических соединений? Порядку причин. Некоторые из малых органических молекул (например, аминокислоты или ди- и трикарбоновые кислоты) могли способствовать сольubilизации ионов металлов, например алюминия. Таким образом, они выступали в роли катализаторов при синтезе глин. Молекулы других типов (например, гетероциклические основания и полифосфаты) обладают повышенным сродством к глинам, что часто приводит к изменению физических свойств геля глины. Органические молекулы способны также сильно влиять на форму и размер неорганических кристаллов, подавляя рост некоторых их граней. Это могло иметь особо большое значение для контролируемой репликации кристаллических генов. Кроме того, влияние на структуры могли иметь и полимерные органические соединения. Они могли удерживать частицы глины рядом друг с другом.

Я думаю, что предшественники РНК, появившиеся в достаточно развитых глиняных организмах, в первую очередь играли структурную роль. (На самом деле РНК и сегодня иногда используется приблизительно



ДЛИННЫЕ КРИСТАЛЛЫ ИЛЛИТА, прикрепленные к зерну песчаника. (Увеличение $\times 10\,000$; микрофотография сделана при помощи сканирующего электронного микроскопа.) Такая глина — подходящий кандидат на роль одномерного генетического кристалла, но, поскольку она образована небольшим числом слов, ее информационная емкость невелика.



ВЕРМИФОРМНЫЙ (ЧЕРВЕОБРАЗНЫЙ) КАОЛИНИТ (увеличение $\times 1350$), образовавшийся путем выветривания. Такая глина — возможный кандидат на роль двумерного генетического кристалла.

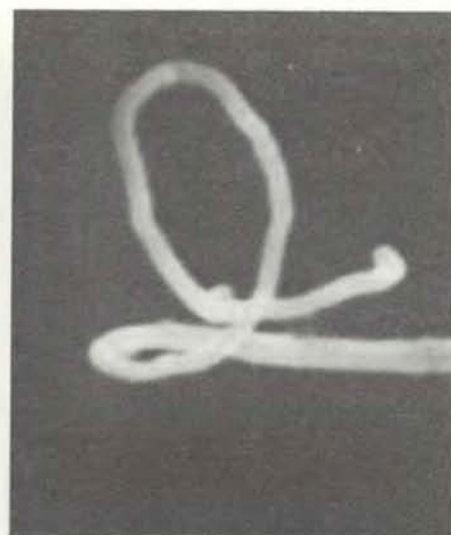
для тех же целей.) РНК-подобный полимер с отрицательно заряженным остовом молекулы должен стремиться связываться с краями частиц глины (они чаще всего заряжены положительно). А гетероциклические основания (молекулы типа аденина) имеют тенденцию проникать между слоями глины. Можно представить себе некий РНК-подобный полимер, который возник специально для взаимодействия с глинами (возможно, даже для «чтения» информации, экспонированной на краях одномерных «глиняных» генов).

Генетический захват, который привел к становлению существующих сегодня механизмов биохимического контроля, мог начаться, согласно этой гипотезе, с того момента, когда РНК стала реплицирующейся молекулой. То был новый тип «сотрудничающего» генетического материала, роль которого вначале была невелика. Для того чтобы отойти от основы — глиняного каркаса, — требовалась длительная эволюция. Возможно, это произошло уже после того, как возникла сложная система механизмов белкового синтеза. Об эволюции такой системы можно рассуждать, поскольку она происходила в пределах образовавшегося организма. Сначала она могла эволюционировать как побочная система, но постепенно становилась все более полезной и сложной, а когда каркас исчез, стала совершенно необходимой.

Что было причиной перехода эволюции с неорганического кристаллического уровня на органический молекулярный? Дело, видимо, в том, что органические вещества могут иметь более тонкую структуру (конечно, если есть соответствующие механизмы для ее создания), что позволяет осуществлять более сложный контроль над процессами.

В какой последовательности вступали в действие органические молекулы? Мне кажется, что все началось с фотосинтеза, в котором использовался углекислый газ атмосферы и который на первых порах приводил к образованию молекул типа муравьиной кислоты.

Однако значительно интереснее другой вопрос — о том, каким образом происходило объединение более сложно устроенных молекул до появления ферментов. Как происходило образование нуклеотидов? Для этого должны были сложиться необходимые для их формирования системы, включающие многие химические реакции и другие процессы, например процессы очистки; причем все должно было осуществляться в строго заданной последовательности. Такая система не могла быть результатом случайных процессов: она должна была



РАЗНООБРАЗИЕ ФОРМ минералов глины — один из фактов, говорящих о возможной роли глин в построении примитивных организмов. Кожистый галлоизит показан на этом рисунке с разным увеличением: он образован массой нитей, часть которых представляет собой полые трубочки. (Микрофотографии сделаны при помощи электрон-

ного микроскопа.) Очень маленький отросток едва заметен при увеличении в 130 раз (слева). При увеличении в 1000 раз на нем выявляется петля (в середине). При увеличении в 26 000 раз видно, что он представляет собой полую трубочку (справа).

быть организована. У достаточно развитых организмов, «сделанных» из глины, в роли организующего начала мог выступать естественный отбор. С какими же физическими объектами имел он дело до того, как к работе приступили молекулы белков? Я думаю, что до появления ферментов в организмах действовал какой-то более «старомодный» аппарат, в чем-то схожий с теми, которые имеются в лабораториях химиков-органиков или химических заводов. В них наряду с колбами, пробирками, насосами, ионообменными и адсорбционными колонками широко применяются и весьма малоспецифичные катализаторы.

С учетом сказанного мы переходим к заключительной части представлений о минералах глин как основных веществах, из которых сформировались первые организмы. Коль скоро нам нужны катализаторы (довольно неспецифические), мы легко обнаружим их среди минералов глин. Точнее, если нам нужен достаточно простой аппарат типа тех, о которых только что шла речь, то существует множество обычных глин, которые могли бы быть использованы для его построения. Как его части объединились и какие силы отбора действовали при этом — неясно.

Скептики могут задать три вопроса:

I. Почему кристаллические гены не являются обычным компонентом окружающей нас природы, если они на самом деле состоят из простых веществ и если их эволюция — это естественный процесс?

Я мог бы предложить четыре отве-

та на этот вопрос: 1) быть может, кристаллических генов вообще не существует; 2) генетические минеральные вещества встречаются весьма редко; 3) подходящие условия для репликации минеральных генов складываются нечасто; 4) минеральные гены, прошедшие определенный путь в эволюции, встречаются часто, но мы не умеем их различать. Оставляю выбор ответа читателю.

В любом случае я не могу представить себе, что современные организмы на основе глин могут вновь достигнуть такой фазы развития, что станут способны использовать органические молекулы. Слишком большую конкуренцию составляют им ДНК-содержащие микроорганизмы. То же самое можно сказать и о предковых формах: сегодня их также, наверное, не существует.

II. Имеем ли мы право приписывать маленьким кристаллам глин свойства живого?

Первые организмы были, скорее всего, весьма непредставительными и, я бы сказал, неживыми. Организм нужен как предпосылка эволюции, но «жизнь» — это что-то совсем иное, нечто необычное, некая на вид целенаправленная сложность, которая могла сформироваться в результате эволюции. Но на более поздних стадиях первичные организмы, как мне кажется, должны быть уже живыми с любой точки зрения.

III. Какие эксперименты нужно провести?

Поверхность раздела между глиной и молекулами органических соединений в настоящее время интенсивно изучается. Эта работа в основном ве-

дется в Эймском центре НАСА, расположенном близ Маунтин-Вью в Калифорнии. Дж. Лоулесс и его коллеги выяснили, каким образом ионы металлов, таких, как медь и цинк, могут способствовать связыванию нуклеотидов с глинами. Они также обнаружили, что ионы глин обладают селективным каталитическим влиянием на аминокислоты. Работая в этом же центре, М. Мортланд из Университета шт. Мичиган обнаружил, что кофермент пиридоксальфосфат может функционировать как фермент, если он находится в комплексе с медьсодержащими монтмориллонитовыми глинами. Н. Лахав из Еврейского университета вместе с Д. Уайтом из Университета в Санта-Клара и Ш. Чангом из Эймского центра выяснили, каким образом глины, подвергающиеся периодическому смачиванию и высушиванию, могут способствовать соединению молекул аминокислоты глицина. В этом циклическом процессе происходит перенос энергии от окружающей среды к органическим молекулам.

Механизм преобразования энергии должен был быть необходимой составной частью организмов, за исключением самых примитивных. Л. Койн из Калифорнийского университета в Сан-Хосе нашла, что для этой цели вполне могли служить каолиновые глины. Они могут собирать энергию из окружающей среды, которая выделяется при радиоактивном распаде, сохранять ее и высвобождать в тех случаях, когда структура глины нарушается определенным образом, например при ее смачивании или высушивании.

Издательство МИР предлагает:

К. Хэррис, Ж. Валенка **УСТОЙЧИВОСТЬ ЗАМКНУТЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Перевод с английского

Предлагается единая методика исследования многомерных нелинейных систем на основе теории аналитических функций и теории римановых поверхностей. Показано, что большинство применяемых на практике критериев устойчивости достаточно просто может быть получено с помощью предложенного авторами обобщенного критерия.

Основное содержание. Римановы поверхности, их свойства и особые точки. Представление произведений переменных в различных пространствах. Анализ устойчивости линейных систем на основе взаимосвязей вход-выход. Применение обобщенной теории пространств для исследования операторов многомерных динамических систем. Критерий устойчивости нелинейных динамических систем. Результаты исследования устойчивости нелинейных динамических систем.

Для научных работников, инженеров и аспирантов, занимающихся расчетом и проектированием систем автоматического управления.

1986, 15 л. Цена 1 р. 80 к.

Предварительные заказы
на эту книгу

принимаются магазинами
научно-технической литературы
с апреля 1985 г.

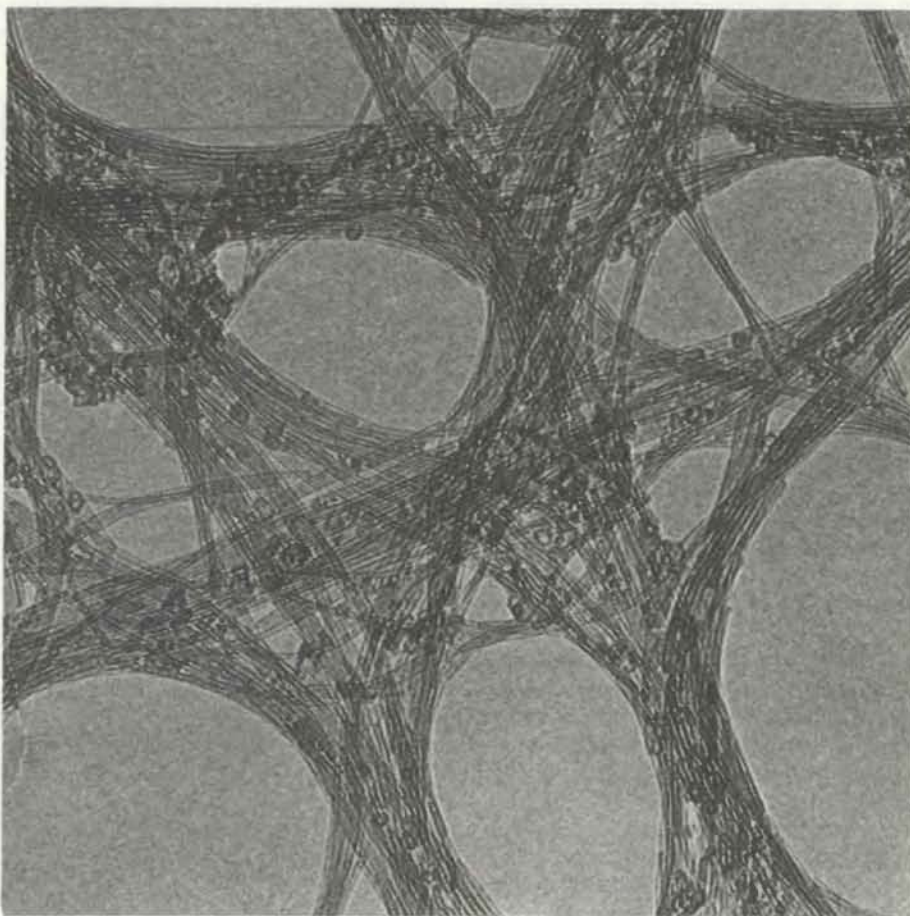
Издательство заказов не принимает.



Пытаясь составить более определенное представление о взаимодействиях на границе раздела глина — органические молекулы, Лоулесс, Чанг и их сотрудники исследовали углеродсодержащие метеориты, столь же древние, как и сама Солнечная система. Они хотели найти ответ на вопрос: какова была органическая химия веществ на ранних этапах эволюции Земли? Интересно, что в таких метеоритах одновременно присутствуют и глины, и органические вещества. Изучение поверхности Марса также поможет нам понять, каковы были условия на начальных стадиях эволюции Земли. Э. Бейнин из Еврейского университета предлагает точку зрения, согласно которой на поверхности Марса встречаются главным образом богатые железом монтмориллонитовые глины. В этой связи объяснимы результаты опытов, выполненных посадочным аппаратом «Викинг», в которых под влиянием ультрафиолета происходило превращение углекислого газа и окиси углерода в молекулы органических соединений (среди которых большую часть со-

ставляла, видимо, муравьиная кислота). Дж. Хаббард из Технологического института в Джорджии поставил опыты, которые показали, что железосодержащие минералы, включая глины, дают тот же эффект.

Самая сложная и важная задача исследований сегодня — обнаружить кристаллические гены, и не одного типа, а многих типов, причем не только минеральные. Представьте себе эксперименты с кристаллами, способными к эволюции. Мы могли бы создавать разные формы давления отбора, и смотреть, как они ведут себя в таких условиях. Вне всякого сомнения, это было бы увлекательным занятием независимо от того, из чего состояли бы кристаллы. Мы очень скоро смогли бы решить, возможно ли существование реплицирующихся систем на минеральной основе, хотя в результате, быть может, мы бы и утратили интерес к самым отдаленным нашим предкам, ведь у нас в руках оказались бы совсем иные первичные организмы — первые организмы нашего собственного изобретения.



ИМОГОЛИТ И АЛЛОФАН (увеличение $\times 500\,000$; снимок сделан при помощи электронного микроскопа). Длинные тонкие образования — это монокитные трубочки из имоголита, они усеяны полыми «стручками» аллофана.

Наука и общество

Табачный дым в ДНК

ТЕ, КТО курит, имеют гораздо больше шансов заболеть раком по сравнению с некурящими. Какой же физический механизм лежит в основе связи между курением и образованием злокачественных опухолей? Похоже, что ответ на этот вопрос удалось получить ученым Научно-исследовательского института при Японском национальном центре по изучению рака в Токио. Результаты их исследований показали, что дым сигарет может повреждать ДНК в клетках легких.

Под воздействием табачного дыма иногда разрывается одна из двух цепей спиральной молекулы ДНК. Такой разрыв сам по себе не вызвал бы никакой перестройки ДНК, ведущей к образованию раковой опухоли, так как разорвавшаяся цепь по-прежнему была бы связана со второй цепью, которая осталась целой. Однако повреждение одной цепи может сделать генетический материал более чувствительным к другим факторам, которые уже способны вызвать изменения, приводящие к злокачественным новообразованиям. Ряд исследований еще раньше показал, что табачный дым может усиливать действие других канцерогенов.

Токийские ученые Ц. Накаяма, М. Канеко, М. Колама и Т. Нагата опубликовали результаты своих исследований в журнале "Nature". Они подвергали культуру клеток легких

человека действию табачного дыма, растворенного в жидкости. Затем ДНК из обработанных таким образом клеток помещали в раствор, в котором двойная спираль ДНК раскручивалась, и ее цепи отделялись друг от друга. Если в цепи где-то был разрыв, то теперь ей ничто уже не мешало распасться на части. Ученые нашли, что ДНК, подвергнутая воздействию табачного дыма, распадалась на большее число частей, чем ДНК, не прошедшая такой обработки или же подвергнутая гамма-облучению.

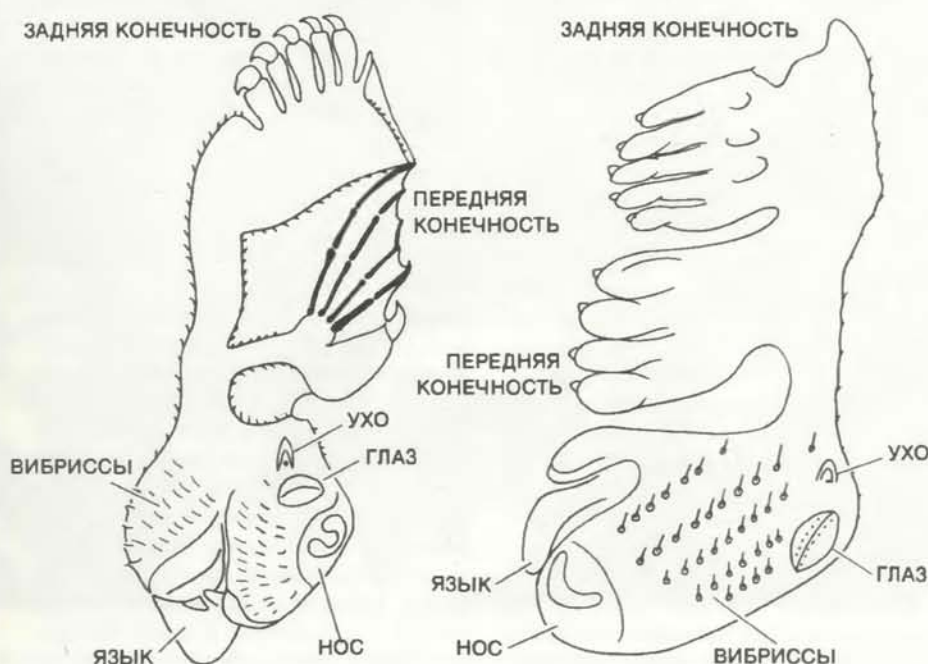
Проекция тела в коре мозга летучей мыши

У ВСЕХ млекопитающих, изученных за последние столетия, в мозгу имеются три проекции («карты») поверхности тела. Каждая из них соответствует определенным участкам тела. Эти проекции находятся в соматосенсорной коре — той области мозга, которая получает информацию от мышц, суставов и кожи. Части тела представлены здесь в деформированном виде, так как величина корковой проекции той или иной области тела пропорциональна не действительным размерам этой области, а количеству поступающей от нее сенсорной информации. Например, большой участок отведен в коре для сигналов от чувствительных волосков (вибрисс) лицевой области, которые служат важными органами чувств у

большинства млекопитающих. Однако общую конфигурацию соответствующих частей тела эти проекции отображают верно.

Такое подобие, а оно наблюдается у самых разных видов, могло бы быть и случайностью, но более вероятно, что оно имеет какое-то пока еще не известное функциональное значение. На это указывают результаты исследований, проведенных на плодоядной летучей мыши *Pteropus poliocephalus*. Й. Кас из Университета Вандербильта, Дж. Петтигу из Квинслендского университета и их коллеги в своей статье, опубликованной в журнале "Nature", сообщают, что они исследовали корковые проекции тела, раздражая небольшие участки кожи. Возникавшая при этом электрическая активность регистрировалась микроэлектродами, введенными в различные участки соматосенсорной коры.

Оказалось, что проекции поверхности тела у летучей мыши в целом расположены примерно так же, как и у прочих млекопитающих, но с одним существенным отличием: проекции пальцев передней конечности направлены у нее назад, тогда как у большинства других млекопитающих они несколько отклоняются вперед. Как полагают исследователи, это различие, возможно, связано с тем, что у большинства млекопитающих передние конечности бывают обычно расположены книзу от головы или же вытянуты вперед; напротив, у летучей мыши они во время полета находятся позади головы, а во время отдыха в характерной висячей позе — выше головы.



У плодоядной летучей мыши (слева) корковые проекции пальцев передней конечности направлены назад (в середине) в отличие от их положения у других млекопитающих, например у крысы (справа)

Социальная экология шимпанзе

Поведение диких шимпанзе редко изучалось без использования пищевых приманок, которые, как правило, искажают естественные социальные отношения в сообществе животных.

Исследования, проведенные без искусственной подкормки, показали, что по своей социальной структуре эти человекообразные обезьяны ближе всего стоят к человеку

МАЙКЛ П. ГИГЛИЕРИ

ИЗ ВСЕХ видов млекопитающих, подвергавшихся тщательным исследованиям, шимпанзе характеризуются уникальной социальной структурой. Каждое сообщество шимпанзе, состоящее из 50 или более членов, занимает территорию, с которой изгоняются все другие самцы шимпанзе. В пределах этой территории члены сообщества находятся в постоянном движении, разыскивая плодоносящие деревья и другие источники пищи. Если плодов мало, некоторые члены общества могут отделиться от группы и перейти к самостоятельному поиску пищи. В периоды же изобилия обезьяны собираются в большие группы для кормежки, спаривания, взаимообызивания и отдыха. Эта тактика «слияния — разделения», при которой сообщество постоянно распадается на части и воссоединяется вновь, редко встречается среди общественных животных.

Еще более редка другая особенность сообщества шимпанзе — экзогамия самок, т.е. спаривание за пределами той группы, членами которой они являются. Когда самки достигают половой зрелости, они мигрируют для спаривания на территорию другого сообщества. В противоположность им самцы проводят всю свою жизнь на территории, где они родились; в конце концов они становятся частью коллектива самцов, охраняющего границы ареала и дающего начало следующему поколению. В результате экзогамии женских особей происходит генетическое разделение между самцами и самками сообщества. Если первые связаны тесными генетическими узами, то последние могут быть, а могут и не быть родственными друг другу.

Выделение внутри сообщества групп близко родственных самцов и не связанных узами крови самок имеет важное значение для понимания эволюционной истории как шимпанзе, так и человека. Среди диких жи-

вотных только у шимпанзе наблюдается сочетание организации сообщества по типу «слияние — разделение», территориальности и экзогамии самок. Судя по данным антропологических исследований, однако, можно предположить, что такая форма организации была типична для человека на стадии охотничье-собирающего общества. Шимпанзе — это ближайшие живые родственники человека: различия ДНК между этими двумя видами составляют всего лишь 1,2%. Однако помимо генетического родства им свойственна и близкая по форме социальная структура. Вот почему знание эволюционных процессов в сообществе шимпанзе помогает понять, как происходила эволюция общества охотников-собирающих.

УЧЕНЫЕ приложили немало усилий для изучения поведения шимпанзе. Однако лишь в последние годы благодаря полевым исследованиям, проведенным мною и другими этологами, были получены подробные данные о социальной структуре сообщества шимпанзе в природе. Одна из причин медленного накопления такой информации заключалась в том, что дикие шимпанзе очень пугливы и осторожны. Заметив присутствие человека, они прячутся. Для преодоления этого барьера в ряде предыдущих исследований ученые, чтобы завоевать расположение и доверие диких животных, использовали в качестве приманки пищу, как правило, сахарный тростник или бананы. Два хорошо известных эксперимента, проводившиеся в течение 20 лет на восточном берегу оз. Танганьика, базировались на подкормке: исследования Дж. Гудолла и ее коллег в Национальном парке Гомбе и Т. Нисиды из Токийского университета и его коллег в горах Махале. Во время этих длительных наблюдений за поведением шимпанзе было собрано немало ценной информации, на основании которой исследователи

высказали свои предположения относительно социальной структуры и эволюции изучаемых обезьян.

К сожалению, полного представления о социальной организации шимпанзе с помощью подобных исследований получить нельзя. Хотя использование подкормки облегчает задачу изучения поведения животных, она в то же время нарушает нормальные социальные и экологические связи особей. Но, как мы увидим далее, сами эти нарушения тоже представляют определенный интерес. Однако, чтобы изучать жизнь сообщества шимпанзе в неискаженном виде, исследования нужно проводить, не прибегая к подкормке. Желание наблюдать за естественной жизнью стада шимпанзе привело меня в лесной резерват Кибале в Западной Уганде. Я провел там два года, приучив обезьян к своему присутствию постоянным появлением у естественных источников пищи.

Центральная часть резервата Кибале почти не изменилась под воздействием хозяйственной деятельности человека и потому представляет собой идеальное место для изучения *Pan troglodytes schweinfurthii*, восточного длинношерстного подвида шимпанзе. Для исследования был выбран район Нгого, находящийся в лесном массиве в центре природного резервата. В 1977 г. Т. Страсейкер и У. Фриланд из Нью-Йоркского зоологического общества начали изучать в Нгого черно-красных гверец, краснохвостых мартышек и серошких мангобеев. Для наблюдений за обезьянами и регистрации расстояний, на которые они перемещались на территории площадью приблизительно в 6 км², была разработана прямоугольная система координат. Этот метод оказался весьма полезным для количественной оценки результатов исследования шимпанзе, обитающих в Нгого. В своих наблюдениях за ежедневной деятельностью сообщества Нгого, ко-



ШИМПАНЗЕ, поедающий плоды *Ficus*, которые являются излюбленной пищей этих обезьян. Больше половины дневного времени шимпанзе тратят на поиски пищи и еду. Часто они делают это в одиночку, но могут собираться и группами — по 20 и более — на одном дереве. Необычная струк-

тура сообщества, предполагающая периодическое изменение его численности представляет собой сложившуюся в ходе эволюции адаптацию, делающую поиски плодов более эффективными. Фотография снята автором статьи в лесу Кибале на юго-западе Уганды.

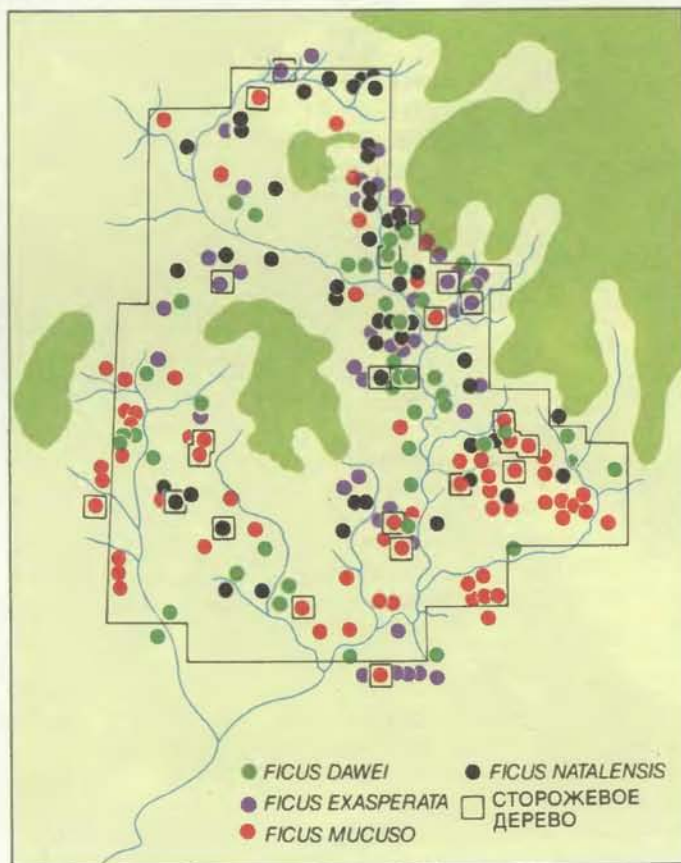
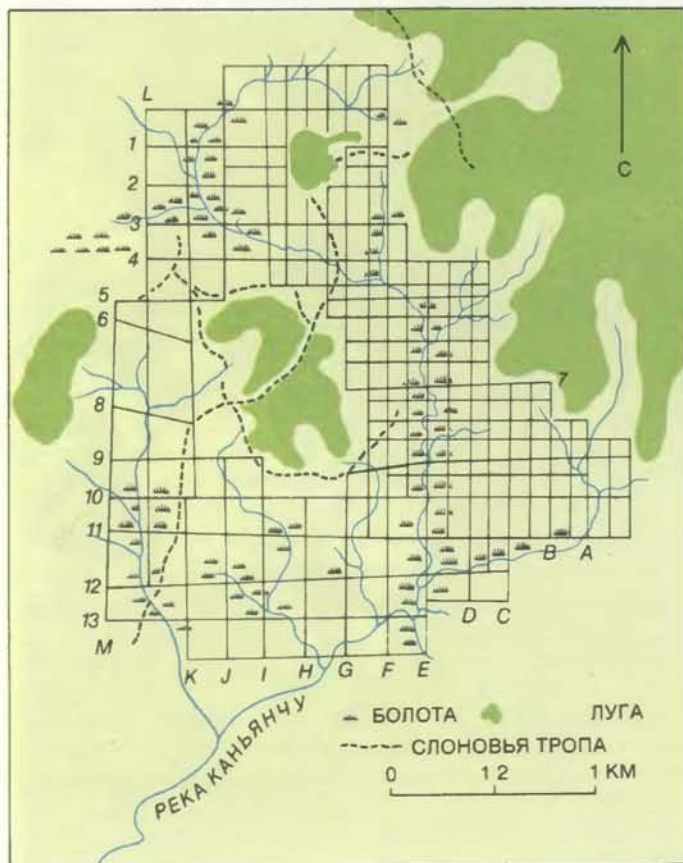
торое включало 55 шимпанзе, я использовал такую же координатную сетку.

Чтобы понять социальную экологию группы животных, нужно выявить ее основные ресурсы и наблюдать, как она организуется для использования этих ресурсов. Для шимпанзе основной источник существования — плоды: 78% времени, затрачиваемого на кормежку, обезьяны Нгого поглощали фрукты и семена. Это соотношение примерно соответствует тому, что наблюдали ис-

следователи в других местах обитания шимпанзе, хотя, конечно, цифра, отражающая процент плодов в рационе, может сильно варьировать и значительно снижаться в зависимости от условий жизни животных. В природе шимпанзе едят также насекомых и охотятся за млекопитающими, в том числе и за низшими обезьянами. Кроме того, они поглощают большое количество растительной пищи: кору, сердцевину стеблей, цветки и молодые листья. Однако наиболее лакомой пищей остаются фрукты. В Нго-

го шимпанзе кормились на десятках видов фруктовых деревьев, отдавая особое предпочтение нескольким видам рода *Ficus*, плоды которых богаты белком.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ фруктов в качестве основного продукта питания накладывает определенные ограничения на социальную структуру. Эти ограничения обусловлены прежде всего неравномерным распределением плодов во времени и пространстве. На площади в 10—30 км²,

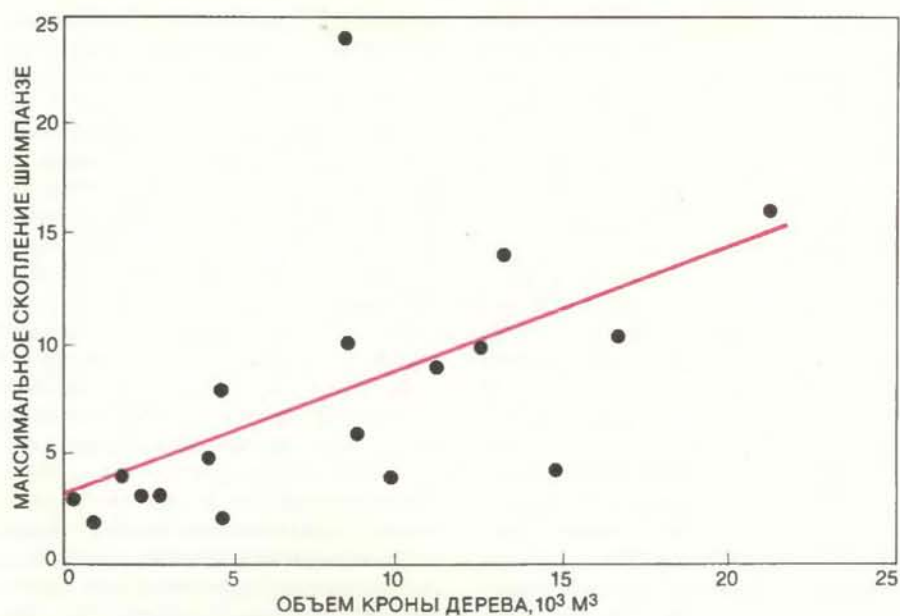


ЛЕСНОЙ МАССИВ КИБАЛЕ в экваториальном поясе Восточной Африки (внизу слева). Здесь в районе, известном под названием Нгого, автор проводил наблюдения за жизнью сообщества шимпанзе, насчитывавшего примерно 55 обезьян. Для работы использовалась координатная сетка (вверху слева). В Нгого растет 13 видов рода *Ficus*, из которых четыре основных образуют заросли (вверху справа). Квадратиками отмечены «сторожевые» деревья, с которых проводились длительные наблюдения за поведением кормящихся шимпанзе. Фруктовые деревья на территории тропического леса распределены неравномерно и плодоносят нерегулярно, вследствие чего урожай фруктов в пределах данной территории не всегда бывает одинаковым. Это обстоятельство сильно влияет на социальную организацию шимпанзе.

составляющей ареал обезьяньего сообщества, может произрастать более 100 видов деревьев, из которых, однако, лишь четвертая часть, возможно, дает съедобные плоды. Анализ распределения 12 наиболее важных видов плодов, потребляемых обезьянами Нгого в пищу, показал, что существование обезьян зависит от наличия редких видов деревьев, которые растут группами, а не разбросаны равномерно по всей территории. Однако найти эти заросли еще не означает наестся. Деревья в тропиках редко плодоносят с регулярными интервалами: у одних плодоношение вообще происходит в непредсказуемый момент, у других, в том числе и у нескольких видов *Ficus*, обычно бывает два урожая в год, но с неопределенным интервалом. Более того, на деревьях, растущих на территории сообщества, спелые фрукты появляются и исчезают очень быстро — в течение считанных дней, а урожай съедобных фруктов во влажный и сухой сезон может меняться в восемь раз.

Шимпанзе — не единственные животные, рыщущие под пологом леса в поисках пропитания. В Нгого я часто наблюдал, как в дневные часы шимпанзе сталкиваются с птицами и низшими обезьянами, которые тоже питаются плодами, причем особенно острую конкуренцию составляют представители семи видов этих обезьян. По моим подсчетам численность низших обезьян примерно в 200 раз превышает численность шимпанзе. Хотя ни один из этих семи видов не потребляет так много фруктов, как шимпанзе, но за счет своей большой численности низшие обезьяны все же являются серьезными конкурентами для человекообразных. Во время столкновений шимпанзе, как правило, вытесняют всех низших обезьян, за исключением черно-красных гверец. После совместной атаки самцами большого стада гверец шимпанзе часто уходило с облюбованного ими дерева. Одна из причин успеха этих низших обезьян состоит в том, что они гораздо лучше лазают по деревьям. Известны случаи, когда во время схватки самцы шимпанзе получали серьезные ранения или вообще погибали в результате падений из верхних зон полога влажного тропического леса. Вот почему на вершинах деревьев шимпанзе часто отступают перед агрессивными гверцами. Зато на земле или в нижней части крон деревьев черно-красные гверцы наряду с представителями других видов низших обезьян становятся добычей шимпанзе, которые охотятся на них.

Таким образом, залог благополучного существования шимпанзе заключается в том, чтобы найти редкую и



ЧИСЛЕННОСТЬ ГРУПП КОРМЯЩИХСЯ ШИМПАНЗЕ сильно зависит от количества фруктов на отдельном дереве. Можно предположить, что объем кроны дерева (по горизонтальной оси), т.е. объем, занимаемый листвой, пропорционален количеству плодов. Чем больше размер кроны, тем больше максимальное число обезьян, добывающих пропитание на одном дереве (по вертикальной оси). Способность шимпанзе передвигаться группами численностью по 20 и более особей позволяет обезьянам поддерживать социальные связи, так как они в основном питаются фруктами, урожай которых неравномерно распределен по обширной территории.

быстро исчезающую пищу раньше своих гораздо более многочисленных конкурентов. С этой точки зрения кажется удивительным, что шимпанзе вообще существуют. Однако эволюционная адаптация снабдила их всем необходимым как для индивидуального, так и для коллективного выживания. Одно из основных преимуществ отдельной особи шимпанзе — это ее интеллектуальные способности. Как показали лабораторные эксперименты с живущими в неволе обезьянами, в тех случаях, когда в качестве вознаграждения используется лакомая пища, шимпанзе способны проявить значительные умственные способности. Они решают задачи, основываясь на своей проницательности, умении использовать принципы арифметики, делать различия, общаться с помощью символов, выбирать оптимальный путь к пище и сообщать о ее местонахождении другим особям.

Одно из проявлений их умственных способностей — прекрасная пространственная ориентация и хорошая память, что имеет особенно важное значение для поиска пищи. Р. Рэнгем из Висконсинского университета, изучавший шимпанзе в Гомбе, пришел к выводу, что обезьяны — «хорошие ботаники». В окружающей флоре они могут точно определить плодоносящее растение, а затем начать планомерные поиски зрелых плодов, осматривая каждый экземпляр данного

вида. Шимпанзе превосходят низших обезьян по результатам всех интеллектуальных тестов и, конечно, лучше их разыскивают фрукты в природе. Кроме того, шимпанзе перемещаются по земле, а это намного эффективнее, чем лазанье в кронах деревьев, характерное для низших обезьян. Большая подвижность позволяет шимпанзе охватить в поисках пищи намного более обширную территорию.

Физические и умственные способности шимпанзе позволяют отдельной особи даже в одиночку выдерживать конкуренцию со стороны низших обезьян и других любителей фруктов. Гибкость организации типа «слияние — разделение» также играет важную роль и приносит успех в этом соперничестве. Одно дерево, какое бы оно ни было, не может обеспечить потребности всего сообщества в Нгого, состоящего из 55 обезьян; для этого не всегда достаточно даже группы растущих рядом деревьев. Следовательно, шимпанзе вынуждены искать себе пропитание небольшими партиями. С увеличением численности такой партии количество деревьев, которое нужно обойти, чтобы насытить всех ее членов, возрастает. Если несколько деревьев с достаточным количеством плодов могут прокормить трех взрослых обезьян в течение часа, то 30 взрослых особей опустошают их за 6 минут. Поэтому отряд, состоящий из

30 обезьян, для удовлетворения своих пищевых потребностей должен тратить на передвижение в 10 раз больше времени, чем группа из трех особей. Такое удлинение маршрута влечет за собой не только усиление расхода энергии, а следовательно, и потребностей в пище у каждой особи, но и увеличение времени, затрачиваемого на передвижение, — с обычных 10 — 12% дневных часов до 100% и более. Иными словами, многочисленная группа должна тратить на передвижение все свое время.

ВОТ почему обезьяны путешествуют в поисках пищи небольшими партиями. В результате многочасовых наблюдений в Нгого было установлено, что такая партия в среднем насчитывает 3,6 члена. Это не означает, что состав их однообразен. Мне довелось наблюдать как одиноких обезьян, так и большие сборища из 24 особей. Пытаясь выявить факторы, влияющие на численность группы, я измерял объем кроны (пространство, занимаемое листьями и плодами) у нескольких плодоносящих деревьев. Впоследствии по этим данным я смог сопоставить объем кроны и число обезьян, обирающих с нее плоды. Оказалось, что размеры группы прямо пропорциональны величине кроны. Мощные деревья с большим количеством фруктов привлекают большее число шимпанзе, и они дольше остаются на них, чем на маленьких

деревьях. Кроме того, шимпанзе неоднократно возвращаются к крупным деревьям и обыскивают их более тщательно.

Эти выводы могут показаться очевидными, если не сказать примитивными: чем больше плодов, тем больше обезьян, которые кормятся вместе. Однако такой тип поведения прямо противоположен тому, что мы наблюдаем у орангутана, растительоядного «кузена» шимпанзе, находящегося с ним в близком родстве (различия ДНК составляют всего 2,2%). Кроме того, сходны и экология питания, и среда обитания, и размеры самок обоих видов. И все-таки шимпанзе и орангутаны сильно различаются по своей социальной структуре. Одна из причин этих различий — степень анатомической специализации орангутана, приспособленного для лазанья по деревьям. Этих обезьян можно без преувеличения назвать четверорукими. Все кости их пальцев изогнуты так, чтобы лучше охватывать ветви деревьев. Попадая на землю, орангутан сворачивает свои кистеобразные ступни в неуклюжие кулачки, которые непригодны для передвижения на длительные расстояния. Группа орангутанов не сможет обойти достаточное количество деревьев, чтобы прокормить себя. Вследствие этого орангутан ведет одиночный образ жизни. Крупный взрослый самец занимает территорию, перекрывающую ареалы двух или более самок. Он

отпугивает соперников протяжными криками или сражается с ними, чтобы сохранить за собой исключительное право спариваться с самками в пределах своей территории.

Социальная структура, характерная для орангутана, свойственна и многим другим видам млекопитающих. Напротив, социальная структура, наблюдаемая у шимпанзе, уникальна. Очевидно, различия в анатомическом строении кистей и стоп у шимпанзе и орангутанов связаны с особенностями их социальной организации. Анатомические различия, однако, подкрепляются и психологическими. При возможности шимпанзе всегда выбирают социальные контакты. Как уже отмечалось, подкормка, проводившаяся Дж. Гудолл и ее коллегами в Гомбе, искажала социальное поведение шимпанзе. Устранение естественных ограничений в пище из-за обильного снабжения обезьян фруктами привело к увеличению среднего размера групп. Кроме того, по моим наблюдениям, дружеские контакты у шимпанзе встречаются в 10 раз чаще, чем антагонистические.

ВОБОИХ случаях наблюдения показали, что шимпанзе отдают предпочтение компании своих собратьев. При нормальных условиях группы, как правило, должны быть небольшими, чтобы эффективно питаться. Сообщество, построенное по принципу «слияние — разделение», — это



адаптация индивидов, которая позволяет шимпанзе поддерживать социальные связи, не жертвуя в то же время продуктивностью кормежки. В противоположность почти всем остальным видам приматов, которые ведут стадный образ жизни, взрослые шимпанзе всегда могут по своему выбору отделиться от группы и добывать себе пропитание в одиночку, либо войти в состав другой фуражирующей партии. Эта тактика снижает конкуренцию в периоды, когда пищи мало. В процессе эволюции те шимпанзе, которые могли отделиться от больших групп и держаться на скудных ресурсах, не теряя связей с сообществом, приобретали определенные преимущества над теми, которые оставались в составе больших групп даже в условиях неадекватности пищевых источников. Обилие пищи приостанавливает разделение и приводит к слиянию. В благоприятные времена шимпанзе Нгого собираются довольно большими группами для кормежки, передвижения и общения.

Если шимпанзе неплохо существуют и в составе небольших групп и в одиночестве, то кажется непонятным, зачем они вообще присоединяются к другим членам своего сообщества. Как утверждают принятые ныне теории эволюции, естественный отбор действует скорее на индивидуальном, чем на групповом или видовом уровне. Используя все репродуктивные возможности, индивид увели-

чивает число копий своих генов в последующих поколениях. Максимальное использование репродуктивных возможностей зависит от того, какое питание получает индивид и имеет ли он доступ к особям противоположного пола. Репродуктивная стратегия самцов у большинства видов млекопитающих состоит в том, что они защищают источники пищи и не подпускают других самцов к самкам, когда те находятся в состоянии течки. Но самцы шимпанзе, живущие в природе, делают прямо противоположное: в Нгого самцы демонстрировали элементы кооперации во время как кормежки, так и спаривания.

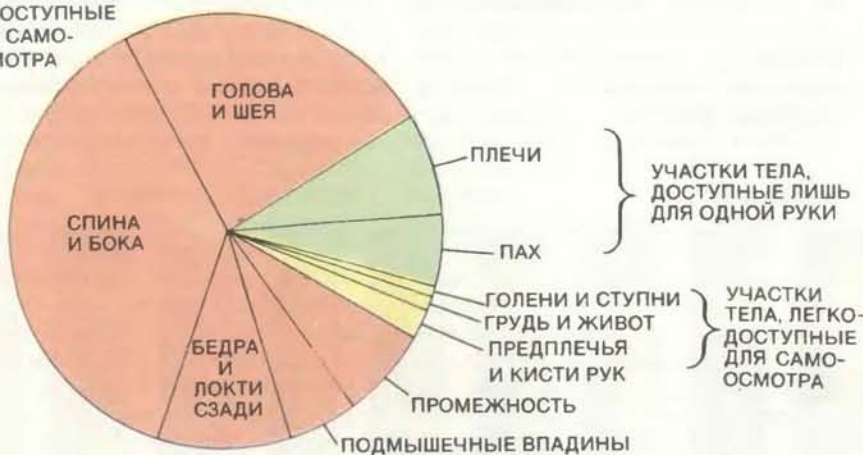
Одно из наиболее удивительных проявлений коммуникативного поведения у самцов шимпанзе связано с голосовыми сигналами, известными под названием «уханий». Уханье представляет собой стереотипный набор визгов, завываний, воплей и рыкающих звуков, разносящихся по влажному тропическому лесу на расстояние до двух километров. Их может издавать одна обезьяна или целый хор особей. Шимпанзе Нгого чаще всего ухают, когда путешествуют по лесу, подходят к источнику пищи, наблюдают за приближением другого шимпанзе или отвечают на звуки, издаваемые другой группой. Более полновинные звуков у них составляют те, которыми особи обменивались друг с другом. П. Марлер и Л. Хоббет из Университета Рокфеллера провели

акустический анализ записанных с помощью специальной аппаратуры уханий и обнаружили, что в каждом крике достаточно признаков, по которым можно узнать голос издававшей его обезьяны. Таким образом, ухающие звуки, производимые группой обезьян в тропическом лесу, позволяют не только определить число и местонахождение членов группы, но и идентифицировать их.

Самая удивительная функция уханий состоит в том, чтобы сообщить остальным членам сообщества о присутствии пищи. Приблизительно в одном случае из четырех по прибытии группы на крупное плодоносящее дерево один или несколько самцов начинают ухать. Их крики иногда сливаются во впечатляющий гул, который может длиться по меньшей мере 10 минут. После этих звуков у дерева в большинстве случаев появляются другие шимпанзе и начинают искать плоды. Чтобы убедиться, что связь между этими событиями действительно существует, я выбрал из своих данных все записи о прибытии дополнительных партий шимпанзе к фруктовому дереву. Оказалось, что эти партии появлялись значительно чаще, если самцы, первыми прибывшие к месту кормежки, издавали ухающие звуки. Пищевые крики привлекали как самцов, так и самок, и вновь пришедшие обезьяны делили плоды с теми, кто их нашел.

НЕКОНКУРЕНТНЫЙ тип поведения распространяется у самцов шимпанзе даже на размножение. В отличие от орангутанов два самца шимпанзе очень быстро решают вопрос о том, кто из них будет спариваться. Как правило, самцы какой-либо группы совершенно не обращают внимания, если кто-нибудь из их числа спаривается с самкой в нескольких метрах от того места, где они расположились. Более того, несколько членов одной группы могут по очереди покрывать самку в течение короткого времени. Однако, как показали сравнительно недавние исследования в Гомбе, самки шимпанзе далеко не всегда столь неразборчивы, а самцы столь терпимы. Доминирующий самец может иногда избавиться от соперников, уведя свою самку на «прогулку», во время которой он один спаривается с ней. В лесу Кибале бывали случаи, когда самец пытался утвердить свое доминирование и отогнать других самцов от той самки, у которой был эструс. Однако, если эта самка предпочитала спариваться с другим самцом, занимающим подчиненное положение, доминирующий самец почти никогда не препятствовал этому.

УЧАСТКИ ТЕЛА,
НЕДОСТУПНЫЕ
ДЛЯ САМО-
ОСМОТРА



ОБЫСКИВАНИЕ — это один из видов социальной активности, который, по-видимому, выполняет важные гигиенические функции. Шимпанзе обыскивают друг друга, чередуя в паре активную и пассивную роли. Обыскивание включает внимательный визуальный осмотр и удаление из шерсти вшей. Как показано слева, на теле шимпанзе есть участки, легко доступные для самостоятельного осмотра (желтые), видимые лишь отчасти и доступные для одной руки (зеленые), и участки, которые обезьяна не может увидеть сама (красные). По наблюдениям автора, наибольшее количество времени при взаимообыскивании тратится как раз на последние участки (вверху). Некоторые исследователи утверждают, что обыскивание используется для снятия напряженности, в частности для умиротворения партнера более высокого иерархического ранга. Но в таком случае обыскивание выполнялось бы на любом участке тела. Концентрация же на недоступных для самообыскивания участках свидетельствует о том, что основная функция этой деятельности состоит в удалении паразитов, играющем важную роль в поддержании здоровья животного.

Явная сексуальная терпимость самцов шимпанзе покажется еще более удивительной, если иметь в виду ограниченность их репродуктивных возможностей. Здоровая взрослая самка бывает сексуально восприимчивой один раз в пять лет всего лишь в течение нескольких недель. В состав большинства сообществ входит около 15 самок и приблизительно столько же самцов. Следовательно, в год бывают репродуктивны в среднем три самки, и только три самца смогут стать родоначальниками новой линии потомков. Естественный отбор благоприятствует такому типу поведения, которое максимально использует репродуктивные возможности. И тем не менее самец шимпанзе решительно ничего не предпринимает, когда другой самец ставит под угрозу его репродуктивный успех, спариваясь с самкой, с которой до этого спаривался он. Как это можно объяснить?

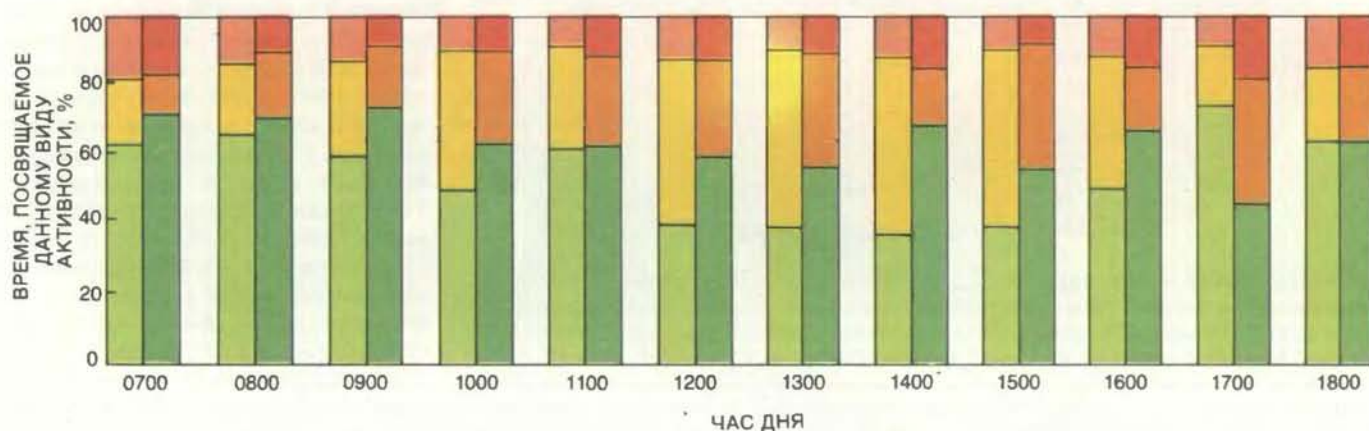
Ответ следует искать в экологии женских особей. Самки входят в сообщество шимпанзе как пришельцы с другой территории. Вновь появившиеся самки могут быть связаны родственными узами (в том случае, если они мигрировали из одного и того же сообщества), но могут быть и совершенно чужими друг другу, что более вероятно. В то же время самцы сообщества состоят в тесном генетическом родстве, так как происходят от одной и той же линии «патриархов». Это-то генетическое родство, по-видимому, и лежит в основе кажущегося альтруизма самцов. Происходя от одной и той же небольшой группы патриархов, два любых самца в сообществе обладают некоторым и, может быть, немалым числом общих генов. Следовательно, при размноже-

нии от одного самца в его потомках воспроизведется и часть генов другого самца. Степень этого косвенного репродуктивного успеха зависит от того, какая часть генетического материала окажется совпадающей: чем больше общих генов у самца-неудачника и у того, который добился победы, — тем больше косвенный генетический успех.

В. Д. Гамильтон из Имперского колледжа науки и техники в Лондоне предложил называть долю репродуктивного успеха организма, получаемую при размножении генетического родственника, совокупной приспособленностью. Эта концепция помогает объяснить, почему самцы шимпанзе кооперируются во время кормежки и спаривания. Крики, которые издают самцы, достигнув плодоносящего дерева, привлекают других членов их стада. Среди тех, кто придет позже, могут оказаться другие самцы или неполовозрелые самки, т.е. особи, которые генетически связаны с животным, издававшим призывные звуки. Значит, любое улучшение условий питания и способности к размножению для них будет одновременно увеличивать его совокупную приспособленность. (Добавим, что если среди более поздних пришельцев окажется самка в состоянии эструса, то самец, подававший сигналы, может спариться с ней.) Конечно, если количество пищи на дереве так мало, что после появления других животных первый не сможет как следует наестся, его совокупная приспособленность уменьшится. Однако, по моим наблюдениям, самцы шимпанзе почти никогда не начинают ухать, попав на небольшие деревья. Кооперация среди членов сообщества шимпанзе ос-

новывается совсем не на альтруизме, а на сложной форме своекорыстия.

ТАКАЯ забота о своих интересах играет важную роль в спаривании. Если самец становится родоначальником линии потомков, другие самцы из того же сообщества становятся соучастниками его репродуктивного успеха посредством увеличения совокупной приспособленности. Поскольку степень ее увеличения зависит от числа общих генов, существенное значение имеет то, что самцы сообщества шимпанзе являются близкими родственниками. Возможны и крайние проявления этой зависимости, когда самец увеличивает свой репродуктивный успех, вообще не размножаясь. Дж. Гудолл и Д. Рисс из Медицинской школы Станфордского университета наблюдали за частично парализованным самцом, который был неподходящим партнером для спаривания. Этот самец оказывал помощь своему младшему брату, и его поддержка сыграла решающую роль в достижении младшим отпрыском статуса альфа-самца. Альфа-самец — доминирующий самец в сообществе — имеет наибольшие шансы увести находящуюся в состоянии эструса самку на «прогулку». Таким образом, путем альтруистической на первый взгляд стратегии парализованный самец косвенно добивался генетического вознаграждения: его совокупная приспособленность значительно возрастала. В более широком масштабе именно такие ситуации сводят сообщество самцов в единое целое и не дают ему распасться на отдельные фрагменты, как это происходит у орангутанов. Генетическое родство и совокупная приспособленность —



САМКА САМЕЦ
 ПЕРЕДВИЖЕНИЕ
 ОТДЫХ
 КОРМЕЖКА

ХАРАКТЕР ДНЕВНОЙ АКТИВНОСТИ самцов и самок сообщества шимпанзе в Нгола весьма различен. Значения показателя на вертикальной оси усреднены по результатам наблюдений за поведением многих животных. Как видно из диаграммы, самцы тратят больше времени на передвижение, обеспечение себя пищей и меньше — на отдых. Различия в характере активности отражают неодинаковую роль, которую играют самцы и самки в создании следующего поколения сообщества.

ключевые факторы в эволюции сообщества самцов, которые кооперируются для кормежки, спаривания и защиты территории.

Разделение между связанными родственными узлами самцами и входящими в то же сообщество самками пронизывает все аспекты жизни шимпанзе. Самцы предпочитают компанию других самцов во время передвижений по лесу или длительных процедур обыскивания, которые обычно следуют за утренними поисками пищи; самки в этих случаях выбирают в партнеры самок. Даже характер дневной активности у самцов и самок различен. День живущего в природе шимпанзе заполнен тремя видами деятельности — передвижением, добычей пропитания и отдыхом, куда входят обыскивание и другие формы социальных контактов и самообеспечения. В Нгого самцы тратят по сравнению с самками больше времени на путешествия (12 и 10% соответственно), обеспечение себя пищей (62 и 52%) и меньше — на отдых (26 и 38%).

Неудивительно, что структура дневной активности у представителей разных полов неодинакова. Это объясняется их различным вкладом в создание нового поколения. В размышлениях о роли родителей в сообществах животных полезно вспомнить концепцию «родительского вклада», сформулированную Р. Трайверсом из Гарвардского университета. Пытаясь дать количественное определение родительского вклада, Трайверс определяет его как часть жизни родителей, затрачиваемую на выращивание каждого из потомков до возраста, когда он становится независимым. Для самца шимпанзе прямой родительский вклад ничтожен, так как его отцовская роль заканчивается тотчас после копуляции. Самка, напротив, затрачивает силы на 9-месячную беременность, а затем на постнатальную заботу о каждом из отпрысков, длящуюся 4 или 5 лет, в течение которых детеныш полностью зависит от матери. Все это время мать постоянно находится рядом с молодым шимпанзе, защищает его, учит необходимым навыкам и часто носит на себе во время передвижений. Как показывают собранные в Гомбе статистические данные, самка шимпанзе начинает размножаться в 15-летнем возрасте и обычно живет 35—40 лет. Таким образом, каждый из потомков, чтобы дожить до половой зрелости, требует родительского вклада, приблизительно равного четвертой части взрослого периода жизни самки. Если выживают три или четыре детеныша, то на заботу о них уходит большая часть жизни матери.

РАЗЛИЧНОЙ репродуктивной стратегией особей разного пола и объясняется порой полная несопоставимость структуры дневной активности у самцов и у самок. Самке не нужно перемещаться, чтобы найти себе партнера. Передвижение нужно ей только для того, чтобы обеспечить достаточное питание себе самой и детенышу. Любая активность, выходящая за пределы необходимого минимума, будет оплачена ценой повышенных метаболических затрат, поскольку самка носит на себе детеныша. Самцы, напротив, должны перемещаться, нередко на большие расстояния, чтобы найти сексуального партнера и защищать границы своей территории. Кроме того, взрослые самцы, как правило, не должны заботиться о пропитании своих потомков, за исключением тех случаев, когда они путешествуют вместе с самками-подростками. Но и в этих случаях взрослый самец не несет детеныша на себе, так что дополнительные маршруты обходятся самцам не так дорого, как самкам. К тому же если учесть, что двигательная активность самцов побуждается большим количеством мотивов, заставляющих их путешествовать (в частности, стремлением найти себе партнершу для спаривания), то разумно предположить, что самки должны больше отдыхать и меньше двигаться, чем самцы.

Результаты недавних исследований, проведенных Дж. Гудолл, Г. Нисидой, Р. Рэнгхемом, мной и другими учеными, позволили получить более четкие представления о структуре сообщества шимпанзе. Сейчас почти все исследователи сходятся на том, что совместные действия генетически родственных самцов по охране своей территории составляют одну из основ сообщества. Иногда защита границ доходит до кровопролития. После того как подкормка бананами в Гомбе прекратилась, группы самцов стали патрулировать границы своего ареала. Патрульные рейды, которые не включали поиск пищи, по-видимому, совершались с целью закрепления границ ареала, принадлежавшего данному сообществу. В двух случаях было отмечено нападение патрулирующих групп на чужих самок, пришедших с маленькими детенышами на территорию сообщества; при этом детеныши были жестоко убиты (сходные случаи инфантицида наблюдались и в других районах, где проводились исследования).

Если бы детеныши выжили, они стали бы конкурировать с отпрысками убивших их самцов за доступ к источникам пищи. Самки же увеличивали репродуктивные возможности за-

щитников территории. После смерти детенышей у самок быстро начинается эструс. Если они останутся на новой территории, то, возможно, будут спариваться с самцами этого сообщества, способствуя их репродуктивному успеху. Значит, самцы, охранявшие свою территорию, по-разному относились к пришельцам в зависимости от конкурентоспособности последних. Предприняв серию вылазок, те же самцы в Гомбе уничтожили самцов небольшого сообщества шимпанзе, обосновавшегося южнее. После того как сообщество перестало существовать, победители заняли их территорию.

Хотя большинство ученых пришли к согласию относительно того, что кооперация среди самцов составляет основу структуры сообщества шимпанзе, споры о том, какова эта структура, продолжаются. Например, Р. Рэнгхем считает сообщество шимпанзе организацией только мужских особей, мотивируя это тем, что характер передвижения самок и самцов не совпадает. Он отказывает самкам в праве быть частью территориального сообщества. В предлагаемой им модели ареалы самок вкраплены в территорию самцов, как изюмины в пудинг. То, что границы ареалов женских особей находятся в пределах этого, а не другого сообщества самцов, является, по мнению Рэнгхема, более или менее делом случая. Он утверждает также, что самки шимпанзе, по существу, очень сходны с самками орангутанов и основное различие между ними состоит в том, что самки шимпанзе спариваются с группой самцов, а не с единственным повелителем.

Модель сообщества, основанная исключительно на характере передвижения и генетических интересах самцов, привлекательна своей простотой. Однако в ней есть один изъян, заключающийся в том, что она не учитывает некоторых факторов, играющих весьма существенную роль в жизни самок шимпанзе. Самка не может просто так, по своему желанию, занять место на территории, как это предполагается в модели «одни самцы». По достижении половой зрелости она должна уйти из родного сообщества, чтобы избежать спаривания со своими родственниками, а после рождения детеныша должна оставаться на территории, контролируемой ее партнерами, в противном случае чужие самцы, охраняющие границы своего ареала, могут убить ее потомство. Вот почему успешно размножающиеся самки с детенышами будут держаться в пределах одного сообщества самцов.

БОЛЕЕ того, поведение самок шимпанзе позволяет предположить, что им не чужды интересы сообщества. Внутри принявшей ее группы самка склонна контактировать только с другими самками. Некоторые из них могут происходить из того же сообщества, что и она, и, следовательно, быть ее генетическими родственниками. В отличие от орангутанов самки шимпанзе предпочитают вместе передвигаться по территории. Но самое удивительное то, что в некоторых случаях они сообща прогоняют чужих самок, пытающихся проникнуть на их территорию. Такое поведение означает, что самки чувствуют себя членами сообщества. Если отнестись к этим наблюдениям с должным вниманием, то можно сделать вывод, что отдельное сообщество самок складывается на сообщество самцов шимпанзе.

Дж. Гудолл и я считаем, что структура сообщества основывается на поведении как самцов, так и самок, и в равной мере служит представителям обоих полов. Поскольку стратегия размножения у самцов и у самок сильно различается, то вполне естественно, что у них не могут полностью совпадать ареалы и дневная активность. И тем не менее обе группы образуют единое целое. Достаточно гибкая социальная структура, построенная по типу «слияние — разделение», позволяет преодолеть эти противоречия. Такая структура в то же время позволяет обезьянам оставаться приверженцами фруктовой диеты и периодически восстанавливать связи, необходимые для поддержания крупного сплоченного сообщества.

Большую часть времени своего существования как вида люди провели в группах охотников-собираателей. Поскольку патриархальная структура сообщества шимпанзе, основанная на принципе «слияние — разделение», напоминает организацию большинства охотничье-собираательских групп, можно ожидать, что изучение шимпанзе будет способствовать пониманию некоторых тенденций, характерных для человеческого общества. Однако для того, чтобы такие исследования принесли свои плоды, эти обезьяны должны сохраниться на нашей планете. Повсюду на Земле цивилизация уничтожает сформировавшиеся влажные тропические леса, причем с такой скоростью, что к 2035 г. их совсем не останется. В результате шимпанзе попали в число видов, которым всерьез угрожает исчезновение. Я надеюсь, что люди сумеют оставить обезьянам достаточно жизненного пространства, чтобы они продолжали и впредь делить с нами место под солнцем.

На пути к достижению цели

ПРОГРАММА по созданию нового ускорителя элементарных частиц — сверхпроводящего суперколлайдера (Superconducting Super Collider, SSC) находится в стадии осуществления. На проведение работ, предусмотренных этой программой, ежегодно будет отпусаться 20 млн. долл. Привлеченные к осуществлению программы физики-ядерщики в основном достигли согласия относительно того, какими должны быть энергия взаимодействий и светимость, чтобы с помощью планируемой установки можно было достичь одной из главных целей — экспериментально решить некоторые наиболее важные вопросы, связанные с единым описанием природы электромагнитных и слабых взаимодействий. Однако некоторые проблемы еще ждут своего решения, в частности вопрос о месте расположения SSC. Предстоит принять также окончательное решение относительно конструкции приборов, которые должны будут регистрировать новые частицы. Речь идет об очень дорогостоящем оборудовании, поддержка со стороны правительства, по-видимому, будет незначительной и, кроме того, от предстоящего эксперимента в значительной степени будет зависеть развитие физики элементарных частиц в предстоящие два десятилетия, поэтому каждое принимаемое решение должно быть однозначным.

Конструкция установки SSC должна быть рассчитана на ускорение двух направленных навстречу друг другу пучков протонов, движущихся по большой замкнутой петле. Затем оба пучка должны сталкиваться, выделяя энергию, достаточную для образования новых частиц. Какая бы конструкция установки ни рассматривалась, основная ее цель заключается в том, чтобы обеспечить светимость, достаточную для получения статистически надежных экспериментальных данных. Светимость, которую приблизительно можно представить как меру плотности частиц в поперечном сечении (встречного) пучка, определяет число столкновений в одну секунду между частицами обоих пучков и, следовательно, частоту столкновений, представляющих научный интерес. Светимость для каждого пучка в SSC должна составлять 10^{33} частиц на $1 \text{ с} \cdot \text{см}^2$.

Другая ключевая задача состоит в том, чтобы получить такую высокую энергию, которая была бы достаточ-

на для осуществления еще не исследованных физических процессов с высокой степенью достоверности. Большинство ученых считают, что новые процессы будут наблюдаться, если протоны в каждом пучке будут ускорены до энергии порядка $20 \cdot 10^{12}$ эВ (20 ТэВ).

Основным звеном в ускорителе являются магниты, которые будут направлять и фокусировать протонные пучки. Одна из конструкций, представляющая собой компромиссное решение между двумя вариантами, предложенными разработчиками Брукхейвенской национальной лаборатории и Национальной ускорительной лаборатории им. Ферми (Fermilab), предполагает установку сверхпроводящих магнитов с магнитной индукцией около 6 Т. Такие магниты могли бы направлять каждый пучок протонов в сжатое кольцо длиной окружности 100 км. В другой конструкции ускорителя, предложенной Ускорительным центром Техасского университета, предполагается установка магнитов с индукцией 3 Т. Магнитное поле, генерируемое более слабыми магнитами, менее чувствительно к случайным сдвигам витков обмотки по сравнению с более сильным полем, но, поскольку круговая протяженность ускорителя должна составлять 160 км, больше подходит конструкция, предложенная техасскими специалистами.

Одним из важных аспектов, который придется рассматривать при создании детекторов, — проблема измерения энергии, отходящей из области столкновения. Общее мнение ученых таково, что предназначенные для этой цели калориметры должны измерять энергию частиц, излучаемых во всех направлениях, но пока еще не определен материал, который будет использоваться для задержания частиц. Уран более подходит, чем железо или свинец, для задержки нейтронов, и с помощью урановых калориметров энергию можно было бы измерять в два раза точнее, чем калориметром, сделанным из железа. В то же время урановые калориметры дороже, чем железные или свинцовые.

С этой проблемой непосредственно связан вопрос о том, нужно ли измерять заряд и момент излучаемых мюонов, которые, как ожидается, будут продуктом окончательного распада нескольких экзотических частиц. Возможность проведения таких измерений зависит от того, насколько магнитное поле известной величины будет отклонять траекторию частиц.

Вниманию читателей!

Издательство «Мир» выпускает в переводе на русский язык
6 научно-технических журналов США:

«Аэрокосмическая техника»,
«В мире науки»,
«Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике» («ТИИЭР»)
«Труды Американского общества инженеров-механиков»,
«Электроника»,
«Приборы для научных исследований»,
а также библиографический журнал
«Новые книги за рубежом».



«Аэрокосмическая техника»

Журнал «Аэрокосмическая техника» выходит с 1983 года. Ранее издавался под названием «Ракетная техника и космонавтика».

Включает переводы наиболее интересных и актуальных статей, которые публикуются в пяти журналах Американского института аэронавтики и астронавтики. Выпускается в виде специализированных тематических выпусков.

Тематика статей: теоретическая и экспериментальная газодинамика; аэродинамика летательных аппаратов; аэроакустика; авиационные и ракетные двигатели; топливо, физика горения и взрыва; прочность и устойчивость конструкций летательных аппаратов, аэроупругость; материалы для авиационной и ракетно-космической техники; теплопередача, теплозащита летательных аппаратов и их элементов; управление самолетами, ракетами и космическими летательными аппаратами; лазеры и их применение; применение ИСЗ, спутниковая связь; энергетика, МГД-устройства; исследование космического пространства и планет Солнечной системы; охрана окружающей среды.

Журнал выходит ежемесячно. Цена одного номера 3 р. 10 к., подписная цена на год 37 р. 20 к. Индекс 91345.

«В мире науки»

Издание на русском языке журнала «Scientific American», одного из наиболее авторитетных научно-популярных журналов, выходящих в США с 1845 года.

Публикуются статьи о последних достижениях во всех областях науки, написанные ведущими учеными из разных стран мира.

С научными идеями, исследованиями, разработками, гипотезами, излагаемыми на страницах журнала, советские читатели имеют возможность ознакомиться одновременно с читателями ФРГ, Испании, Италии, Франции, Японии и КНР, где также переводится этот журнал. Читательская аудитория журнала во всем мире, включая англоязычную, превышает 3 млн. человек.

Строго научный подход в сочетании с доступностью и увлекательностью изложения материала делают журнал интересным как специалистам, так и широкому кругу читателей. Многочисленные красочные иллюстрации служат прекрасным дополнением к тексту.

Имеются рубрики: «Занимательный компьютер», «Наука и общество», «Книжки», «Наука вокруг нас», «50 и 100 лет назад».

Журнал выходит ежемесячно. Цена одного номера 2 р., подписная цена на год 24 р. Индекс 91310.



«Труды Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике» («ТИИЭР»)

Перевод журнала «Proceedings of the IEEE» — одного из ведущих журналов по теоретическим и прикладным вопросам радиоэлектроники, электротехники и смежных с ними областей.

Публикуются статьи по следующей тематике: полупроводниковая и квантовая электроника; расчет и проектирование радиоэлектронных схем и устройств; системы управления и кибернетика; вычислительная математика; вычислительная техника и ее применения; радиолокация; теория и техника связи; электро- и радиоизмерения; использование новых физических явлений в электронике; электроэнергетика; транспорт; электромагнитные явления в биологии и медицине.

Ведущая роль отводится обстоятельным обзорам методического характера.

Несколько номеров в годовом комплекте — тематические выпуски.

Журнал выходит ежемесячно. Цена одного номера 3 р. 30 к., подписная цена на год 39 р. 60 к. Индекс 91365. Редакция принимает предварительные заказы на отправку отдельных номеров наложенным платежом.



«Труды Американского общества инженеров-механиков»

Журнал выходит в пяти сериях.

1. Энергетические машины и установки.

Цена одного номера 3 р., подписная цена на год 12 р. Индекс 91355.

2. Конструирование и технология машиностроения.

Цена одного номера 4 р. 90 к., подписная цена на год 9 р. 60 к.

Индекс 91357.

3. Теплопередача.

Цена одного номера 3 р. 20 к., подписная цена на год 12 р. 80 к.

Индекс 91359.

4. Теоретические основы инженерных расчетов.

Цена одного номера 3 р. 70 к., подписная цена на год 14 р. 80 к.

Индекс 91361.

5. Проблемы трения и смазки.

Цена одного номера 2 р. 50 к., подписная цена на год 10 р. Индекс 91364.

«Электроника»

Представляет перевод журнала «Electronics Week», одного из наиболее распространенных в мире журналов инженерного профиля по электронике и радиотехнике.

В центре внимания журнала: ЭВМ и сопутствующие средства вычислительной техники, технология дискретных полупроводниковых приборов и интегральных схем, телевизионное оборудование и аппаратура связи, измерительная и испытательная техника.

Отражается состояние экономики производства и конъюнктуры рынков электронной промышленности США, Западной Европы и Японии. Помещаются аналитические и прогностические обзоры по ведущим направлениям электронной техники. Имеются рубрики «Обзорные электронные техники» и «Новые изделия».

Журнал выходит один раз в две недели. Цена одного номера 1 р. 80 к.; подписная цена на год 46 р. 80 к. Индекс 91370.



«Приборы для научных исследований»

Полный перевод журнала «Review of Scientific Instruments», издаваемого Американским институтом физики, наиболее авторитетного зарубежного журнала по методике, технике и аппаратуре для проведения экспериментальных работ в различных областях физики и ее многочисленных приложений. Описываются новые схемы и конструкции физических приборов и измерительных устройств, методика проведения точных и сверхточных измерений, использование стандартной аппаратуры в новых условиях.

В журнале публикуются обзорные статьи. В 1985 г. вышли в свет обзоры по микроскопии в мягких рентгеновских лучах и характеристикам ФЭУ для счета фотонов.

В каждом номере представлен раздел «Новые приборы, детали и материалы», в котором сообщаются сведения о новинках приборостроения ведущих фирм США, Западной Европы и Японии.

Журнал выходит ежемесячно. Цена одного номера 2 р. 50 к., подписная цена на год 30 р. Индекс 91340.

«Новые книги за рубежом»

Единственное в СССР издание, специально предназначенное для публикации развернутых рецензий на новые иностранные книги.

Бюллетень «Новые книги за рубежом» выходит ежемесячно в трех сериях.

Серия А. Математика, астрономия, геофизика, физика, химия, геология, научно-популярные книги.

Цена одного номера 70 к., подписная цена на год 8 р. 40 к. Индекс 70631.

Серия Б. Техника.

Цена одного номера 85 к., подписная цена на год 10 р. 20 к. Индекс 70632.

Серия В. Биология, медицина, сельское хозяйство.

Цена одного номера 50 к., подписная цена на год 6 р. Индекс 70633.

Бюллетень публикует сообщения об иностранных книгах, вышедших в различных зарубежных издательствах, а также списки иностранных книг, поступивших в крупнейшие научно-технические библиотеки Советского Союза.



Подписка на журналы издательства «Мир»

принимается во всех отделениях «Союзпечать» на квартал, на полгода и на год.

Журналы «Аэрокосмическая техника», «В мире науки», «Труды Американского общества инженеров-механиков», «Приборы для научных исследований», «Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике» («ТИИЭР»), «Электроника»

внесены в «Каталог газет и журналов зарубежных стран», раздел «Переводные научные и научно-технические журналы».

Библиографический журнал «Новые книги за рубежом» — в «Каталог советских газет и журналов», часть 2 «Журналы».

Мюоны, излучаемые в момент столкновения в SSC, будут обладать настолько высокой энергией, что снаружи калориметра придется устанавливать довольно массивный намагниченный железный детектор, который будет отклонять траекторию мюонов на заданную величину.

Предстоит решить еще немало других вопросов: нужно ли в самом калориметре создавать магнитное поле, чтобы измерять момент заряженных частиц, являющихся побочным продуктом реакции; под каким углом к оси основной петли следует предусмотреть прохождение встречных пучков; как вокруг петли разместить экспериментальные залы, в которых будут происходить столкновения пучков; потребуются ли какое-либо дополнительное оборудование для создания пучков поляризованных частиц; удастся ли направить вторичные пучки побочных продуктов столкновения, таких, как нейтроны или В-мезоны, на фиксированную мишень для их изучения? Ответы на эти вопросы физики будут пытаться найти в течение следующих двух лет.

Гипноз и точность воспоминаний

В ТЕХ случаях, когда в ходе расследования уголовных или гражданских дел память подводит свидетелей, все чаще используют гипноз, чтобы помочь им вспомнить забытые подробности. Полученные таким способом показания иногда даже принимались в качестве свидетельских. Авторитетная комиссия совета по научным вопросам Американской медицинской ассоциации ставит под сомнение полезность «гипнотических воспоминаний» в подобных случаях. В своем докладе комиссия отмечает, что, хотя люди в состоянии гипноза сообщают обычно больше информации, их воспоминания содержат много неточностей.

Выводы комиссии основаны на результатах проведенных в последние два года исследований, касавшихся влияния гипноза на способность человека вспоминать забытое. В одном из таких исследований, говорится в докладе комиссии, опубликованном в "The Journal of the American Medical Association", подвергнутые гипнозу люди вспоминали отрывки стихов, которые они заучивали много лет назад, но без гипноза уже не могли вспомнить. Когда, однако, исследователи сравнили подлинный текст стихов с тем, что вспомнили под гипнозом испытуемые, оказалось, что те либо просто импровизировали, либо

сочиняли вместо забытых кусков отрывки в стиле автора. Многие другие исследования подтверждают вывод о том, что, хотя под гипнозом люди как будто бы вспоминают больше подробностей, это всегда сопровождается снижением точности воспоминаний. Предвзятые представления, свойственные испытуемому или исследователю, могут еще больше исказить воспоминания. Например, на человека, находящегося в состоянии гипноза, легче повлиять наводящими вопросами, чем на незагипнотизированного.

Комиссия рекомендует использовать гипноз только на стадии расследования дела. В этом случае не столь важно, если часть воспоминаний будет неверной: их можно проверить путем сравнения с показаниями других свидетелей, а в то же время единственный верный факт, который удастся вспомнить свидетелю, может навести следствие на правильный путь.

Детекторы гравитационных волн

К АК ожидается, Национальный научный фонд выделит в следующем финансовом году дополнительно 1 млн. долл. на создание двух детекторов, способных обнаруживать колебания структуры пространства-времени. Существование этих колебаний, называемых гравитационными волнами, предсказывает общая теория относительности Эйнштейна; при прохождении через некоторую область пространства-времени эти волны должны вызывать ее попеременное сжатие и расширение. Два предложенных детектора, которые совместно разрабатываются Калифорнийским и Массачусетским технологическими институтами, смогут обнаруживать относительные смещения, вызванные гравитационными волнами, с точностью до нескольких частей на 10^{21} и выше.

Каждый детектор будет представлять собой лазерный интерферометр, размещенный внутри двух труб, расположенных под прямым углом друг к другу и откатанных до давления примерно 10^{-11} ат. Диаметр каждой трубы будет равен 1,22 м, длина — около 5 км. Вблизи места их пересечения размещается лазер. Лазерный пучок разделяется в месте пересечения труб на два пучка, каждый из которых направляется по одной из труб на зеркало, установленное на свободно подвешенном в конце трубы металлическом теле. Два отраженных пучка накладываются друг на друга на экране, закрепленном на другом металли-

ческом теле, свободно подвешенном вблизи лазера. При этом на экране можно будет наблюдать интерференционную картину. Проходящие через детектор гравитационные волны будут слегка изменять расстояние между металлическими телами, что приведет к изменению интерференционной картины.

Такие гравитационные волны столь слабы, что до настоящего времени непосредственно наблюдать их еще никому не удавалось; имеются лишь косвенные свидетельства их существования. Одним из них является наблюдавшаяся Дж. Тейлором из Принстонского университета потеря энергии в системе двойной звезды; величина этой потери находится в хорошем соответствии с предсказанной потерей энергии в результате гравитационного излучения этой системы.

В настоящее время наиболее чувствительным прибором для обнаружения гравитационных волн является так называемый резонансный детектор. Он представляет собой цилиндр, изготовленный, как правило, из алюминия, который под действием приливных сил, вызванных гравитационной волной, начинает вибрировать подобно гонгу. Как показали эксперименты, гравитационная деформация такого цилиндра составляет менее чем 1 часть на 10^{17} .

У лазерного интерферометра по сравнению с резонансным детектором есть два основных преимущества. Во-первых, интерферометр позволяет регистрировать гравитационные волны относительно широкого диапазона частот. Во-вторых, его чувствительность можно легко повысить: для этого достаточно увеличить плечи интерферометра, т.е. длину труб. Резонатор же нельзя удлинить без изменения его резонансной частоты. Для того чтобы выделить истинные сигналы на фоне помех, нужны два детектора одинаковой чувствительности. Поэтому один лазерный интерферометр предполагается построить на восточном побережье США в штате Мэн, другой — в Калифорнии.

Астрономия гравитационных волн может привести к еще более интригующим открытиям, чем это сделала радиоастрономия в 50-х годах. Гравитационные волны позволяют получить информацию о таких явлениях, как образование систем двойных звезд, компоненты которых являются нейтронными звездами или черными дырами, эволюция сверхновых, ранние стадии Большого взрыва, и, возможно, о других явлениях, о существовании которых мы пока даже не подозреваем.

Сифоны в древнеримских водопроводах

При прокладке водопроводов через ущелья древние римляне сооружали либо мост, либо сифон. Им был известен основной принцип сифона: вода в трубе должна всегда возвращаться к своему первоначальному уровню

А. ТРЕВОР ХОДЖ

ОДНИМ из замечательных инженерных достижений древних римлян была система водопроводов, по которым вода ежедневно поступала в главные города Римской империи. Многокилометровый водопровод проходил по пересеченной местности. Для его прокладки через ущелье римляне применяли два различных способа: либо строили через ущелье мост с небольшим уклоном в сторону стока, либо использовали принцип сифона, согласно которому вода в трубе должна всегда возвращаться к своему первоначальному уровню. Для этого сооружали систему труб, которые круто спускались по одному склону ущелья и поднимались по другому. В тех случаях, когда глубина ущелья была относительно небольшой, строили мосты. Там же, где ущелье было слишком глубоким, сооружали сифон.

Как известно, сифон представляет собой трубу, по которой жидкость переливается с одного уровня на другой через промежуточное возвышение, т.е. по траектории в форме буквы «П». Другими словами, жидкость сначала течет вверх по трубе, и это движение должно быть первоначально сообщено ей насосом или другой внешней силой. Затем жидкость перетекает по сифону самостоятельно благодаря атмосферному давлению, действующему на поверхность открытого бассейна на подающем конце сифона. Принцип сифона знаком автолюбителям: один конец шланга опускают в бензобак автомобиля, затем нужно засосать бензин на другом конце шланга и быстро опустить его в канистру. Бензин будет сам стекать из бака в канистру до тех пор, пока его уровень в баке остается выше уровня в канистре.

Конструкцию сифона, применявшегося в Древнем Риме, правильнее называть обратным сифоном, или дюкером. В нем жидкость движется по U-образной траектории, и сифон начинает работать, как только жид-

кость вводится в одно из его плеч. В простом U-образном сифоне жидкость, введенная на одном конце, поднимется до того же уровня на другом. Римские сифоны имели значительную длину, поэтому потери на трение становились заметными и приемный конец приходилось устраивать на уровне несколько ниже подающего конца.

Хотя известно более двадцати сифонных сооружений, относящихся ко времени Римской империи, роль сифонов в римских гидравлических системах обычно недооценивается. В отличие от впечатляющих развалин древних мостов до нас сохранилось очень мало остатков сифонов. Их прокладывали по поверхности земли, поэтому они могли быть легко разрушены. Кроме того, они играли лишь второстепенную роль в системе римских водопроводов, которую современные ученые изучили наиболее тщательно. (Сифоны, очевидно, сооружали главным образом на территории современной Франции, в частности, вокруг Лиона, где в четырех водопроводах, снабжавших город водой, было девять сифонов.) Таковы две основных причины, по которым роль сифона оказалась недооцененной.

Вследствие этой недооценки многочисленные приверженцы ошибочных представлений (все еще бытующих в учебниках по римской гидравлике) утверждают, что римляне предпочитали строить мосты, а не сифоны потому, что не умели изготавливать трубы, способные выдерживать высокое давление воды в обратном сифоне. В действительности же перемещение воды по трубам в римских сифонах осуществлялось под значительным давлением. В 1875 г. французский инженер Эжен Бельгран изготовил копии римских труб и подверг их испытаниям на разрушение, которое происходило только тогда, когда давление в трубах достигало 18 ат. Такие трубы могли успешно работать в си-

фоне, опускающемся на 180 м ниже исходного уровня. Этот сифон не смогли бы заменить и три моста Пон-дю-Гар, поставленные друг на друга. Мост-акведук Пон-дю-Гар — впечатляющее древнеримское сооружение высотой 50 м — находится близ Нима на юге Франции.

ОБЫЧНО сифон начинался в точке, где водопровод, проложенный в виде открытого канала из каменной кладки, достигал края ущелья, которое нужно было пересечь (см. рисунок на с. 72). В этом месте вода стекала в напорный резервуар, выложенный из кирпича и установленный поперек канала. По существу, этот резервуар был распределительным, так как сифон состоял не из одной (как в современной гидротехнике), а из нескольких (до девяти) тонких труб, уложенных параллельно друг другу. Их входные концы располагались в ряд в нижней части резервуара.

Трубы изготавливали из свинцовых листов, которые сначала изгибали на деревянном сердечнике, после чего продольные края образованной трубы спаивали, а сердечник вынимали. Труба получалась овального или грушевидного поперечного сечения с непрерывным продольным швом. (Интересно, что шов, очевидно, не был самым слабым местом трубы; в испытаниях, проведенных Бельграном, разрушение происходило не по шву, а по боковой стенке.) Таким способом было трудно изготовлять трубы большого сечения, поэтому римские сифоны состояли из нескольких тонких труб. Обычно они имели наружный диаметр 25—27 см и толщину стенки от 3 до 5 см. Судя по сохранившимся остаткам, трубы изготавливались длиной около 3 м.

Подсоединенные к напорному резервуару, трубы опускались по короткому откосу до земли и проходили по склону ущелья с заглублением примерно на 1 м. Подземная прокладка труб, использованная, по-видимому,

для их защиты от повреждения целовеком, предотвращала также чрезмерное расширение труб в жаркие дни.

Сифонные трубы могли прокладываться до самого дна ущелья, следуя его профилю, однако на дне часто строился невысокий мост («вен-тер» — лат. *venter*), с тем чтобы ниж-

няя часть U-образного сифона была более плоской для уменьшения перепада высот. Вентер создавал два резких перегиба («геникулус» — лат. *geniculus*) на концах моста, вследствие чего могли возникать напряжения в стыках труб при ударе водяной струи. Однако он сокращал расстояние от верха до низа U-образного сифона и,

следовательно, уменьшал статическое давление.

Даже там, где вентер хорошо сохранился (например, близ Бонана под Лионом), на его поверхности уже нельзя обнаружить следов когда-то проложенных по нему труб. Вентер в Бонане имеет ширину 7,35 м, значительно большую, чем необходимо для



НАПОРНЫЙ РЕЗЕРВУАР И ОТКОС — элементы сифона в Сусьё на водопроводе Жье, одном из четырех водопроводов, снабжавших водой древнеримский Лугдунум (ныне Лион). Вода поступала из открытого канала в резервуар, а из него — в девять узких свинцовых труб. Трубы спу-

скались по откосу (на переднем плане), шли вниз по склону ущелья с заглублением примерно на 1 м, пересекали низкий мост (вентер) и поднимались по противоположному склону к приемному резервуару. Оттуда вода стекала в открытый канал.

прокладки девяти труб диаметром 25 см. Вероятно, широкие края моста служили проходом для рабочих.

После второго геникулуса трубы поднимались по противоположному склону ущелья. Наверху вода поступала в приемный резервуар, аналогичный напорному, а из него — в обычный водопровод. Приемный резервуар устанавливался заметно ниже уровня напорного резервуара; разность их уровней составляла так называемый гидравлический градиент. Вода могла бы подняться до своего первоначального уровня, если бы ее движение не замедлялось постепенно возрастающим трением в девяти тонких трубах. В трубах площадь соприкосновения воды со стенками значительно больше, чем в обычном прямоугольном канале, в частности, потому, что такой канал не заполнялся полностью и вода в его верхней части текла без трения о стенку. Следовательно, если бы оба конца сифона были на одном уровне, движение воды через сифон было бы настолько медленным, что произошло бы переполнение напорного резервуара. Для того чтобы обеспечить подачу воды в нужном объеме и с нужной скоростью, при устройстве сифона через ущелье приходилось мириться с большей потерей высоты, чем при соору-

жении обычного моста-акведука. Гидравлический градиент сифона был примерно в 10 раз больше нормально-го уклона моста-акведука.

О РАЗНООБРАЗИИ топографического характера местности, при котором римляне прибегали к устройству сифонов, можно судить по четырем сохранившимся акведукам, снабжавшим Лион водой: это Монт-д'Ор, Жье, Крапонн и Бревенн. Даже относительно короткий водопровод с небольшим общим перепадом высот мог потребовать сооружения нескольких сифонов; их число, вероятно, определялось числом ущелий, пересекаемых водопроводом. Водопровод Монт-д'Ор при перепаде высот 90 м имел два сифона. Водопровод Жье имел равномерный и небольшой уклон, но при общем перепаде высот 110 м потребовал устройства 4 сифонов. Водопровод Крапонн имел крутой перепад в 420 м и всего лишь два сифона, причем один из них — гигантских размеров. Водопровод Бревенн проходил по ступенчатому профилю перемежающихся обрывов и плато. При общем перепаде высот в 350 м для него потребовалось соорудить лишь один сифон.

Еще более поучительным может быть сравнение различных сифонов.

Водопровод Жье имел два больших сифона — близ Сусье и Бонана. Первый имел длину 1,2 км и глубину 93 м, второй — длину 2,6 км и глубину 123 м. По случайному совпадению перепад высот в каждом из них был 9 м. Это означает, что сифон у Сусье, как более короткий, имел больший гидравлический градиент. Водопровод Крапонн служит свидетельством когда-то существовавшего воистину огромного сифона длиной около 6 км, который опускался почти на 100 м ниже гидравлического градиента. Остаток этого сифона почти не сохранилось, и свидетельство о нем является в большей мере чисто топографическим: известно, что водопровод пересекал широкое и глубокое ущелье, слишком большое для сооружения моста, и, следовательно, там был использован сифон.

Даже по древнеримским нормам количество воды, поступающей по четырем лионским акведукам, не было особенно внушительным. По оценкам оно составляло 80 000 м³ в сутки, т.е. значительно меньше, чем у древнеримской водопроводной системы, — от 700 000 м³ до 1 млн. м³ в сутки. (Все цифры водопотребления в Древнем Риме могут показаться необычно высокими современному читателю, но нужно иметь в виду, что римляне по-

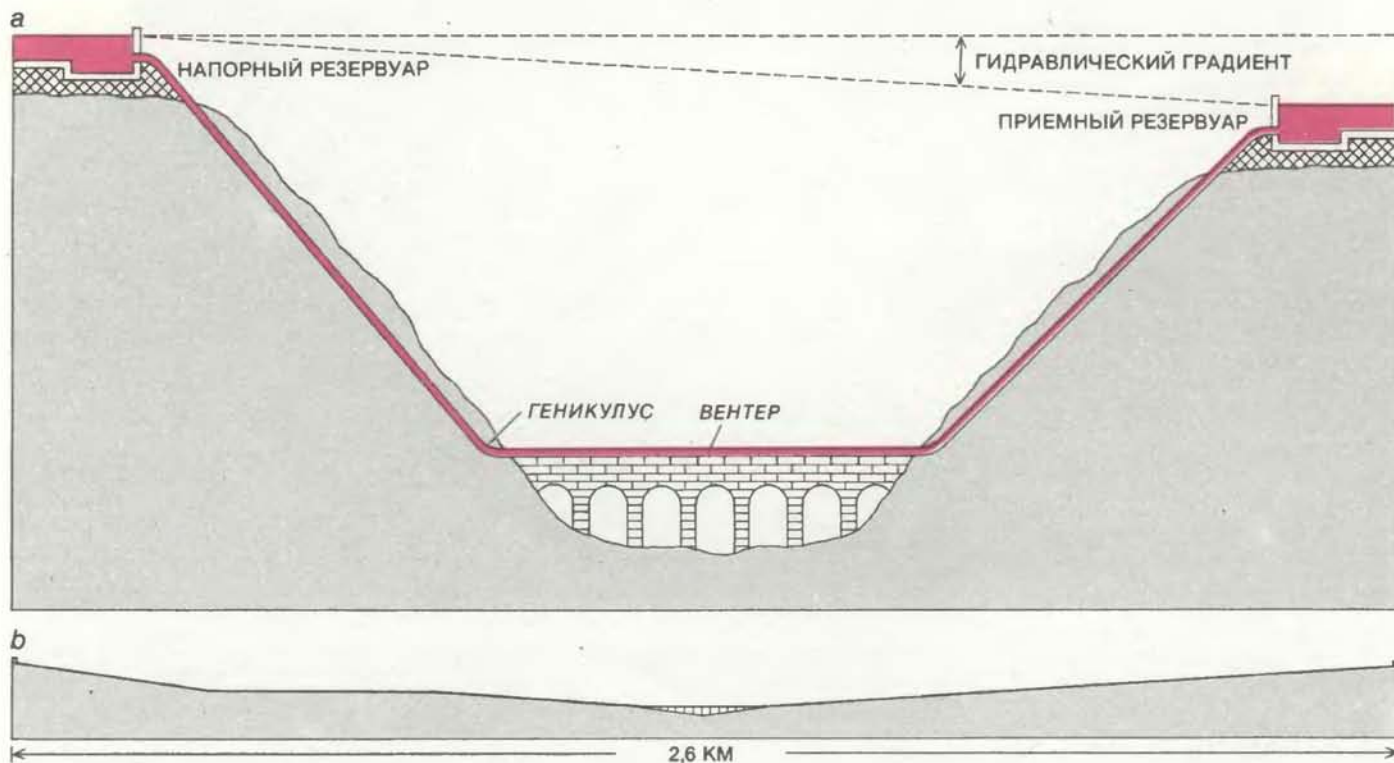


СХЕМА ДРЕВНЕРИМСКОГО СИФОНА (а). Конструкция называется обратным сифоном, так как вода движется по U-образной траектории в отличие от обычного сифона, имеющего П-образную форму. Давление воды было особенно высоким в месте перегиба труб (геникулусе) по концам моста (вентера), поэтому римляне обычно укрепляли здесь трубы массивной каменной кладкой. Вентер устраивался для того, чтобы несколько уменьшить перепад высот. Прием-

ный резервуар устанавливали несколько ниже уровня напорного резервуара ввиду замедленного движения воды в трубах вследствие трения; разность высот установки резервуаров составляла гидравлический градиент. Для наглядности масштаб по вертикальной оси увеличен. Схема (б) дает представление об истинном профиле и градиентах Бонанского сифона водопровода Жье.

чти не пользовались кранами и вода текла непрерывно, обеспечивая промывку канализационных стоков).

Тем не менее сифоны как инженерные сооружения внушают уважение уже своими размерами. Общая длина девяти сифонов в лионской водопроводной системе достигает 16,6 км. Если каждый сифон состоял из девяти труб, то общая длина труб должна быть около 150 км, т.е. почти равна расстоянию от Рима до Неаполя и больше чем расстояние от Нью-Йорка до Филадельфии. Для изготовления такого количества труб требовалось 12 — 15 тысяч тонн свинца, и очевидно, что добыча и транспортировка такого огромного количества свинца требовала гигантских усилий. Каждый метр этих труб находился под давлением, которое могло иногда достигать 12 ат. Несомненно, что в системе были течи, но она работала и перекрывала ущелья значительно большего размера, чем самые большие римские виадуки и мосты.

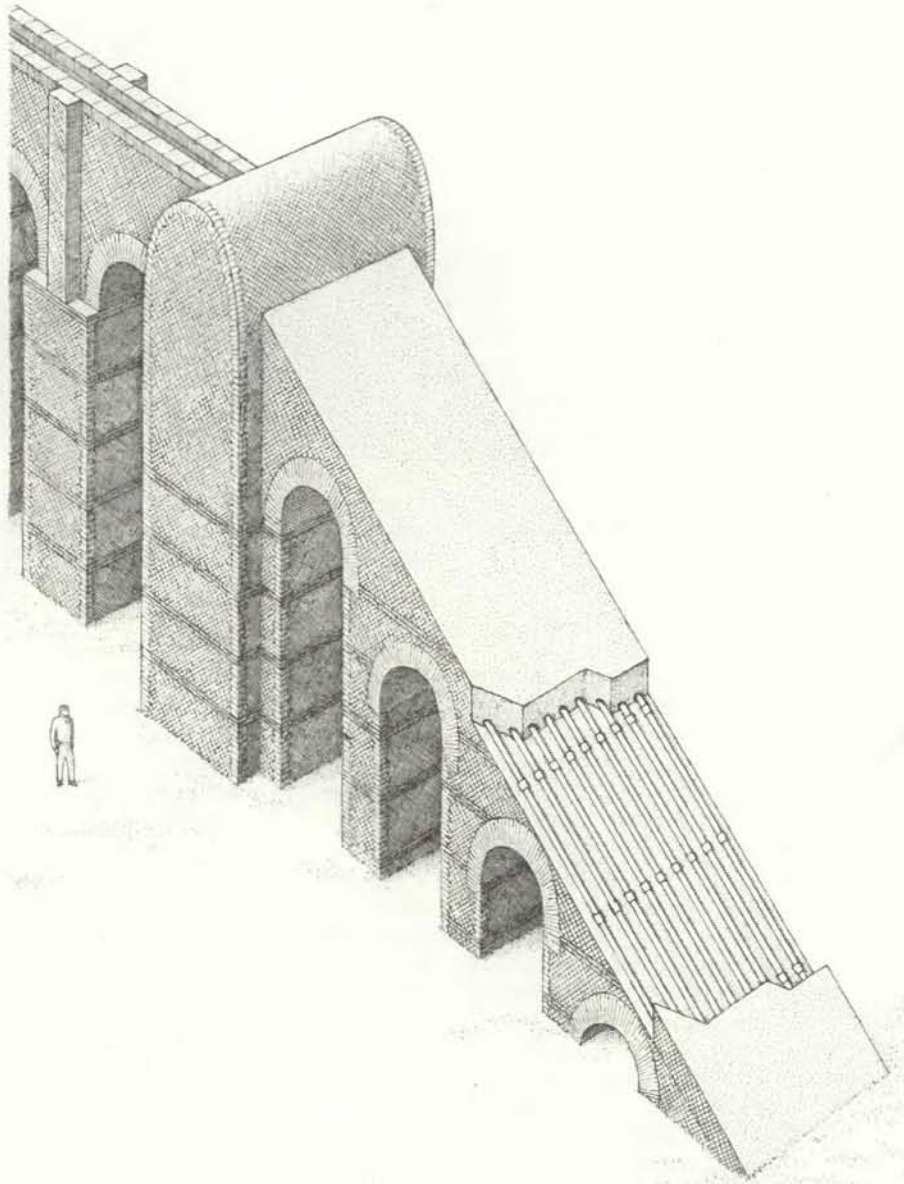
В ДОПОЛНЕНИЕ к тому факту, что вода поднимается в сифоне до своего первоначального уровня, древнеримские строители должны были учитывать действие в сифоне трех сил. Во-первых, это трение в трубах, которое замедляло течение воды настолько, что приходилось жертвовать высотой для того, чтобы обеспечить постоянный ток воды. Во-вторых, статическое давление в трубе, зависящее от глубины ее закладки относительно исходного уровня воды. Статическое давление создается самим присутствием воды и действует одинаково во всех направлениях. Оно остается неизменным независимо от того, движется вода или нет. В-третьих, инерционный напор, создаваемый водой в перегибах трубопроводов при ее движении. Инерционный напор направлен вовне по отношению к изгибу. Вторая сила действует всегда, когда сифон наполнен водой. Все три силы находятся в действии, только когда сифон наполнен и пропускает воду.

Сифоны приходилось периодически освобождать от воды для чистки и ремонта. При наполнении труб водой инерционный напор может достигать критической величины. Воду нужно было впускать медленно и постепенно до наполнения трубы. Если же затворы открывали резко, вода, обрушиваясь с высоты и ударя в первый перегиб трубы, могла ее разрушить. Отсечка воды для дренажа трубы также должна была производиться постепенно; в противном случае, т.е. при резком закрытии затвора, могло возникать явление гидравлического удара в результате распространения ударной волны в обратную сторону

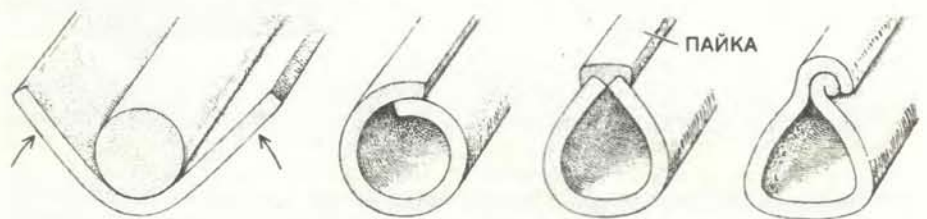
вдоль внезапно остановленного столба движущейся воды. Это также могло вызывать серьезные повреждения труб.

Мы не знаем, насколько полно понимали древние римляне эти принципы. Ясно, что они могли применять их эмпирически, поскольку известно, что сифоны работали успешно. По-

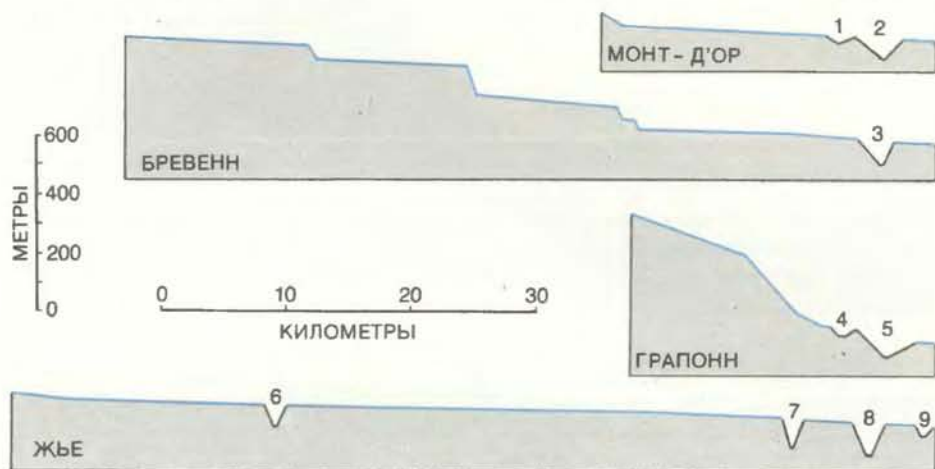
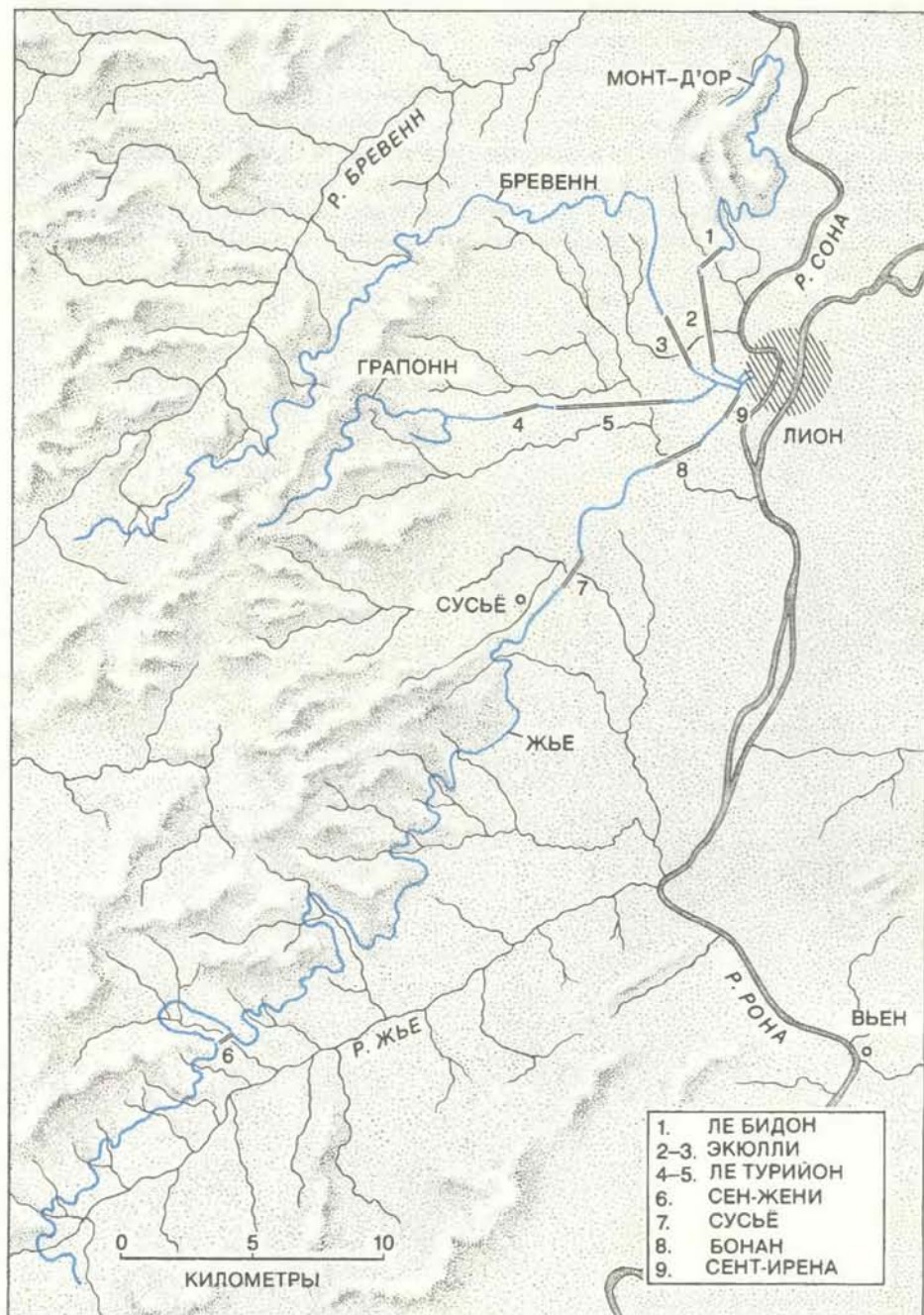
пытки отыскать подробное изложение теории сифонов в древних рукописях, к сожалению, не дали утешительных результатов. До нас дошел трактат о водопроводной системе Рима, написанный Секстом Юлием Фронтинусом, который в 97 г. н. э. был назначен управляющим водоснабжения Рима, однако он не упоминает сифоны



РЕКОНСТРУКЦИЯ начального участка сифона, выполненная Вальдемаром Хабери в Рейнском музее в Бонне. Напорный резервуар и трубы на откосе были защищены каменной кладкой. Трубы имели длину 3 м и наружный диаметр 25—27 см.



СИФОННЫЕ ТРУБЫ изготавливали гибкой свинцового листа на деревянном сердечнике. Сердечник затем вынимали, а верхний шов зачеканивали молотками или запаивали, чтобы обеспечить гидравлическую плотность (три правых рисунка). Трубы имели овальное или грушевидное поперечное сечение.



ЛИОНСКАЯ СИСТЕМА имела четыре водопровода: Монт-д'Ор, Бревенн, Грапонн и Жье. Всего в ней было 9 сифонов, что определялось числом глубоких ущелий, через которые проходили водопроводы. На нижнем рисунке показаны профили водопроводов Лионской системы. Названия сифонов пронумерованы (см. в нижнем правом углу карты) и те же цифры нанесены на карту, чтобы показать их положение на местности. Система подавала 80 000 м³ воды в сутки.

может быть потому, что они не считались значительным элементом римской водопроводной системы. Единственным дошедшим до нас письменным свидетельством является описание сифонов, содержащееся в восьмой книге «Об архитектуре» (De Architectura) Марка Витрувия Поллио.

Некоторые записи Витрувия вполне ясны. Он понимал, что дренаж и наполнение сифона должны производиться с осторожностью, и рекомендовал укреплять сифонные трубы массивной каменной кладкой, чтобы усилить их сопротивление инерционному напору в перегибах. Однако он заблуждался в основных принципах и, вероятно, не вполне понимал, как работает сифон.

В его описании сифонной гидравлики наибольшее заблуждение проявляется во фразе: «Etiam in ventre collivaria sunt facienda par quae vis spiritus relaxetur». Переводится она просто: «На дне сифона мы должны установить колливарины, чтобы выпустить воздушное давление». Однако понять ее почти невозможно. Латинские слова понятны, но фраза сама по себе бессмысленна.

В ЭТОЙ фразе две загадки. Первая относится к «колливариам». Слово нигде больше не встречается в латинских текстах, так что по нему невозможно судить об устройстве этого элемента сифонов. Приходится догадываться по контексту.

Вторая загадка связана с «воздушным давлением». Современные трубопроводы часто снабжаются выпускными клапанами для предотвращения образования воздушных мешков. Иногда высказывается предположение, что колливарины были именно такими выпускными клапанами, однако при этом не учитываются несколько существенных моментов.

Во-первых, воздушные мешки могут образовываться только в верхних точках трубопровода, где и устанавливаются теперь выпускные клапаны, а вовсе не «на дне». Во-вторых, в римском сифоне не мог скапливаться воздух, так как трубы были заполнены водой. Растворенный же в воде воздух мог выделяться из нее только при низком давлении, тогда как давление в сифоне было довольно высоким по всей его длине. Увлеченный водой воздух обычно образует воздушные мешки при низком давлении и скапливается в верхних точках сифона, но не у дна. Кроме того, форма римского сифона была не подходящей для скопления захваченного водой воздуха: пузырьки воздуха должны были попросту увлекаться водяным потоком, проходить через изгибы труб и свободно выделяться из воды на конце



БОНАНСКИЙ ВЕНТЕР, показанный из точки первого геникулуса, где трубы выходили из земли и проходили по поверхности моста. Ширина вентера была значительно больше, чем необходимо для укладки девяти узких труб; допол-

нительная ширина, очевидно, была необходима для прохода рабочих. Из-за высокой жесткости воды трубы приходилось часто чистить.

сифона. В-третьих, так как воздушные мешки могут образовываться только при низком давлении и, следовательно, представляют собой частичный вакуум, функцией выпускных клапанов могло бы быть лишь выравнивание давлений путем впуска воздуха извне.

Предполагалось также, что Витрувий имел в виду клапаны не для воздушного, а для водяного давления. Но это предположение еще дальше от истины, чем первое. Даже если бы древние римляне и были в состоянии сконструировать клапан с пружиной или противовесом, который открывался бы при заданном давлении, все равно не было бы никакой возможности снизить статическое давление (как только путем изменения профиля сифона с уменьшением его глубины), и, следовательно, такой клапан оставался бы постоянно открытым, т.е. он функционировал бы не как клапан, а как дыра в трубе.

Учитывая вышесказанное, следует заключить, что в сифоне не могло быть воздуха и не было средств снизить водяное давление. Представляется наиболее вероятным, что термин «колливинарии» обозначал дренажные краны или отверстия для чистки труб, возможно, с помощью инструментов типа шарошки. Вода в древнеримских городах была обычно жесткой и на внутренних стенках труб могли образовываться отложения. Поэтому

трубы приходилось регулярно чистить, чтобы избежать полного их забивания. Отложения могли образовываться и в узких сифонных трубах, и их тоже требовалось регулярно чистить или заменять.

ДРЕВНИЕ греки также применяли сифоны. Среди сифонов древности наиболее известен исключительно большой сифон в Пергаме в Малой Азии. Он относится ко времени правления эллинского монарха Евменеса Второго (197—159 гг. до н.э.), т.е., безусловно, к доримским временам, и состоит из одной трубы длиной 3 км, спускающейся на очень большую глубину — 190 м. Вода в сифоне создавала статическое давление примерно 19 ат.

В течение многих лет в наше время этот сифон был причиной многих заблуждений ученых. Поскольку многочисленные римские сифоны были неизвестны или не удостоивались должного внимания, пергамский сифон создавал ложное впечатление, что древние греки преуспели больше римлян в теории гидравлики и что они были более искусными инженерами, способными изготавливать трубы для больших давлений, тогда как римлянам это не удавалось.

Теперь очевидно, что это мнение ошибочно. Если сравнивать глубину самых больших римских сифонов с высотой самых больших построен-

ных ими мостов, можно заметить, что все их сифоны были очень большими и в их трубах могли развиваться высокие статические давления. Это само по себе опровергает существовавшее мнение, что древние римляне принимали все меры к тому, чтобы устранили давление. Напротив, можно утверждать, что они применяли трубы (а не открытые каналы или мосты-акведуки) во всех случаях, когда давления оказывались высокими.

Можно сделать и другой вывод. Сравнивая высоту сифонов и мостов-акведуков, можно видеть, что они не перекрывают друг друга и граница проходит на уровне 50 м. При большей глубине ущелья римляне сооружали не мост, а сифон. Можно поэтому заключить, что они отдавали предпочтение мостам-акведукам и обращались к сифону как к вспомогательному средству в тех случаях, когда их инженеры не могли построить мост или виадук нужной высоты. Очевидно, они полагали, что высота 50 м — предельная безопасная высота моста.

Так как римляне строили только сложные сифоны, то совершенно ясно, что более широкому применению сифонов препятствовали вовсе не технические трудности. Наиболее вероятная причина была высказана Норманом А. Ф. Смитом из Имперского колледжа науки и техники в Лондоне, который утверждает, что все дело

Издательство МИР предлагает:

Р. Линдон, П. Шупп

КОМБИНАТОРНАЯ ТЕОРИЯ ГРУПП

Перевод с английского

Систематическое и своевременное изложение комбинаторной теории групп. Значительная часть книги посвящена геометрическим методам и теории малых сокращений, представлены разделы по биполярным структурам Столлинга, разрешимости проблемы тождества слов и др. От книги Магнуса и др. с тем же названием, вышедшей в издательстве «Наука» в 1975 г., она выгодно отличается подбором материала и способом изложения.

Книга может служить как учебным пособием, так и источником информации для математика-специалиста. Она будет полезна всем, кто занимается теорией групп и смежными вопросами.

Оглавление: Свободные группы и их подгруппы. Порождающие и соотношения. Геометрические методы. Свободные произведения и HNN-расширения. Теория малых сокращений.

Из предисловий авторов

Возникающая на основе идей Гаула теория групп на начальном этапе своего развития была почти исключительно теорией конечных групп... Лишь сложившаяся

позже школа в теории групп, выдающаяся роль в которой играл О. Ю. Шмидт, занялась отчасти отысканием для бесконечных групп аналогов результатов, справедливых для конечных групп...

...Для последних лет характерен неуклонный рост интереса к бесконечным дискретным группам как при систематическом развитии абстрактной теории, так и в приложениях к другим областям. Продолжали укрепляться связи с топологией. Влияние результатов из области логики и теории алгоритмов особенно сильно стало ощущаться в теории бесконечных групп, а через нее и в топологии, после того как П. С. Новиков и Бун привели примеры групп с алгоритмически неразрешимой проблемой равенства слов...

...Мы сделали заметный акцент на связях с топологией, на рассуждениях примитивной геометрической природы и на связях с логикой. В нашем изложении мы пытались совместить ясность и замкнутость в себе (на весьма скромном уровне) с достаточной полнотой ссылок на исследования в рассматриваемой области...

1980, 29 л. Цена 2 р. 80 к.

Эту книгу вы можете приобрести в магазинах научно-технической литературы.

Если в ближайшем от вас магазине ее не окажется, заказ можно направить по адресу:

121019, Москва, просп. Калинина, 26, п/я 42, магазин № 200 «Московский Дом книги»;

103050, Москва, Петровка, 15, магазин № 8 «Техническая книга»;

117334, Москва, Ленинский проспект, 40, магазин № 115 «Дом научно-технической книги»;

191040, Ленинград, Пушкинская ул., 2, магазин № 5 «Техническая книга»;

344007, Ростов-на-Дону, ул. Энгельса, 4, облкниготорг.

Книга будет выслана наложенным платежом (без задатка).



было в экономике. Очевидным фактом является то, что сифоны обходились римлянам дороже, чем мосты. Каменная кладка была дешевой, особенно если камень добывался на месте; дешевыми также были кирпич и известковый раствор. Дешевым был и свинец, который получали в избытке как побочный продукт рафинирования серебра.

Не было проблемой, очевидно, и свинцовое отравление, хотя некоторые современные ученые и усматривают в широком применении свинца римлянами причину бесплодия и другие аспекты деградации и упадка. Римляне знали об опасности свинцового отравления. Кроме того, так как кранов не было, вода текла непрерывно и поэтому была в контакте со свинцовыми трубами лишь недолгое время. Толстая же корка карбоната кальция, которая постепенно образовывалась в трубах, служила изоляцией, так что через некоторое время после установки сифонных труб прямой контакт воды со свинцом прекращался полностью.

Проблема со свинцом заключалась в его транспортировке. Огромные затраты и тяжелый труд по доставке 15 000 т свинца в Лион, вероятно, послужили лучшим аргументом того, чтобы не повторять такой опыт чаще, чем это необходимо.

В наше время положение изменилось коренным образом благодаря чугуну. Этого материала не было в древности, так как тогда люди еще не научились развивать в печах достаточно высокую температуру для плавки железа. Все железо в древности было кричным железом, из которого нельзя было делать трубы. Сейчас сооружение сифона из чугунных труб обходится значительно дешевле, чем строительство моста. Интересно, что французы в Северной Африке часто подавали воду в приморские города по трассам древнеримских водопроводов, иногда реконструируя их; и во многих случаях там, где существовали древнеримские мосты, французы перекрывали пролет сифоном.

Идея проста. Древние римляне построили высокие арки моста Понтий-Гар не просто из любви к грандиозным сооружениям (хотя они, безусловно, гордились его величием) и не потому, что их строителям не хватало знаний греков или они якобы не могли делать прочные трубы. Решающим фактором была стоимость сооружения. Поэтому там, где проходили древнеримские водопроводы кое-где встречаются остатки кирпичных арок на месте, где когда-то можно было восхищаться смелостью инженерной мысли — перекрывающим ущелье сифоном.

Наука и общество

Для каждого пациента — свой антитела

НЕДАВНО группа ученых из Медицинской школы Станфордского университета и из Калифорнийского университета в Сан-Диего получила первые клетки, вырабатывающие чистые антитела человека. Получение таких антител можно рассматривать как крупный успех, поскольку до сих пор (без применения методов генной инженерии) в лабораториях получали антитела только от животных. При использовании таких антител относительно высока вероятность того, что они будут отвергнуты иммунной системой человека. Полученные человеческие антитела найдут применение при лечении сепсиса, вызываемого грамотрицательными бактериями. Это заболевание — одна из главных причин гибели больных от госпитальных инфекций. Ежегодно от него умирает около 75 тыс. американцев.

Стандартная процедура получения антител начинается с того, что в организм мыши вводят антиген и он стимулирует размножение В-лимфоцитов, вырабатывающих специфические антитела. Затем выделяют В-лимфоциты и сливают их с злокачественными клетками миеломы. В результате образуются бессмертные клетки, синтезирующие антитела. Такие клетки называют гибридами. Далее отбирают нужную гибридому и клонируют ее, что позволяет получить специфические «моноклональные» антитела в большом количестве.

В статье, опубликованной в "Proceedings of the National Academy of Sciences", Н. Тенг и Г. Каплан из Станфордского университета и А. Брауде из Калифорнийского университета в Сан-Диего описывают свой метод получения чистых моноклональных антител человека. Они вакцинировали двух пациентов, страдающих болезнью Ходжкина, мутантным штаммом *Escherichia coli*. Из селезенки каждого из этих больных, удаленной в связи с болезнью, были выделены В-лимфоциты. Затем получали гибридомы путем слияния этих лимфоцитов, образующих антитела против поверхностного эндотоксина бактериальных клеток, с гетеромиеломными клетками (которые в свою очередь были получены путем слияния человеческих и мышиных миеломных клеток). Поскольку гены, ответственные за образование антител, в полученных таким путем клетках-гибридах, были взяты от человека, они кодируют образование именно человеческих антител.

Есть надежда, что антитела нового типа позволят лечить сепсис, вызываемый грамотрицательными бактериями, так как это заболевание обусловлено их эндотоксином. В обычных условиях *E. coli* живет в пищеварительном тракте человека и здоровым людям вреда не причиняет, так как бактерии находятся под контролем иммунной системы организма. Болезнь или хирургическая операция снижают эффективность иммунной системы, что иногда позволяет бактериям прорваться сквозь защитные барьеры и вызвать отравление организма эндотоксином.

Тенг и его коллеги установили, что полученные ими антитела высокоэффективны в опытах с кроликами и мышами: они предотвращали заболевание и гибель животных, которым вводился бактериальный эндотоксин. Тенг предполагает, что антитела нейтрализуют эндотоксин, образуя комплекс с определенным участком его молекулы, но до конца этот механизм еще не изучен. Тенг планирует испытать антитела в клинике уже в будущем году.

Просто и дешево

КОБАЛЬТ и марганец — стратегически важные металлы, потребность в которых в США почти полностью (на 90%) удовлетворяется за счет импорта (в основном из африканских стран), а остальные 10% получают путем переработки для вторичного использования. Два сотрудника Ангоннской национальной лаборатории разработали несложный двухступенчатый процесс, с помощью которого можно извлекать кобальт и марганец из бедных и средних руд, добываемых в основном для получения других металлов. Они надеются, что новый технологический процесс обеспечит значительно более дешевое получение кобальта и марганца в промышленных масштабах.

Процесс основан на использовании расплавленной соли, которая растворяет более 90% кобальта и марганца, содержащихся в обычных бедных рудах, добываемых главным образом для получения таких металлов, как никель и медь. Соли представляет собой смесь хлоридов натрия, калия и магния. Она плавится при температуре около 400°C. Менее 2 кг такой соли (в основном перерабатываемой для вторичного использования) требуется на обработку примерно 500 г руды.

После растворения металла к смеси прикладывается электрическое напряжение (1,5 В или ниже). Растворен-

ный металл осаждается на углеродном электроде, с которого его можно снять за счет отслаивания; металл легко снимается, если электрод достаточно сократился при охлаждении.

Лабораторные исследования, связанные с разработкой описываемого процесса, начал проводить В. Марони. Позже к нему присоединился С. ван Винвух из Нью-Йоркского университета в Олд-Уэстбери. Оба исследователя считают, что на пути к промышленному освоению процесса никаких препятствий нет. Они также высказывают предположение о возможности получения кобальта и марганца на специальных плавучих платформах из руды, добытой со дна моря.

Издательство МИР предлагает:

Б. Карлсон ОСНОВЫ ЭМБРИОЛОГИИ ПО ПЭТТЕНУ

В двух томах
Перевод с английского

Книга Б. Пэттена «Эмбриология человека» (М.: Медицина, 1959) хорошо известна специалистам. В новой фундаментальной монографии рассмотрены предмет, методы и задачи эмбриологии, репродуктивная система, основные стадии эмбрионального развития, развитие нервной системы, органов чувств, пищеварительной, дыхательной, сердечно-сосудистой и мочеполовой систем. В приложении даны материалы о развитии куриного эмбриона в период от 18 часов до 4 дней.

Предназначена для эмбриологов, гистологов, генетиков, биологов развития, врачей, для студентов, аспирантов и преподавателей биологических специальностей.

1983, том 1, 28 л. Цена 3р. 10к.
Том 2, 32 л. Цена 3р. 50к.



Топология миражей

Математическая операция, называемая «отображением переноса», связывает свойства миражей с определенными топологическими представлениями. Благодаря этому некоторые особенности миражей можно понять, не исследуя атмосферные условия

УОЛТЕР ТЕЙП

КОРМА корабля напоминала гигантские ножницы. Через несколько минут ножницы исчезли, а верхняя часть судна расщепилась на две копии самой себя, одна из которых повисла в небе перевернутой вверх дном. Когда я наблюдал с берега проходящий рудовоз «Грейт Лейкс», такие картины сменялись одна другой, иногда довольно медленно, иногда за считанные секунды. Если я забирался повыше или спускался ниже, миражи изменялись, зачастую весьма существенно.

Хотя картины миражей могут быть весьма сложными, многие их черты нетрудно объяснить, используя топологические идеи. Представим себе, что фотографии, которые изображены на следующей странице, напечатаны не на бумаге, а на резине. Тогда каждую «резиновую» фотографию миража можно деформировать, не разрывая, так, чтобы она выглядела идентичной неискаженному изображению судна. Фотографии некоторых встречающихся в природе миражей пришлось бы деформировать совсем немного, но показанные здесь нужно было бы в отдельных местах сложить в несколько слоев.

Опираясь на эту «резиновую» модель, попробуем разобраться в изображенных снимках. Например, белая линия, идущая к носу корабля (на верхней фотографии), состоит из двух соединяющихся изображений прямой мачты: нижнее изображение прямое, а верхнее — перевернутое. Над этими двумя изображениями есть третье — довольно бледное прямое изображение. Чтобы сделать эту резиновую фотографию идентичной неискаженному изображению корабля, ее надо согнуть сначала вдоль горизонтальной линии, где сливаются два изображения, а затем — вдоль горизонтальной линии между перевернутым и самым верхним изображениями.

Описанная модель позволяет использовать абстрактные топологические методы. Эти методы, применя-

емые для объяснения миражей, весьма впечатляют: они дают возможность понять явление, не требуя количественной информации о сложных атмосферных условиях, ответственных за мираж. И наоборот, миражи могут служить графическими иллюстрациями топологических представлений.

Миражи возникают в тех случаях, когда атмосферные условия заставляют световые лучи искривляться на пути от наблюдаемого объекта к глазу наблюдателя (см. Fraser A., Mach W. Mirages, «Scientific American», January, 1976). Наблюдатель ошибочно интерпретирует путь света как прямой и видит таким образом смещенное изображение (см. верхний рисунок на с. 80). Если из одной и той же точки объекта к глазу идут несколько лучей, то наблюдатель видит многократные изображения этой точки.

В БОЛЕЕ полном варианте нашей модели деформируемая резиновая

фотография представляется участком небольшой сферы, называемой сферой изображения, которая приближена к глазу наблюдателя. Искривленный луч, соединяющий некоторую точку объекта и глаз, пересекает сферу изображения; направление на точку пересечения есть направление на видимое изображение исходной точки объекта. Рассматривая другие лучи, мы приходим к тому, что каждая точка миража, видимого наблюдателем, окажется на сфере изображения.

Сфере изображения сопутствует «объектная сфера». Ее центр также располагается на глазу наблюдателя, а сама она проходит через наблюдаемый объект. Можно считать, что объектная сфера несет на себе реальное изображение объекта в натуральную величину (т.е. неискаженную картину).

Пути, по которым следуют световые лучи между объектной сферой и глазом, дают возможность связать

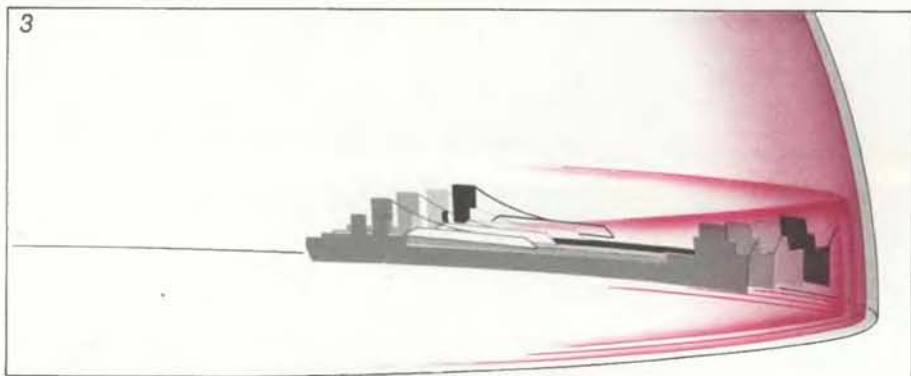
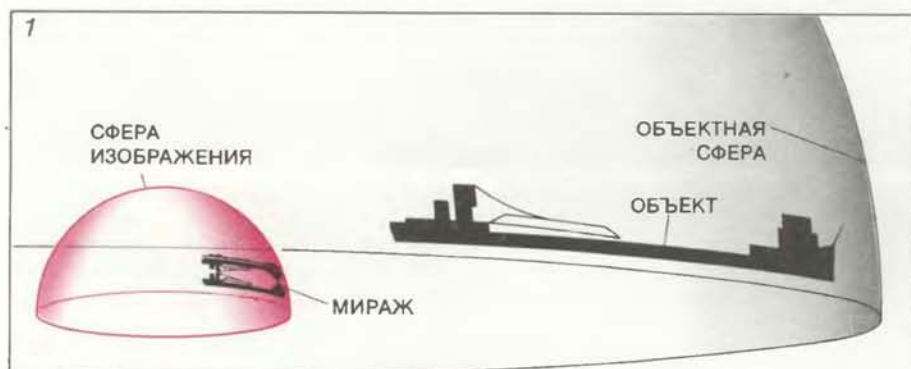


МИРАЖИ рудовоза «Грейт Лейкс» имеют общие черты, которые можно объяснить с помощью принципов топологии. Так называемая «теорема о нечетном числе изображений» гласит, что при определенных условиях каждая часть объекта должна иметь нечетное число изображений в мираже. Красная буква «С» на дымовой трубе, например, имеет три изображения на верхней фотографии; два изображения сливаются, а третье лежит над ними. На нескольких фотографиях видны только два изображения части судна. Тщательное изучение снимков показывает, что верхнее изображение скорее всего состоит из двух зеркальных изображений, одно из которых сильно уменьшено. Однако на четвертой фотографии изображений, по-видимому, действительно только два. Этот факт указывает на ограниченность применения теоремы о нечетном числе изображений. Фактически при определенных атмосферных условиях она неверна, а при других некоторые изображения уменьшаются до такой степени, что становятся почти незаметными.





ИСКРИВЛЕНИЕ СВЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ является причиной возникновения миражей. Искривленный луч (сплошная линия) попадает в глаз с направления, отличного от того, в котором действительно находится объект. Наблюдатель ошибочно интерпретирует путь луча как прямой (пунктирная линия) и таким образом видит смещенное изображение. Направление воспринимаемого наблюдателем изображения можно сопоставить с точкой, лежащей на малой сфере, называемой сферой изображения, центр которой приходится на глаз наблюдателя.



ОТОБРАЖЕНИЕ ПЕРЕНОСА создает основу для применения топологических принципов. Картина миража появляется на сфере изображения, которая приближена к глазу наблюдателя (1). Объектная сфера, центр которой также помещен на глазу наблюдателя, представляет объект таким, каким он был бы виден без искажений. Операция, называемая отображением переноса, расширяет и деформирует

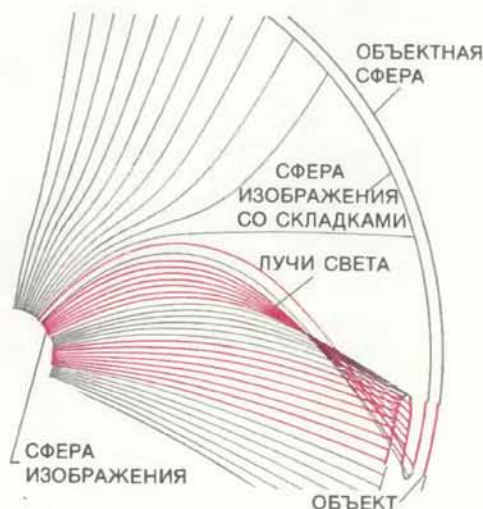
каждую точку на сфере изображения с точкой на объектной сфере. Представим себе, что сфера изображения резиновая и она расширяется до соприкосновения с объектной сферой. Каждая точка на сфере изображения движется вдоль светового луча, пока не встретит объектную сферу.

Если условия для возникновения миража отсутствуют, то лучи прямые и сфера изображения расширяется равномерно. Если световые лучи искривляются, что приводит к образованию миражей, то на сфере изображения при расширении могут возникнуть сгибы или складки. В этих областях к одному участку объектной сферы прикинется более чем один слой деформированной сферы изображения.

Этот процесс, в котором каждая точка сферы изображения «отображается» вдоль светового луча в точку на объектной сфере, я называю отображением переноса. Оно деформирует первоначальную картину миража на сфере изображения так, чтобы та совпала с неискаженной картиной на объектной сфере.

Представим себе, что мираж на сфере изображения был стерт; отображение переноса в этом случае дает способ его воссоздания. Когда сфера изображения деформируется и прижимается к объектной сфере изнутри, на ней «отпечатывается» картина, находящаяся на объектной сфере. Если одной и той же области объектной сферы коснулись несколько слоев деформированной сферы изображения, то каждый слой будет нести один и тот же отпечаток.

Затем процедура отображения переноса обращается: деформированная сфера изображения вновь сжима-



рует сферу изображения до ее совпадения с объектной сферой; каждая точка на сфере изображения следует по пути, пройденному световым лучом (показано справа). Расширяющаяся сфера изображения может образовывать перегибы или складки (2). В конце процедуры (3) картина миража уже искажена так, что она точно совпадает с «отпечатком» неискаженного объекта.

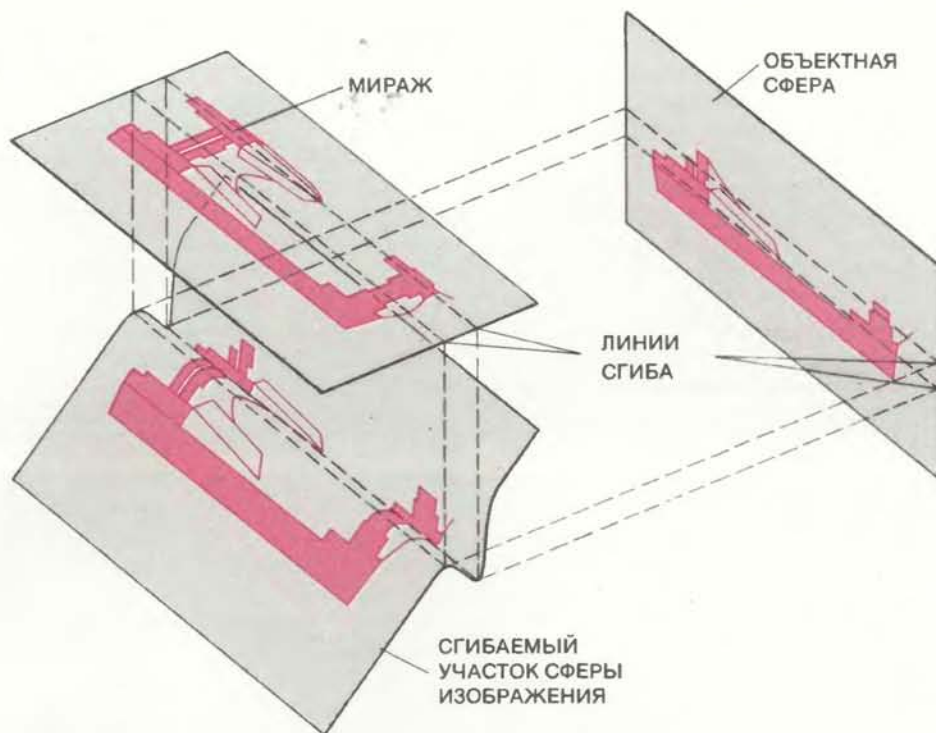
ется так, что каждая точка двигается назад вдоль светового луча до тех пор, пока эта сфера не приобретет свою исходную форму. При этом отпечатанные картины на ней будут искажены. Результирующее искаженное изображение и будет миражем.

На рисунке справа показано, как отображение переноса создает два сгиба. Положения линий сгиба относительно объекта (в данном случае корабля) определяют вид объекта в мираже: каждая точка, находящаяся между этими линиями, будет иметь в мираже три изображения. Мираж, показанный на рисунке, напоминает вторую сверху фотографию на с. 79. Чтобы построить мираж, показанный на верхней фотографии, нижнюю линию сгиба надо было бы поместить немного выше на объекте. Для миража, показанного на четвертой фотографии сверху, нижний сгиб был бы около ватерлинии. Чтобы создать мираж, показанный на третьей фотографии сверху, необходимы дополнительные сгибы.

Как правило, объектная сфера может быть деформирована, с тем чтобы с ней встречался каждый луч, попадающий в глаз (при этом сфера не должна «покидать» рассматриваемый нами предмет). В дальнейшем я буду считать, что эта процедура выполняется всегда и поэтому операцию отображения переноса можно применить ко всякой точке сферы изображения. Если, например, мы наблюдаем корабль, то объектная сфера сплюснута в нижней части, так что частично совпадает с водной поверхностью между кораблем и наблюдателем.

РАСШИРИМ нашу модель, введя топологические понятия. Одним таким понятием является «степень» отображения. Предположим, что имеется гладкое отображение одной сферы на другую. Каждая точка на второй сфере (в нашей модели это объектная сфера) имеет прообразы: точки на первой сфере, которые отображаются в нее. Область, окружающая прообраз, может быть перевернута вверх ногами или повернута другой стороной относительно области, окружающей исходную точку (если смотреть изнутри сфер). В этом случае об области, окружающей прообраз, говорят, что она имеет ориентацию, противоположную ориентации исходной области. Степень отображения в любой точке на второй сфере по определению равна числу прообразов с той же ориентацией, что исходная точка, минус число прообразов с противоположной ориентацией.

Одним из отображений, степень которого относительно легко вычислить, является отображение переноса



ЛИНИИ ПЕРЕГИБА, создаваемые отображением переноса, оказывают определенное влияние на картину миража. В данном случае изображение корабля в мираже (вверху) складывается и деформируется до совпадения с неискаженным изображением корабля (справа). Каждая точка неискаженного изображения между линиями перегиба имеет в мираже три изображения, в то время как каждая точка, лежащая вне этих линий, имеет одно изображение.

са, соответствующее условиям, когда мираж не возникает. Сфера изображения в этом случае не деформируется при расширении, и каждая точка на объектной сфере имеет в точности один прообраз на сфере изображения. Более того, прообраз имеет ту же ориентацию, что и исходная точка на объектной сфере. Следовательно, степень этого отображения равна 1.

Более сложный пример относится к отображению, которое, как мы увидим, не может быть связано ни с каким миражем, но которое тем не менее иллюстрирует одну топологическую теорему: степень данного гладкого отображения одинакова для всех областей второй сферы.

Предположим, что меньшая сфера сплюснута в лепешку и прижата к части вогнутой поверхности большой сферы. При этом отображении часть большой сферы не контактирует с малой сферой, но к остальной ее части прижаты два слоя. Предположим, что на большой сфере в том месте, где ее касается малая сфера, мы нарисовали букву N. Предположим далее, что эта буква отпечаталась на обоих слоях. Тогда буквы-копии будут иметь противоположную ориентацию, если смотреть изнутри малой сферы (если ее снова надуть). Одна будет обычной буквой N, другая — перевернутой, т.е. И. Таким образом, отображение будет иметь степень 0 (один «положи-

тельный» и один «отрицательный» прообраз) в точках, лежащих на том участке большой сферы, который соприкасался с малой. Оно будет также иметь степень 0 (прообразов нет) в тех точках, где контакта с малой сферой не было. Таким образом, в обеих областях степень одинакова.

Это свойство гладких отображений известно как инвариантность степени. Рисунок, расположенный выше, помогает понять это свойство на интуитивном уровне. Если какая-либо точка объекта движется через линию перегиба, то эта точка приобретает или теряет два прообраза с противоположными ориентациями.

КАКОВА степень гладкого отображения переноса для миража? В нашей модели прообраз объекта — это просто изображение, которое наблюдатель видит в мираже. Следовательно, если имеется какая-либо область объектной сферы, которая появляется в мираже в точности один раз и со своей нормальной ориентацией, то отображение переноса должно иметь степень 1. На практике это всегда имеет место: большая часть того, что видит наблюдатель, носит неискаженный характер.

Если отображение переноса является гладким (а значит, его степень равна 1), то возникают ограничения на типы изображений, которые могут

появиться в мираже. Например, мираж теоретически не может содержать три образа корабля, которые все были бы прямыми и ориентированными в одном направлении. В этом случае отображение переноса имело бы степень 3 или -3 вместо 1.

Другое ограничение выражается теоремой о нечетном числе изображений: если отображение переноса гладкое, каждый объект имеет нечетное число изображений. Доказательство довольно просто. Степень любого гладкого отображения переноса равна 1. Следовательно, число положительно ориентированных изображений должно быть на единицу больше числа отрицательно ориентированных изображений. Поэтому число положительных изображений плюс число отрицательных изображений (т.е. полное число изображений) должно быть нечетным.

Теорема о нечетном числе изображений иллюстрируется некоторыми фотографиями на с. 79. На верхней фотографии, например, имеется два сливающихся изображения красной буквы «С» на дымовой трубе корабля; они лежат прямо под третьим меньшим изображением. На третьей сверху фотографии имеется, вероятно, пять изображений буквы «С», хотя в этом трудно убедиться.

Миражи и доказательство теоремы о нечетном числе изображений — это графическое применение типично топологического свойства — инвариантности степени отображения. Весьма замечательно, что доказательство имеет успех, хотя основано на самых слабых предположениях относительно световых лучей и атмосферных условий.

Что существенно для доказательства, так это то, что отображение пере-

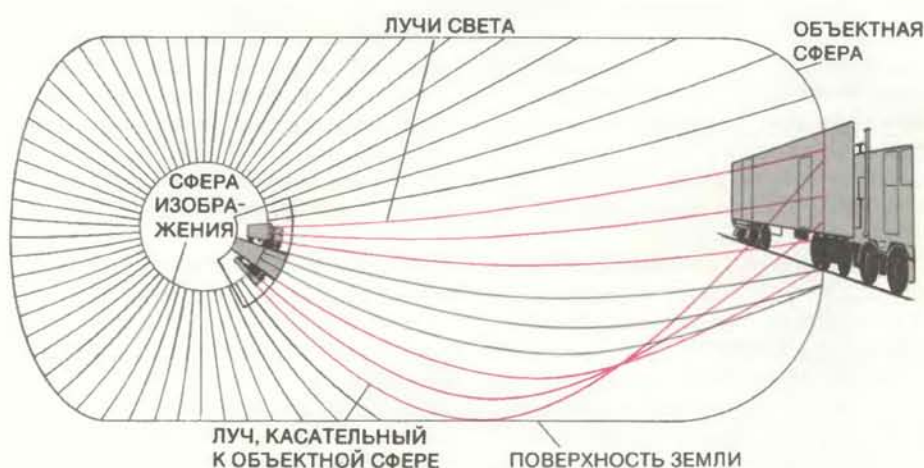
носа должно быть гладким (или по меньшей мере непрерывным) отображением всей сферы отображения на объектную сферу. Это условие удовлетворяется, если показатель преломления меняется в атмосфере гладко, и каждый луч проходит сквозь объектную сферу, а не является касательным к ней.

Один класс миражей, известных как низшие миражи, иллюстрирует важность этого «условия трансверсальности». Грубо говоря, низший мираж — это такой, в котором световые лучи загигаются кверху. На фотографии и рисунке слева показан низший мираж, в котором луч от грузовика отражается от земли по касательной, нарушая тем самым условие трансверсальности (здесь поверхность земли составляет часть объектной сферы). Малая область сферы отображения прямо над касательным лучом отображается на грузовик, в то время как область под касательным лучом отображается на землю далеко от грузовика.

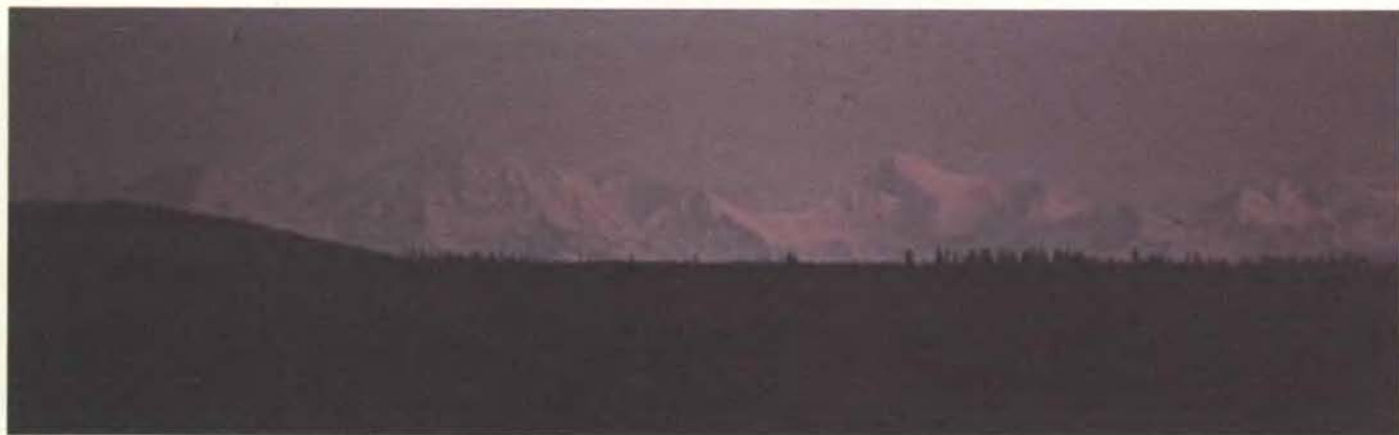
Непрерывное отображение переноса — это такое, которое отображает соседние области сферы отображения на соседние области объектной сферы. Отображение, объясняющее возникновение миража грузовика, не является непрерывным. Для того чтобы деформировать фотографию так, чтобы она соответствовала неискаженному изображению грузовика, надо сначала разрезать ее по линии, где, как нам кажется, начинается «вода» (разумеется, никакой воды нет: это изображение далеких гор). Показанный мираж нарушает вывод теоремы о нечетном числе изображений, поскольку содержит ровно два изображения нижней части грузовика.

В высшем мираже (в котором световые лучи отклоняются вниз относительно поверхности земли) обычно можно выбрать объектную сферу так, чтобы не было никаких касательных лучей. Если атмосферные условия меняются гладко, отображение переноса также гладкое, и теорема о нечетном числе изображений имеет силу. За исключением фотографии грузовика, все остальные фотографии, приведенные в статье, показывают высшие миражи.

СОТРУДНИК Принстонского Института перспективных исследований Х. Уитни показал, что гладкое отображение одной поверхности на другую редко является локальным (т.е. в малой области) более сложным, чем перегиб или складка. (Это утверждение — мой грубый «пересказ» более точной формулировки Уитни.) Одно из следствий теоремы Уитни состоит в том, что близкие сдвоенные изобра-



для НИЗШИХ МИРАЖЕЙ, в которых световые лучи, идущие от объекта к наблюдателю, отклоняются кверху, вывод теоремы о нечетном числе изображений часто оказывается неверным. Если луч отражается от объектной сферы (внизу) по касательной, близко расположенные области сферы отображения могут соответствовать далеко удаленным друг от друга областям объектной сферы. Здесь области, лежащие непосредственно над касательным лучом, ассоциируются с грузовиком, в то время как области, лежащие прямо под ним, ассоциируются с землей на большом расстоянии от грузовика. Теорема о нечетном числе изображений неприменима, когда встречаются такие нарушения непрерывности: в данном случае, например, имеется два изображения нижней части грузовика.



СИЛЬНОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ встречается в миражах около линии перегиба, которые связаны с широкими складками. В данном случае горная цепь (*вверху*) искажается складкой

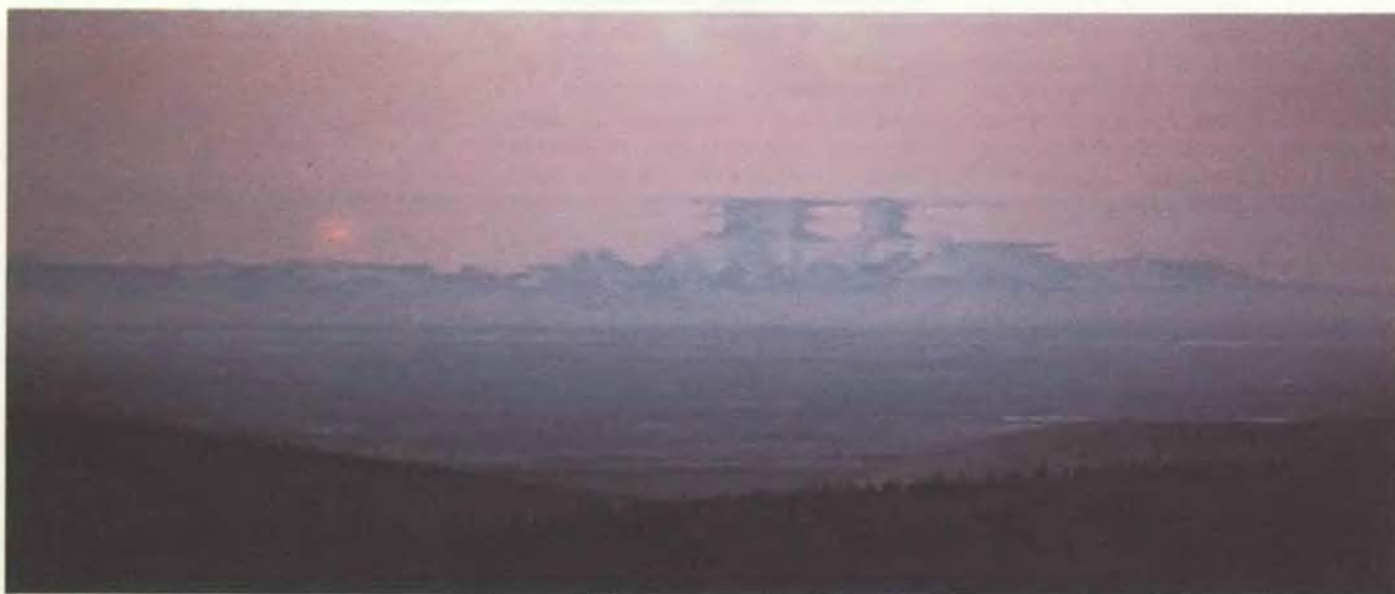
так, что выглядит, как ряд отвесных скал (*внизу*). Большинство близких двойных изображений, которые встречаются в миражах, обусловлены именно такими складками.

жения в миражах должны почти всегда возникать как результат перегиба.

Гладкий перегиб — это вещь более тонкая, чем острый сгиб. При гладком отображении переноса любая область сферы изображения, лежащая

достаточно близко к линии перегиба, сильно сжимается. Когда сжатая область разворачивается, она расширяется; результирующее изображение оказывается сильно увеличенным на линии перегиба (иногда случается, од-

нако, что расширенная часть занимает такую маленькую область, что увеличение незаметно). Верхняя фотография на следующей странице иллюстрирует типичный случай такого увеличения. Линии перегиба могут



СИЛЬНОЕ УМЕНЬШЕНИЕ объясняет появление в этом миреже горизонтальных всплесков, каждый из которых состоит, вероятно, из двух сильно сжатых изображений нижележащих гор. Если отображение переноса гладкое, то некоторые кратные изображения, для того чтобы уме-

ститься, должны быть сжаты. Среднее уменьшение возрастает с увеличением числа изображений. Экстремальное уменьшение горизонтальных всплесков в миреже, который изображен выше, соответствует, таким образом, наличию большого числа изображений.

встречаться как в низших, так и в высших миражах, так как теорема Уитни требует только, чтобы отображение переноса было гладким в интересующей нас области.

Перегибы играют, вероятно, ключевую роль в возникновении миража, называемого «Фата-Моргана». Согласно легенде, фея Морган (Фата-Моргана — по-итальянски) обладала способностью создавать замки в воздухе. Я думаю, что многие разновидности Фаты-Морганы — это просто высшие миражи, для которых расположенный соответствующим образом широкий перегиб заставляет слегка неровный горизонт выглядеть, как ландшафт с башнями и крепостными стенами. Небольшая волнистость линии перегиба может дать аналогичные результаты, даже если профиль горизонта не имеет никаких нерегулярностей.

ИНТУИЦИЯ подсказывает, что некоторые изображения в высшем мираже неизбежно должны появляться в сжатом виде, чтобы дать место расширенным или кратным изображениям. Этим можно объяснить малый размер или отсутствие изображений на некоторых фотографиях.

Чтобы придать этой интуитивной идее большую строгость, полезно найти способ непосредственно сравнить размеры неискаженного изображения с размерами миража. Для этого представим, что отображение переноса «накладывает» мираж на реальный образ, но только осуществляет это на сфере изображения.

Предположим далее, что отображение переноса является гладким на всей сфере изображения. Для наглядности вообразим, что отображение переноса имеет дело с резиновой сферой, которая равномерно покрывает жесткий шар. Как шар, так и резиновая сфера несут на себе изображения миража. Отображение переноса деформирует и перераспределяет материал сферы; деформированная сфера также примыкает к шару, причем, возможно, несколькими слоями в отдельных местах. Поскольку степень отображения переноса равна 1, деформированная сфера должна покрывать весь шар.

Чтобы вычислить увеличение в данной точке миража, выберем небольшую область вокруг этой точки на поверхности первоначальной однородной сферы; затем применим отображение переноса к этой области, чтобы получить преобразованную область (т.е. соответствующую область деформированной резиновой сферы). Исходная область несет на себе изображение миража некоторой части

объекта, а преобразованная область представляет неискаженный вид объекта. Увеличение в этой точке есть отношение площади, занимаемой исходной областью, к площади преобразованной области, т.е. показывает, как велико изображение объекта в мире, по сравнению с неискаженным изображением.

Уменьшение есть величина, обратная увеличению, т.е. равна отношению площади участка деформированной резиновой сферы к площади участка однородной сферы. Следовательно, среднее уменьшение отображения переноса (уменьшение, усредненное по всем точкам сферы изображения) будет равно частному от деления полной площади деформированной резиновой сферы, включая площадь всех кратных слоев, на площадь однородной сферы.

Если в мире нет кратных изображений, то нет и кратных слоев. Обе сферы тогда имеют одинаковую площадь, и среднее уменьшение равно 1. Это подтверждает наше интуитивное предположение о том, что если одна область миража появляется в увеличенном виде, то какая-то другая область должна казаться сжатой. Если имеются кратные изображения, то величина среднего уменьшения возрастает за счет площадей соответствующих кратных слоев.

Для многих миражей отображение переноса практически не зависит от горизонтальных координат на сфере изображения; кроме того, искажение часто происходит лишь в пределах узкой горизонтальной полосы на этой сфере. Если отображение переноса является гладким и наблюдаются кратные изображения, то следует поискать, где в пределах горизонтальной полосы может иметь место вертикальное сжатие. В том случае, когда имеется много изображений одного объекта, мираж может появиться в сильно сжатом виде (см. нижний рисунок на с. 83). Я думаю, что многочисленные горизонтальные всплески, заметные иногда на восходящем или заходящем солнце, могут быть кратными изображениями частей солнца, которые были сильно уменьшены.

В высших миражах часто наблюдается четное число изображений (см. четвертую сверху фотографию на с. 79); это значит, что либо предсказываемое теорией третье изображение слишком мало, либо отображение переноса разрывно. Некоторые миражи настолько хаотичны, что соответствующие им отображения переноса следует, вероятно, считать разрывными. В то же время для хорошо сформированных высших миражей, подобных показанным в статье,

«нехватку» изображений нельзя считать свидетельством разрывности отображения переноса. Как мы уже видели, теория предсказывает возможность сильного локального уменьшения; встречаются и промежуточные случаи, когда нечетное изображение очень мало, но все же заметно.

Если проследить за лучами света, изображенными на нижнем рисунке справа на с. 80, то можно понять, каким образом гладко меняющиеся атмосферные условия могут привести к экстремальному уменьшению. Таким образом, отсутствие одного изображения не обязательно указывает на разрывность отображения переноса. Тем не менее, такие случаи экстремального уменьшения снижают прагматическую ценность теоремы о нечетном числе изображений и роль вывода о том, что отображения переноса для миражей имеют степень 1.

ХОТЯ в качестве примеров я брал исключительно земные миражи, большинство идей, которые я описал, могут быть также применены к космическим миражам, которые возникают, когда массивные объекты искривляют световые лучи, идущие от далеких звезд или других объектов. Стоит ли удивляться, что теорема о нечетном числе изображений была доказана астрономом У. Бёрком из обсерватории Лика.

Большинство выводов, которые я описал здесь, основаны на двух предположениях: первое, что атмосферный показатель преломления является гладкой функцией, и второе, что лучи от глаза проходят через объектную сферу насквозь, «трансверсально». Естественно, что, если хотя бы одно из этих предположений не выполняется, как это происходит с условием трансверсальности в случае многих низших миражей, выводы могут оказаться неверными. Более того, мы видели, что экстремальное уменьшение может на практике обесценить предсказания, сделанные на основе теоремы о нечетном числе изображений. Тем не менее топологический подход обеспечивает полезный способ интерпретации миража в целом. Он позволяет нам также по-новому взглянуть на некоторые часто встречающиеся особенности миражей, такие, как экстремальное уменьшение, часто заметное в миражах с кратными изображениями одного и того же объекта. Такие правила, как теорема о нечетном числе изображений, могут указывать на присутствие малых дополнительных изображений или атмосферных нерегулярностей, хотя и не гарантируют, что мы увидим эти особенности.

Издательство МИР предлагает:

Х. Минк
ПЕРМАНЕНТЫ

Перевод с английского



«Перманенты впервые появились в 1812 г. в знаменитых мемуарах Бине и Коши. С тех пор 155 других математиков опубликовали 301 работу по этому предмету, причем более трех четвертей публикаций появились в последние 19 лет. Настоящая монография явилась результатом этого необычайного пробуждения интереса к функции перманента.

Цель книги — дать полное изложение перманентов, их исто-

рии и применений в форме, доступной не только математикам, но также специалистам в различных прикладных областях и студентам, обучающимся чистой и прикладной математике. Это первое полное изложение теории перманентов. Книга, по существу, исчерпывает предмет с полнотой, на которую ни один обзор по теории матриц не может и претендовать...» (из предисловия автора).

1982, 211 стр. Цена 1 р. 80 к.

Эту книгу Вы можете приобрести в магазинах книготоргов, распространяющих научно-техническую литературу.

Если в ближайшем от Вас магазине ее не окажется, заказ можно направить по адресу:

121019 Москва,

просп. Калинина, 26, п/я 42, магазин № 200

«Московский Дом книги»;

103050 Москва,

ул. Петровка, 15, магазин № 8 «Техническая книга»;

117334 Москва,

Ленинский проспект, 40, магазин № 115,

«Дом научно-технической книги»;

191040 Ленинград,

Пушкинская ул., 2, магазин № 5 «Техническая книга».

Книга будет выслана наложенным платежом (без задатка)



Наука вокруг нас

Как рассчитать крутизну волн по отражению Солнца в воде

ДЖИРЛ УОЛКЕР

КОГДА Солнце садится, блики на поверхности воды образуют овальное пятно или протяженную дорожку. Чем определяется форма отражения? Л. Уайтхед из компании TIR Systems, Ltd. в Ванкувере сообщает в посланной мне рукописи, что размер и форма области бликов зависят от максимальной крутизны волн на поверхности воды. Это значит, что рассчитать крутизну волн можно не забираясь в воду, а фотографируя отражение Солнца в ней.

Следуя за рассуждениями Уайтхеда, я нашел вначале, что именно определяет продольный и поперечный размеры области бликов. Предположим для простоты, что Солнце представляет из себя точечный источник света. (В действительности видимый размер Солнца около $0,5^\circ$.)

Допустим теперь, что поверхность воды плоская. Поскольку Солнце удалено на значительное расстояние, его лучи, падающие на воду, можно считать параллельными. Лучи отражаются от воды, и часть из них идет в вашем направлении. Вы видите такое отражение Солнца, как будто перед вами лежит зеркало.

Отражение луча света от поверхности принято характеризовать углами, отсчитываемыми от нормали — линии, перпендикулярной к поверхности в точке падения луча. Отраженный луч образует с нормалью тот же угол, что и луч падающий. Это правило

действует и в том случае, когда поверхность наклонена или искривлена. Если нужно проследить за отраженным от поверхности лучом, восстановите мысленно перпендикуляр к этой поверхности в точке падения луча.

Если поверхность воды плоская, на ней существует лишь одна небольшая область, которая отражает лучи в вашем направлении. Чтобы определить, где находится такая область в поле вашего зрения, можно представить, что третье измерение, глубина пространства, отсутствует, т.е. вы смотрите как бы на фотографию.

Это «плоское» представление приводит к понятию плоскости проекции (см. нижний рисунок на с. 87). Линия горизонта пересекает плоскость проекции поперек. Область, отражающая свет в вашем направлении, лежит в этой плоскости ниже горизонта. Именно здесь вы и видите отражение Солнца. Если поверхность воды ровная, то в плоскости проекции отражение Солнца лежит настолько ниже горизонта, насколько само Солнце находится выше горизонта. По мере того как Солнце опускается, его отражение поднимается. Когда Солнце садится, отражение исчезает на линии горизонта.

Если поверхность воды искривлена волнами, то наклоненные участки поверхности отражают лучи в соответствии с тем же простым правилом для углов. Но теперь в вашем направ-

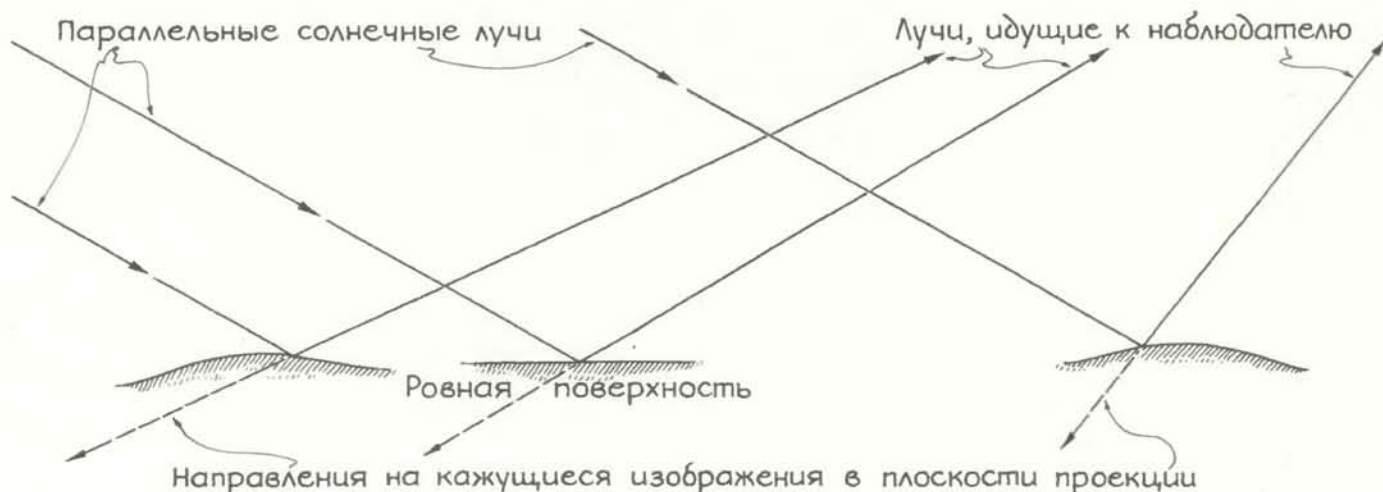
лении идут лучи, отраженные от многих участков поверхности. Положение этих участков постоянно меняется, поскольку волны, двигающиеся в разных направлениях, непрерывно изменяют форму поверхности воды. В каждый момент времени вы видите много отражений Солнца на плоскости проекции. Область бликов состоит из множества таких элементарных отражений.

Для того чтобы определить, каким образом волны «размазывают» отражение Солнца в воде, я проанализировал вначале, как смещается отражение, когда отражающая поверхность наклоняется как одно целое. С этой целью я взял карандаш и с помощью липкой ленты закрепил его на столе в вертикальном положении. Перед карандашом я положил прямоугольное зеркало, а сам присел так, что мои глаза оказались вблизи поверхности стола. Дальний край зеркала, примыкающий к карандашу, служил горизонтом.

«Забыв» о третьем измерении, я представил, будто карандаш и его изображение лежат в плоскости проекции. Для измерения расстояний на плоскости я использовал прозрачную линейку, держа ее неподвижно во время измерений и не двигая головой. Если в поле моего зрения острый конец карандаша выступал, скажем, на 3 см над дальним краем зеркала, то его изображение находилось тремя сантиметрами «ниже» этого края — в соответствии с правилом для плоских отражающих поверхностей.

Затем я приподнял ближайший ко мне край зеркала, наклонив тем самым его от себя. Участок зеркала, отражающий кончик карандаша, оказался ближе ко мне, а изображение на плоскости проекции сместилось вниз.

После этого я наклонил зеркало к себе. На этот раз участок, отражаю-



Отражение солнечных лучей от поверхности воды

ший кончик карандаша, оказался дальше от меня. На плоскости проекции изображение карандаша сместилось вверх.

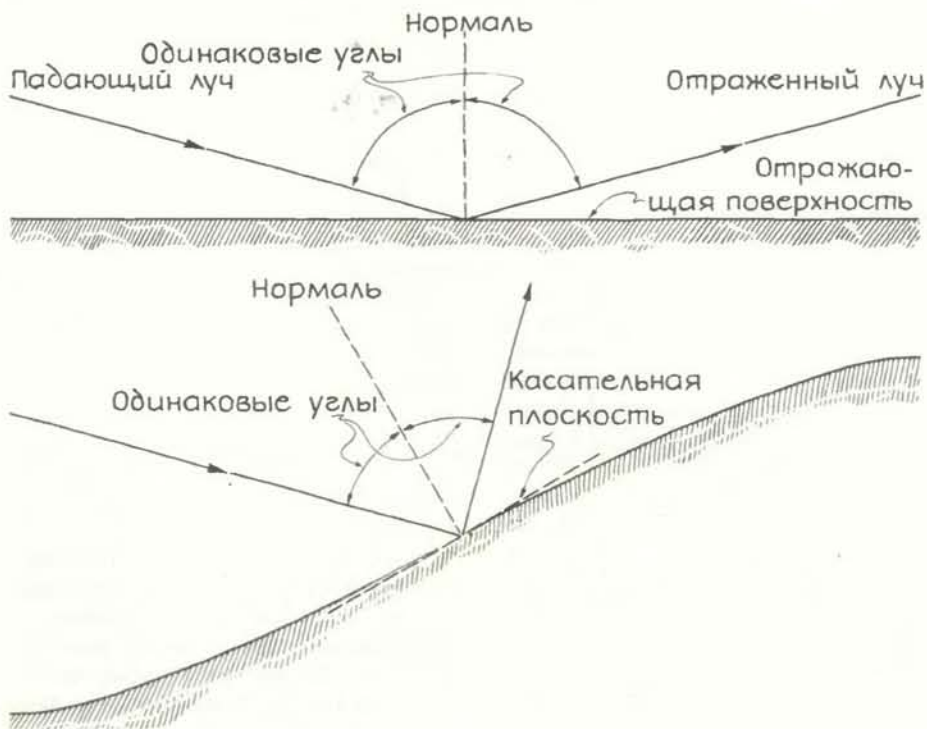
Эти результаты нельзя перенести один к одному на ситуацию, когда солнечные лучи отражаются от поверхности воды, так как лучи, падающие на зеркало, в отличие от солнечных лучей, непараллельны. Но в целом характер смещения изображения в плоскости проекции одинаков и в том и в другом случае. Когда поверхность воды наклоняется от наблюдателя, отражение Солнца смещается в плоскости вниз. Когда же поверхность наклоняется к наблюдателю, отражение смещается вверх. Наклон поверхности определяет величину смещения.

Наклон можно характеризовать тангенсом угла между поверхностью воды и горизонтальной плоскостью. Если этот угол составляет, например, $16,7^\circ$, то наклон равен 0,3 (безразмерное число). Наклон искривленной поверхности в некоторой точке определяется как наклон касательной плоскости в данной точке.

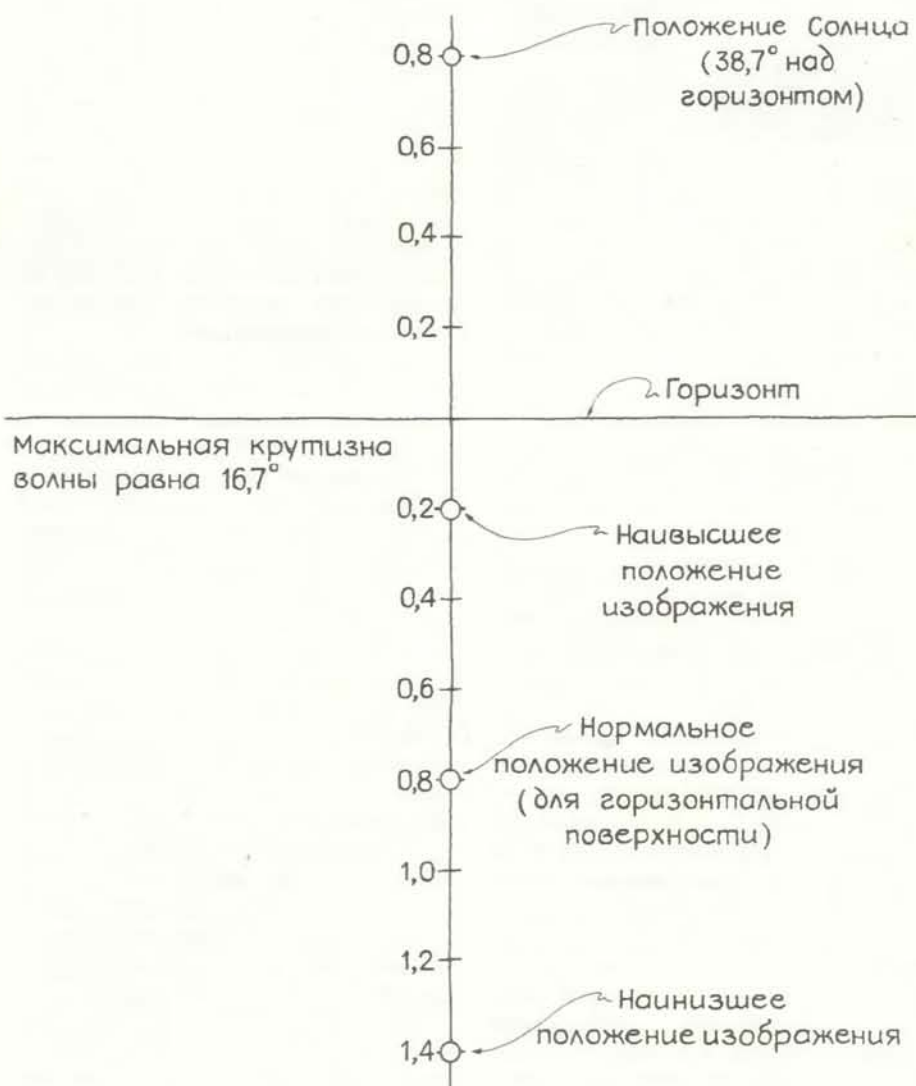
Вертикальную ось на плоскости проекции также можно градуировать в величинах наклона. Допустим, что вы видите Солнце под углом $38,7^\circ$ над горизонтом. На плоскости проекции линия горизонта имеет нулевую высоту, а положение Солнца определяется тангенсом угла $38,7^\circ$, т.е. величиной, равной 0,8. Если поверхность воды ровная, то отражение Солнца лежит на отметке 0,8 ниже линии горизонта на плоскости проекции.

Теперь представьте себе, что плоская поверхность воды наклонилась как целое от вас и ее наклон стал равным 0,3. Отражение Солнца в плоскости проекции сместилось вниз на величину, равную удвоенному значению наклона поверхности воды, т.е. на 0,6. Наоборот, если поверхность наклонится к вам и ее наклон станет равным 0,3, то отражение Солнца в плоскости проекции передвинется вверх до отметки 0,6.

В действительности поверхность воды почти никогда не наклоняется как единое целое. Обычно из-за волнения наклоны участков поверхности в разных точках различны. Вывод Уайтхеда состоит в том, что максимальная крутизна волны определяет размеры области солнечных бликов — солнечной «дорожки». Проследим за его рассуждениями. Примем вначале, что поверхность воды плоская и что Солнце и его отражение находятся в плоскости проекции у отметок 0,8 соответственно выше и ниже линии горизонта. Посмотрим теперь,



Углы, характеризующие отражение



Вертикальная протяженность области бликов



Опыты по отражению с наклоненным зеркалом

как влияют волны на отражение от того участка поверхности, который формирует изображение Солнца в обычных условиях. Если поверхность воды в этом месте горизонтальна, то вы видите нормальное изображение Солнца. Время от времени, однако, волны наклоняют этот участок поверхности, и изображение пропадает. Таким образом, когда волны проходят через данную точку, изображение то появляется, то исчезает.

Рассмотрим теперь участок поверхности, находящийся несколько выше на плоскости проекции. Если бы поверхность в этом месте оставалась все время горизонтальной, вы никогда не увидели бы там отражение Солнца. Однако временами волны наклоняют этот участок к вам достаточно сильно для того, чтобы солнечные лучи отразились в вашем направлении. В данном месте изображение также появляется и пропадает по мере того, как через эту точку проходят волны.

Возьмем другой участок поверхности, чей образ на плоскости проекции находится ниже нормального изображения Солнца. Поверхность воды здесь время от времени может оказываться наклоненной от вас достаточно сильно для того, чтобы вы увидели в этом месте изображение Солнца.

Насколько высоко и низко можно увидеть отражение Солнца? Эти пределы определяются максимальной крутизной наиболее крупных волн. Предположим, что она составляет 0,3 (или $16,7^\circ$). Тогда наивысшее положение изображения Солнца на плоскости проекции смещено вверх относительно нормального положения на величину, равную удвоенному значению максимального наклона поверхности в волне, т.е. на 0,6. Поскольку нормальное изображение Солнца в данном примере мы поместили на плоскости проекции на отметке 0,8 ниже горизонта, то наивысшее положение изображения прихо-

дится на отметку 0,2 ниже горизонта.

Наинизшее положение изображения смещено вниз по отношению к нормальному положению также на величину, равную удвоенному значению максимальной крутизны волн и приходится на отметку 1,4 ниже горизонта по вертикальной оси на плоскости проекции. В нашем примере отражение Солнца можно увидеть в интервале отметок от 0,2 до 1,4 по вертикальной оси. Оно не остается неподвижным, поскольку поверхность воды постоянно колеблется. Ваша система зрения усредняет яркость во времени, поэтому вы видите более менее ровно освещенное поле. Если же сфотографировать освещенную поверхность с небольшой выдержкой, то на снимке обнаружатся участки, не отражавшие солнечный свет в момент фотографирования.

По мере того как Солнце садится, область бликов на поверхности воды движется к горизонту. На плоскости проекции эта область поднимается. В нашем примере дальний край области бликов достигает горизонта, когда высота Солнца в поле вашего зрения составляет 0,6 (угол около 31°). Постепенно вся область уходит за горизонт.

Продольный размер области бликов (высота на плоскости проекции) зависит от максимальной крутизны волн. Когда последняя увеличивается, высота области возрастает вдвое быстрее. Используя эту связь, можно определить максимальную крутизну волн. Сфотографируйте область бликов до того, как она достигнет горизонта. Измерьте также угол стояния Солнца (в градусах). На фотографию наложите прозрачную пленку, играющую роль плоскости проекции.

Вычислите тангенс угла, под которым видно Солнце. Предположим, в момент фотографирования этот угол составлял $38,7^\circ$ (тангенс равен 0,8). Используйте этот результат для на-

несения масштаба на вертикальную ось плоскости проекции. Положению Солнца на фотографии поставьте в соответствие отметку 0,8. С помощью линейки определите расстояние в сантиметрах между изображением Солнца и линией горизонта на фотографии. Предположим, что оно равно 4 см. Тогда каждый сантиметр на линейке соответствует расстоянию 0,2 по вертикальной шкале плоскости проекции. Нанесите эти метки на вертикальную ось.

Теперь определим продольный размер области бликов. Допустим, эта область заключена между отметками 0,5 и 1,1. Поскольку Солнце располагается на высоте 0,8 над горизонтом, нормальное отражение Солнца должно располагаться у отметки 0,8 ниже горизонта. Таким образом, самый низкий отражающий участок лежит на 0,3 единицы ниже нормального изображения. Поскольку расстояние между нормальным отражением и наинизшим отражающим участком равно удвоенному значению максимальной крутизны волн, то эта крутизна в данном случае должна составлять 0,15, что соответствует углу наклона $8,5^\circ$.

Уайтхед показал также, чему равна ширина отражающей области на плоскости проекции. Следуя за его рассуждениями, я вернулся к своим опытам с зеркалом и карандашом. На этот раз я положил зеркало так, что его правый край лег на линию, соединяющую мой глаз и неочиненный конец карандаша, а дальний правый угол зеркала касался этого конца. Когда я наклонял зеркало вправо, отражение карандаша на плоскости проекции поворачивалось относительно точки соприкосновения карандаша и стола на угол, равный двойному углу наклона зеркала. При угле наклона зеркала 45° изображение карандаша оказывалось повернутым на 90° , т.е. было горизонтально в плоскости проекции.

Проведите линию, лежащую в плоскости проекции и соединяющую кончик карандаша и его изображение. Эта линия отклонена от вертикали на такой же угол, на который наклонено зеркало. В плоскости проекции лежит и дальний край зеркала, и изображение кончика карандаша находится от этого края на таком же расстоянии, что и настоящий кончик.

Аналогичные построения на плоскости проекции были использованы Уайтхедом для определения ширины области бликов на поверхности воды (см. средний рисунок на с. 89). Допустим, максимальная крутизна волн равна 0,3 ($16,7^\circ$). Из точки, отвечающей действительному положению

Солнца в плоскости проекции, проведите вниз прямую линию, отклоненную от вертикали влево на $16,7^\circ$.

Затем проведите вторую прямую. Она должна быть перпендикулярна первой и пересекать линию горизонта точно под Солнцем. Эта прямая соответствует дальнему краю зеркала. Измерьте расстояние между точкой, где находится Солнце, и точкой пересечения двух прямых. Такой же отрезок отложите на первой прямой от точки пересечения вниз. Вы получили точку, в которую попало бы отражение Солнца в зеркале, наклоненном вправо на угол $16,7^\circ$.

Проделайте описанную процедуру на правой половине плоскости проекции. В результате вы получите две прямые, расходящиеся в нижней части плоскости. Область бликов заключена между этими линиями и касается их в точках, которые соответствуют правому и левому наклону зеркал. Угол между прямыми равен удвоенному значению максимальной крутизны волн.

Отметьте на плоскости проекции верхнюю и нижнюю точки области бликов в соответствии с процедурой, описанной мною ранее. Проведя через четыре экстремальные точки гладкую кривую, вы получите контур области бликов (см. рисунок внизу

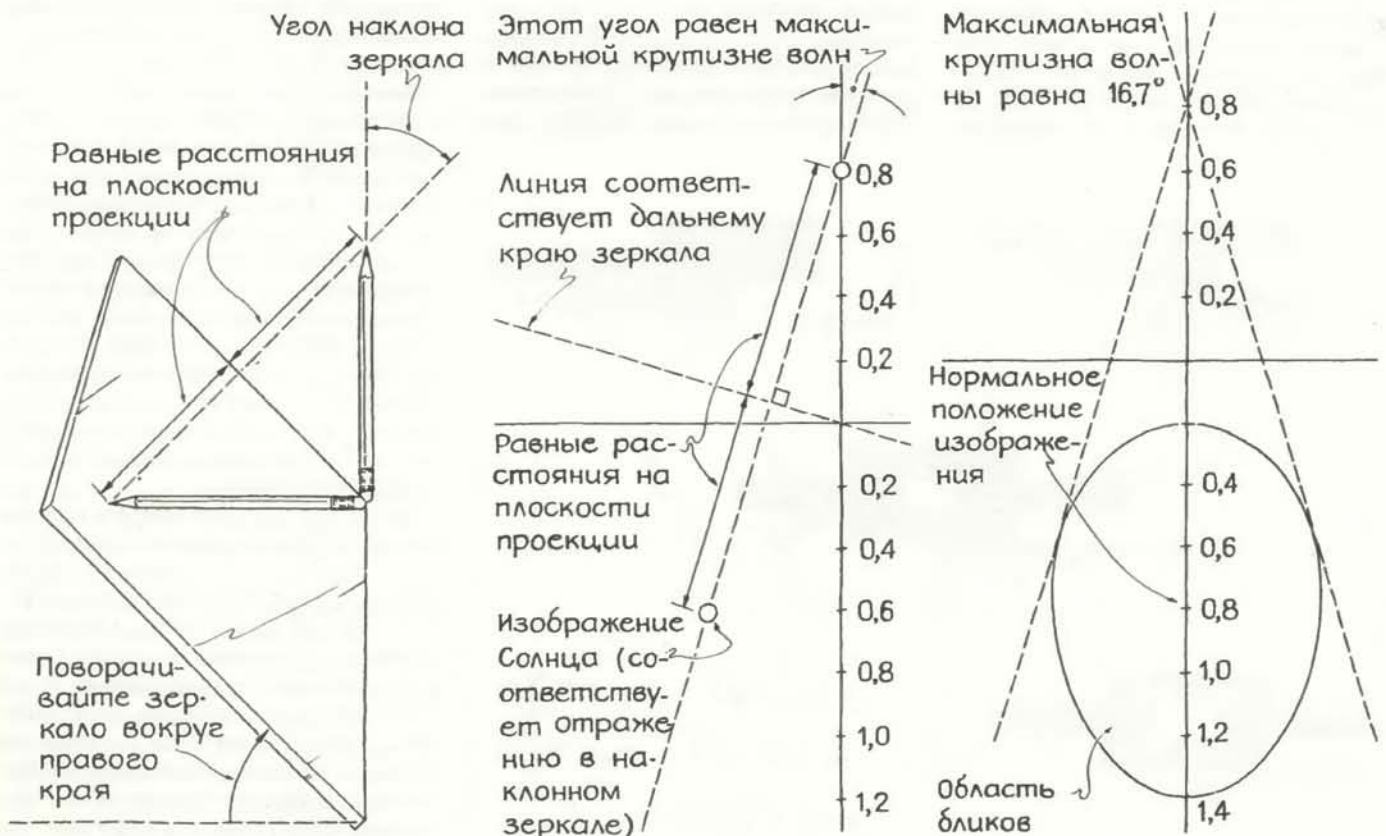
справа). Если максимальная крутизна волн возрастает, то угол между расходящимися прямыми увеличивается; при этом область бликов растет на плоскости проекции как в высоту, так и в ширину. Когда Солнце стоит высоко, эта область представляет собой овал, ширина которого меньше, чем высота. По мере опускания Солнца область двигается к горизонту и становится уже, поскольку ее ограничивают расходящиеся линии. При этом овал превращается в вытянутую дорожку. В наших рассуждениях (как и в рассуждениях Уайтхеда) Солнце считалось точечным источником света; при таком предположении верхний конец дорожки также должен быть точечным. В действительности угловой размер Солнца равен $0,5^\circ$, поэтому верхний конец дорожки не может быть уже $0,5^\circ$.

То обстоятельство, что дорожка имеет разные размеры по ширине и высоте, на первый взгляд довольно удивительно: ведь свет отражается от волн, следующих в разных направлениях. Удивительно и то, что дорожка кажется такой вытянутой. На самом деле, однако, на плоскости проекции она занимает небольшой угол. Частично ее кажущаяся вытянутость обусловлена нашим восприятием трехмерной картины: дорожка представ-

ляется идущей далеко к горизонту. Частично же эта иллюзия связана с неправильной оценкой углов вблизи горизонта: сажающееся Солнце и верхний конец дорожки кажутся большими из-за того, что сам горизонт представляется нам удаленным. (Тот же эффект объясняет видимое увеличение диска Луны, когда она находится у горизонта.)

Вы можете исследовать картины бликов, создаваемые Солнцем и Луной при других условиях. В некоторых случаях удается обнаружить течения на поверхности воды: крутизна волн в области течения может отличаться от крутизны волн в соседних областях. Становится ли в этом случае область бликов асимметричной? Что происходит с ней, когда волны двигаются в одном направлении? Какими становятся форма области бликов и распределение света, когда волны увеличиваются и теряют синусоидальную форму?

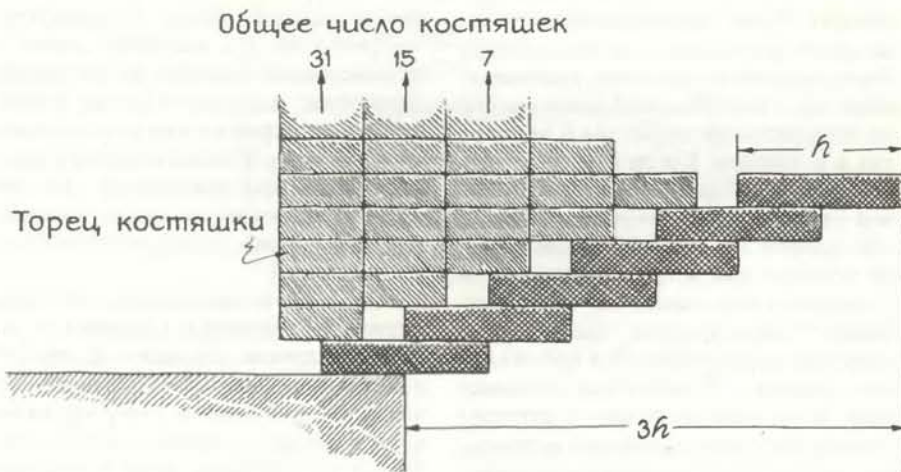
В ПРОШЛОМ году в одной из статей («В мире науки», 1985, № 10) я описал некоторые «постройки» из костяшек domino. В одном случае вы выкладываете стопку костяшек на краю стола так, чтобы она выступала наподобие карниза. Задача состоит в том, чтобы, используя определенное



Поворот зеркала

Поверхность наклонена вправо

Область солнечных бликов



Один из способов создания противовеса

число костяшек, построить карниз максимальной ширины.

Некоторые читатели (Ю. Уолл из Рокуэлла, шт. Мэриленд, Р. Тиндал из Кембриджа, Великобритания, Д. Коллуэй из Форт-Коллинза, шт. Колорадо и У. Фуллертон из Хьюстона) написали мне, что формулы в виде рядов, которые я использовал для определения ширины карниза из костяшек, можно представить в иной форме, используя константу Эйлера (0,57722). Расстояние по горизонтали от края стола до внешней кромки n -й костяшки равно половине длины костяшки, умноженной на сумму константы Эйлера и логарифмической производной от гамма-функции от $n + 1$. При больших n эта производ-

ная от $n + 1$ равна приблизительно разности между натуральным логарифмом $n + 1$ и величиной $1/(2n + 2)$.

Используя эти формулы, можно показать, что для выкладывания стопки, выступающей на 50 длин одной костяшки требуется $1,5 \cdot 10^{43}$ костяшек, а не $1,5 \cdot 10^{44}$, как я утверждал в своей статье.

Существует ли более экономный способ сооружения далеко выступающей стопки? Р. Тиндал и Г. Куно из Вальдесенберга, ФРГ, предложили способ, который позволяет обойтись меньшим числом костяшек благодаря использованию некоторых из них в качестве противовесов. В этой схеме каждая новая костяшка кладется так,

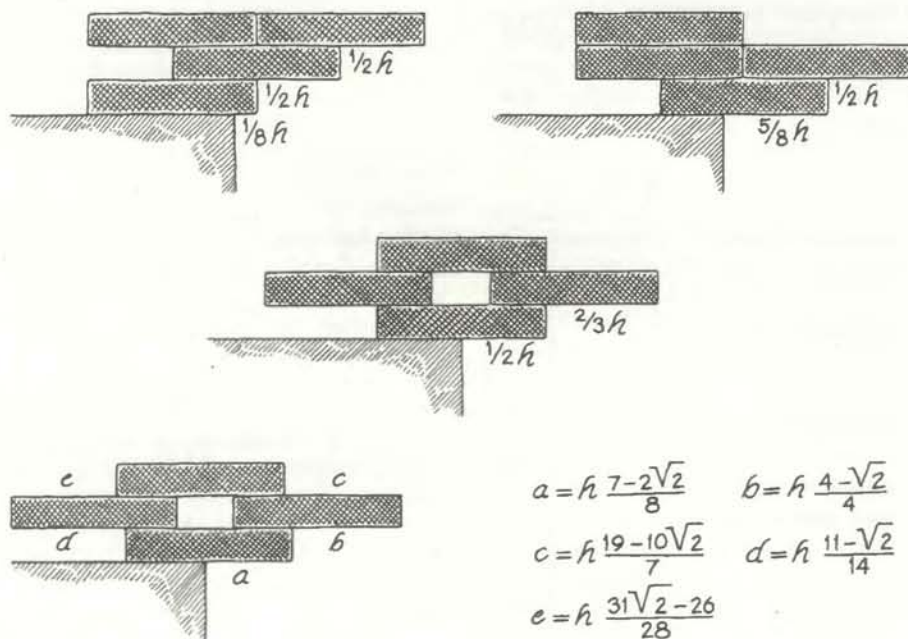
чтобы ее центр приходился на внешнюю кромку предыдущей. Получающаяся стопка, разумеется, неустойчива. Поэтому на внутреннюю кромку нижней костяшки кладется еще одна, играющая роль противовеса (см. рисунок слева).

Например, для того чтобы выложить стопку, выступающую на три длины одной костяшки, следует расположить шесть костяшек так, чтобы середина каждой из них располагалась над внешней кромкой, лежащей под ней (а для первой костяшки — над кромкой стола). Для того чтобы создать противовес, 31 костяшка кладется на ту, что лежит на столе; 15 — на вторую костяшку, 7 — на третью, 3 — на четвертую, 1 — на пятую. Шестая, самая удаленная от стола, обходится без противовеса. Всего, таким образом, требуется 63 костяшки, а не 227, которые нужны в моей схеме.

И. Мортон из Бостона указал, что несколько «экономных» конструкций из четырех костяшек предложил С. Эйтли (The Mathematical Gazette, Vol. 63, No. 426, p. 272; December, 1979). Длинные кромки костяшек в этих конструкциях перпендикулярны краю стола. Если расположить их так, как это предлагал делать я в своей статье, то вся конструкция будет выступать за край стола на 1 и 1/24 (в длинах одной костяшки). Первые две конструкции Эйтли, показанные на рисунке внизу, выступают над столом на 1 и 1/8. Одна или две костяшки служат противовесами.

В третьем случае противовес состоит из одной костяшки, положенной на внутреннюю кромку нижней, и одной, положенной поверх остальных. Верхняя костяшка располагается точно над нижней, лежащей на столе. Эта схема позволяет выдвинуть все сооружение на 1 и 1/6. Победительницей среди этих конструкций является та, которая показана на рисунке последней. Заметьте, что верхняя костяшка несколько смещена относительно нижней. Вся конструкция выступает на 1,1679 — немного больше, чем в предыдущем случае.

Читатели, интересующиеся подобными задачами, с удовольствием прочитают заметку Р. Скрейтона (The Mathematical Gazette, Vol. 64, No. 429, p. 202-203; October, 1980). Скрейтон показал, как построить конструкцию из 28 костяшек (размером $50 \times 25 \times 12$ мм каждая), которая выступала бы за край стола на 20 см. Если повернуть костяшки так, чтобы их диагонали были перпендикулярны краю стола, то стопка будет выступать почти на 22 см.



Конструкции С. Эйтли из четырех костяшек

Занимательный компьютер

Еще раз об аналоговых устройствах

А. К. ДЬЮДНИ

РОВНО год назад в рубрике «Занимательный компьютер» была опубликована статья, посвященная аналоговым устройствам. Статья вызвала большой интерес у читателей, многие из которых прислали в редакцию аналоговые устройства собственного изобретения. Я до сих пор не могу избавиться от кучи деревянных досок, резинок, шнурков, шариков, аквариумов, свинцовых гирь, канистр, трубок, пробок и т.д. Пытаясь разобраться во всем этом хозяйстве, я отобрал лучшие устройства, с которыми хочу познакомить читателей.

Аналоговые устройства — это механические приспособления, решающие определенные задачи благодаря тому, что конструктивные элементы или принцип действия этих приспособлений могут служить аналогами исходных данных решаемых задач. В статье, опубликованной в прошлом году, было, например, приведено описание макаронного аналогового устройства МАУ, в котором макаронные палочки выступали в роли аналогов чисел, подлежащих сортировке в порядке убывания. Для решения этой задачи нужно собрать макаронные палочки в пучок и резко опустить их торцами на поверхность стола. Если теперь выбрать самую длинную палочку, потом самую длинную из оставшихся и т.д., то мы получим искомую убывающую последовательность чисел. Кроме макаронного устройства в той же статье говорилось об устройствах, позволяющих отыскивать кратчайшие пути на графе, строить выпуклые оболочки и минимальные деревья. Было даже описано устройство для разложения чисел на множители, состоящее из двух параллельных зеркал, между которыми, многократно отражаясь, проходил лазерный луч.

В нашей новой коллекции представлены остроумные устройства для решения задач статистики, теории графов, а также алгебры и арифметики. Сначала познакомимся с этими устройствами, а затем рассмотрим некоторые важные вопросы, возникающие по поводу аналоговых вычислений: насколько точны аналоговые компьютеры, сколько времени на самом деле требуют аналоговые вычисления и существуют ли аналоговые

компьютеры, превосходящие по своим показателям цифровые ЭВМ?

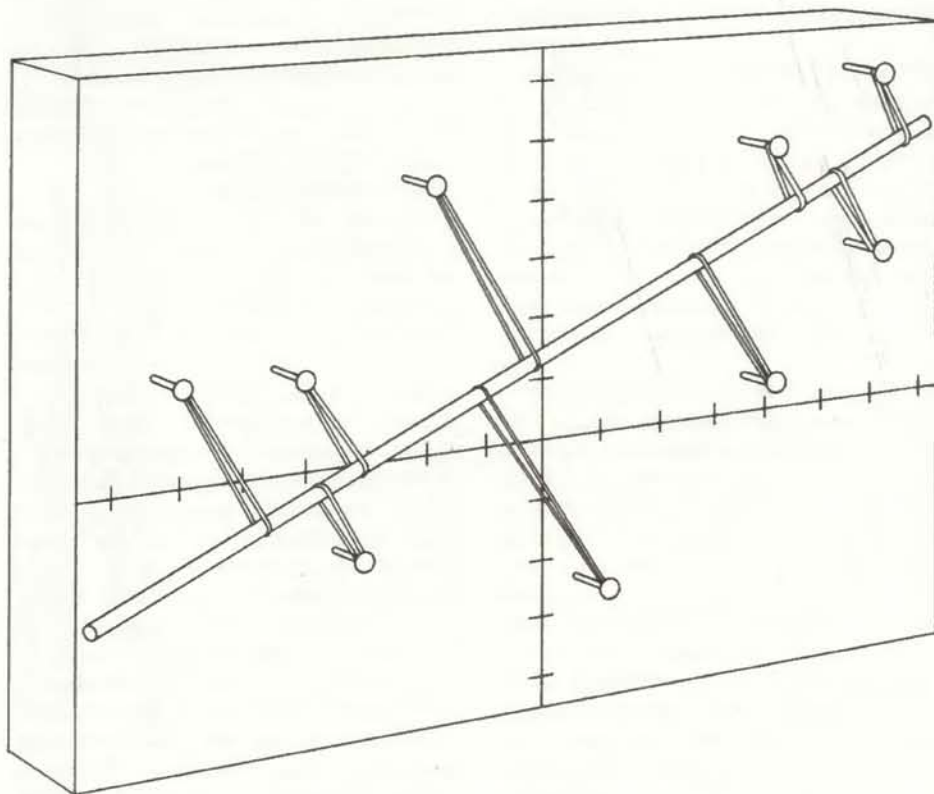
Одно из новых устройств решает задачу математической статистики. Оно состоит из деревянной доски, резиновых колечек, гвоздей и гладкого негнущегося металлического стержня. Это устройство, предложенное Марком Хоули из г. Монт-Вернон (шт. Индиана), помогает определить, какой прямой лучше всего можно аппроксимировать множество экспериментальных точек, нанесенных на график.

Точки наносятся на поверхность деревянной доски и в каждую точку неглубоко забивается гвоздь. Затем на стержень нанизываются резиновые колечки, все одинакового размера, причем число колечек должно быть равно числу точек на доске. Стержень прикладывается к доске приблизительно так, как должна проходить искомая прямая. Каждое резиновое колечко натягивается на один из гвоздей. Затем стержень отпускается, и после некоторых колебаний его поло-

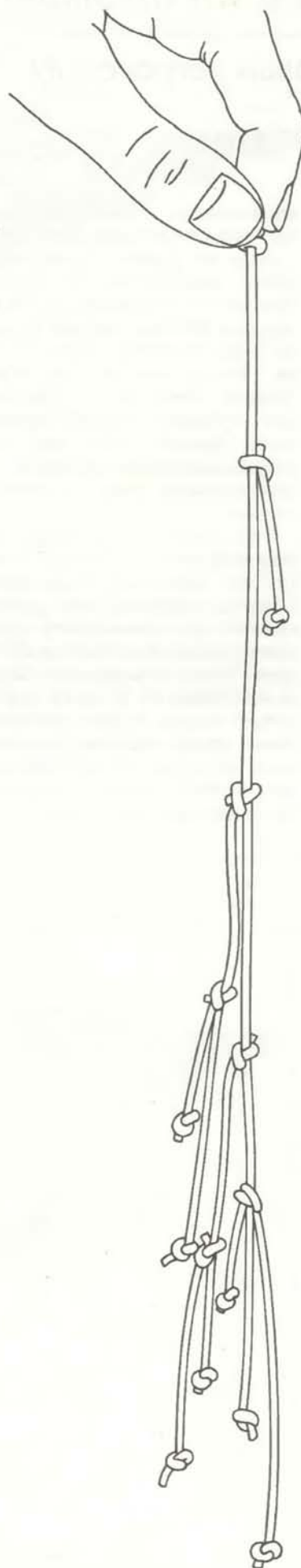
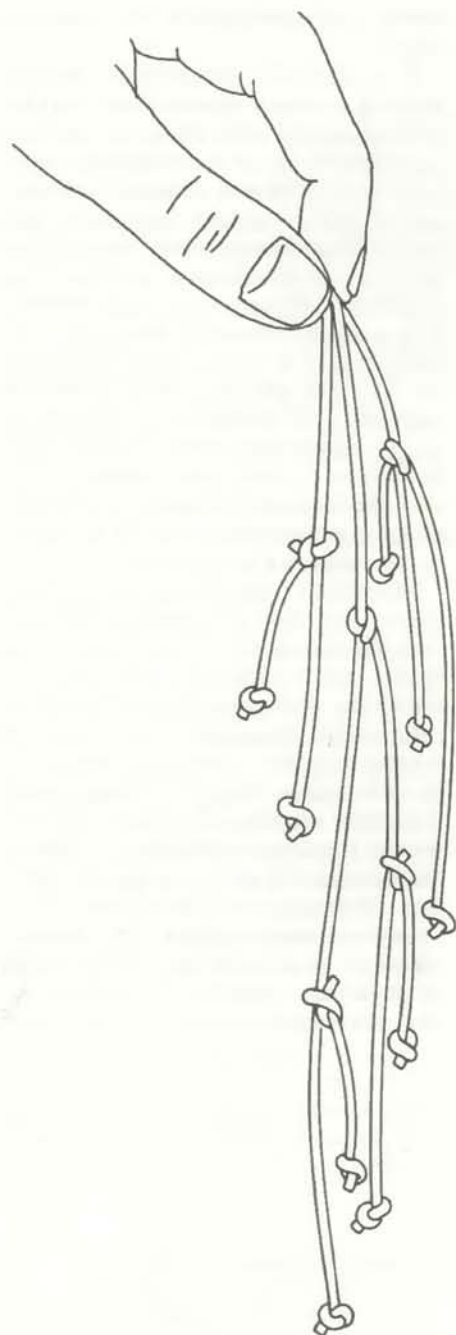
жение стабилизируется (см. рисунок внизу).

В положении равновесия полная энергия системы минимальна, поэтому суммарное расстояние от гвоздей до стержня также оказывается минимальным. Другими словами, положение, которое займет стержень, укажет направление прямой, наилучшим образом описывающей линейную зависимость исследуемых параметров. В формулах линейной регрессии, используемых в статистике, фигурируют не сами расстояния от точек до прямой, а их квадраты. Устройство Хоули вычисляет нечто в этом роде. Во всяком случае, выполняемые этим устройством вычисления не уступают по сложности вычислениям по методу наименьших квадратов.

Заманчивое шнурковое устройство предложил Джо Венмакер из Ниймегена (Голландия). Предположим, нам нужно найти самый длинный путь, по которому может пройти сообщение в сети связи, имеющей вид дерева. В комбинаторике такой путь называется диаметром дерева. Чтобы найти диаметр дерева, Венмакер строит аналог дерева из связанных шнурков. Длина каждого шнурка в фиксированном масштабе соответствует длине моделируемого участка сети. Вычисления проводятся в два простых шага. Возьмем «дерево» из шнурков за любой узел и поднимем руку так, что-



Устройство для отыскания прямой, которая лучше всего аппроксимирует поле точек на графике



бы оно свободно свисало вниз. Заметим, какой узел расположен ниже всех. Теперь поднимем связанные шнурки за этот узел. Оказывается, что самый длинный путь на дереве проходит от узла, за который мы держим дерево, до узла, расположенного ниже всех остальных (см. рисунок слева).

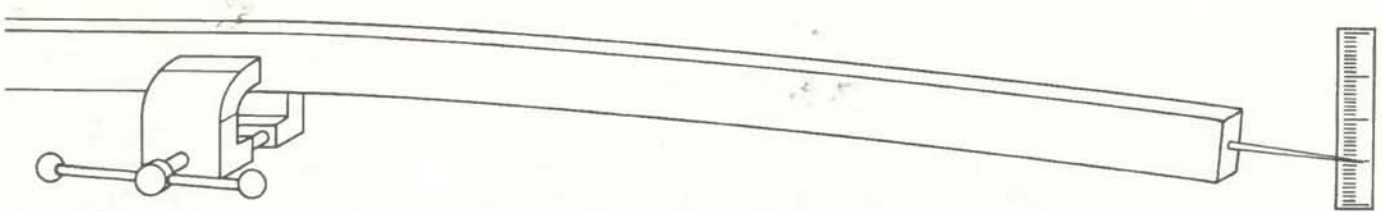
Когда я впервые столкнулся с устройством Венмакера, моей первой реакцией было недоверие: «Не может быть, чтобы это было все так просто. Нужно проверить еще несколько раз и поднять систему шнурков за другие узлы». Однако во всех случаях справедливость идеи Венмакера подтверждалась. Объявляю конкурс — кому из читателей удастся найти самое изящное доказательство, почему это так?

В предыдущей статье об аналоговых устройствах говорилось, что задача отыскания максимального пути на произвольном графе относится к классу задач, называемых теоретиками *NP*-полными. С практической точки зрения это означает, что такая задача не может быть решена за приемлемое время на цифровой ЭВМ. Может быть, нам удалось, наконец, продемонстрировать превосходство аналогового устройства над цифровым компьютером? Не совсем так. На самом деле, если граф представляет собой дерево, то существует алгоритм для цифровой машины, позволяющий быстро находить максимальный путь.

Теперь рассмотрим незамысловатое на первый взгляд устройство, предложенное М.Лазо из Швейцарского государственного технологического института в Цюрихе. Оно представляет собой зажатый в тиски длинный алюминиевый стержень, на конце которого имеется игла (см. рисунок на с. 93). Острие иглы покоится на шкале с мелкими делениями.

В тисках стержень зажат строго горизонтально, а длина его свободного конца равна трем метрам. Под действием силы тяжести свободный конец, на котором расположена игла, слегка прогибается вниз. Игла указывает на деление 81. Это четвертая степень тройки.

Согласно теории упругости, прогиб балки под действием собственного веса пропорционален четвертой степени ее длины. Не трудно догадаться, что с помощью этого устройства можно также вычислять корень четвертой степени, если переместить стержень в тисках так, чтобы игла на его конце указывала на число, из которого извлекается корень. Если воспользоваться другой шкалой, то аналогично можно возводить числа в куб или вычислять корень третьей степени. Когда стержень зафиксирован, игла дол-



Устройство, вычисляющее четвертую степень числа по прогибу стержня

жна указывать на нулевое деление. Затем к свободному концу стержня подвешивается груз, пропорциональный данному числу. Как следует из теории упругости, прогиб стержня в этом случае будет пропорционален третьей степени веса подвешенного груза.

Достоинством и аналоговое устройство, присланное Дж. Люетом, служащим металлургической компании United States Metals Refining Company в Картерете (шт. Нью-Джерси). Оно представляет собой широкую деревянную доску, на которую наклеена географическая карта. В доске просверлены три отверстия, через которые пропущены три шнура. Снизу, под доской, к каждому шнуру привязана гирька. Сверху шнуры привязаны к небольшому медному колечку (см. рисунок на с. 94).

Задача, решаемая устройством, заключается в том, чтобы найти оптимальное место для строительства металлургического завода, так чтобы стоимость доставки основных видов сырья была минимальной. Если доставка руды, угля и извести обходится соответственно в A , B и C долл./ $(т \cdot км)$ и если расстояния от завода до месторождений сырья соответственно составляют a , b и c км, то полная стоимость доставки сырья (по одной тонне каждого вида) равна $aA + bB + cC$ долл. Три отверстия в доске просверлены в тех местах на карте, где находятся месторождения и откуда сырье будет доставляться на завод. Привязанные к шнурам снизу гирьки по массе пропорциональны числам A , B и C . Положение, которое под тяжестью гирек займет на карте отпущенное колечко, будет точно соответствовать оптимальному месту для строительства металлургического завода.

Среди образцов нашей коллекции множество стеклянных и медных устройств, и в помещении, где они находятся, чувствуется запах мыльной пены. Некоторые из этих «водяных» компьютеров созданы Д. Хоффманом из Общественного колледжа в Бельвю (шт. Вашингтон). Мыльная пленка между стеклом и ступенчатой поверхностью является аналогом светового луча, проходящего из одной прозрачной среды в другую: пленка остается прямой на обоих уровнях,

однако на ступеньке, где она опускается, пленка имеет резкий изгиб (см. рисунок на с. 95). Если высоту ступеньки изменить, угол изгиба пленки станет другим, как если бы моделируемые прозрачные среды изменили свои показатели преломления.

Это же устройство, несколько усовершенствованное, позволяет также решать задачу о трубопроводе. Предположим, что нужно проложить трубопровод от одного населенного пункта до другого. Местность между этими пунктами поделена на отдельные районы, стоимость прокладки трубопровода в которых неодинакова. Один район, скажем, болотистый, другой холмистый, а третий покрыт лесом. Чтобы смоделировать условия задачи, Хоффман предлагает представить каждый район плоской поверхностью, границы которой соответствуют границам района. Высота такой плоской поверхности должна быть пропорциональной стоимости прокладки трубопровода в данном районе. Затем на плоскостях, соответствующих двум населенным пунктам, между которыми прокладывается трубопровод, нужно установить стерженьки, положить сверху стекло и опустить все устройство в мыльный раствор. В результате внутри образуется мыльная пленка с двумя изгибами. Она укажет курс, по которому должен прокладываться трубопровод минимальной стоимости. Описание ряда других устройств Хоффмана приведено в его статье, указанной в библиографии на с. 104.

Перейдем к рассмотрению другого аналогового устройства из стекла. Пять стеклянных цилиндров с мерной шкалой соединены у основания трубками. В исходном состоянии трубки закрыты, так что вода не может переходить из одного цилиндра в другой. Затем цилиндры заполняются водой до уровней, соответствующих пяти различным числам. Когда трубки открываются, цилиндры становятся сообщающимися сосудами и вода устанавливается в них на одном уровне, который соответствует среднему арифметическому значению исходных пяти чисел. Автор устройства — С. Марко из Сан-Ремо (Италия).

Последнее устройство, которое мы рассмотрим детально, предложено

П. Эшем из Университета Сан-Джозефа в Филадельфии (шт. Пенсильвания). Оно решает кубические уравнения и может быть модифицировано для решения уравнений значительно более высоких степеней. Кубическое уравнение имеет вид $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$. Решить это уравнение — значит найти такое значение переменной x , которое удовлетворяет этому равенству.

Рассматриваемое устройство (см. рисунок на с. 95) решает конкретное кубическое уравнение. Оно состоит из большого аквариума, весов в виде коромысла с двумя чашами и набора твердых тел вращения различной геометрической формы, являющихся аналогами членов уравнения. Члену x^3 соответствует параболоид. Если параболоид погрузить в воду вершиной вниз, он вытеснит x^3 кубических сантиметров воды при глубине погружения, равной x . Член x^2 представлен конусом, вытесняющим x^2 кубических сантиметров воды. Аналогом члена x является цилиндр, а d — шар. Шар всегда остается погруженным полностью.

Все четыре тела подвешены к коромыслу весов, на его краях расположены чаши для гирек. Ось весов совпадает с центром коромысла. Вся система установлена над аквариумом с водой. Параболоид расположен слева от оси весов на расстоянии a см, если значение a отрицательно, или справа, если оно положительно. То же правило действует и в отношении трех других тел.

Чтобы решить кубическое уравнение, нужно, поддерживая весы в равновесии, наполнять аквариум водой до тех пор, пока поверхность воды не коснется трех подвешенных к коромыслу тел. Напомним, что четвертое тело, шар, уже в исходном состоянии полностью погружен в воду. Если теперь отпустить весы, какое-то плечо коромысла перевесит. Чтобы весы снова привести в равновесие, на противоположную чашу следует положить дополнительные гирьки. После этого наблюдаемый уровень воды в аквариуме отмечается как нулевой.

Пока были рассмотрены только подготовительные этапы в работе устройства. Теперь мы подошли к аналоговому процессу, дающему ре-

шение задачи. По мере того как аквариум постепенно наполняется водой от нулевого уровня и выше, весы выходят из равновесия, но через некоторое время равновесие восстанавливается. В этот момент добавление воды следует немедленно прекратить и отметить достигнутый ею уровень. Расстояние между этим новым и нулевым уровнем дает нам значение x , удовлетворяющее уравнению. Разумеется, уравнение может и не иметь решения. В этом случае, даже если заполнить аквариум доверху, весы так и не придут в равновесие.

Как же работает это замечательное устройство? Согласно закону Архимеда, погруженное в воду тело теряет часть своего веса, пропорциональную погруженному объему. Степень отклонения коромысла весов от положения равновесия в данном случае зависит не только от глубины погружения тел, но и от расстояния, на котором они находятся от оси весов, и определяется суммарными действиями на коромысло моментов, т.е. алгебраической суммой произведений выталкивающих сил на плечи. Таким образом, равновесие вновь достигается только тогда, когда при определенном значении x сумма в левой части

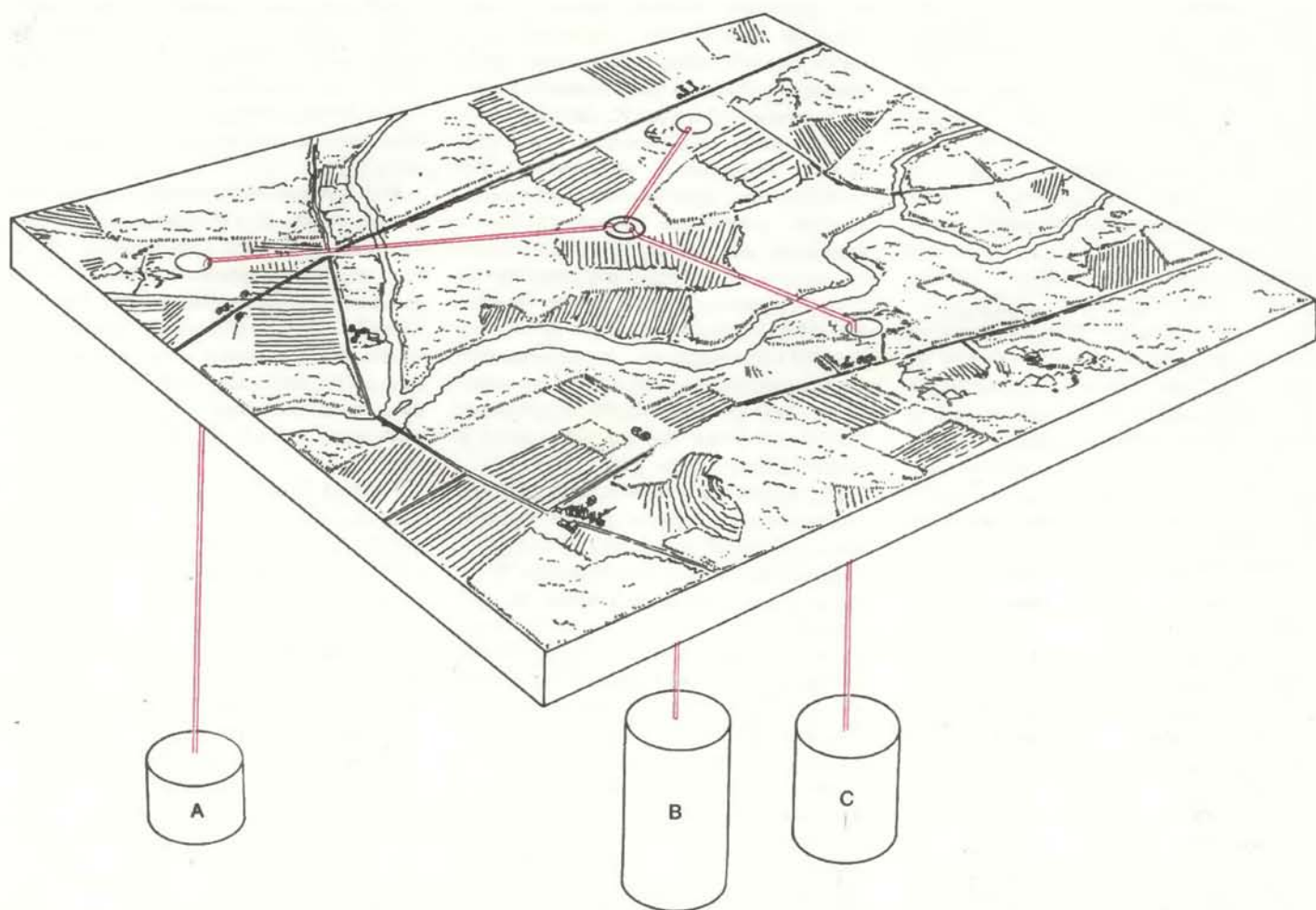
уравнения равна нулю, что фактически достигается при новом уровне воды в аквариуме.

Чтобы привести полные описания всех устройств, о которых нам сообщили читатели, потребовалось бы увеличить размер этой статьи по меньшей мере вдвое. Поэтому я ограничусь лишь кратким упоминанием еще о нескольких.

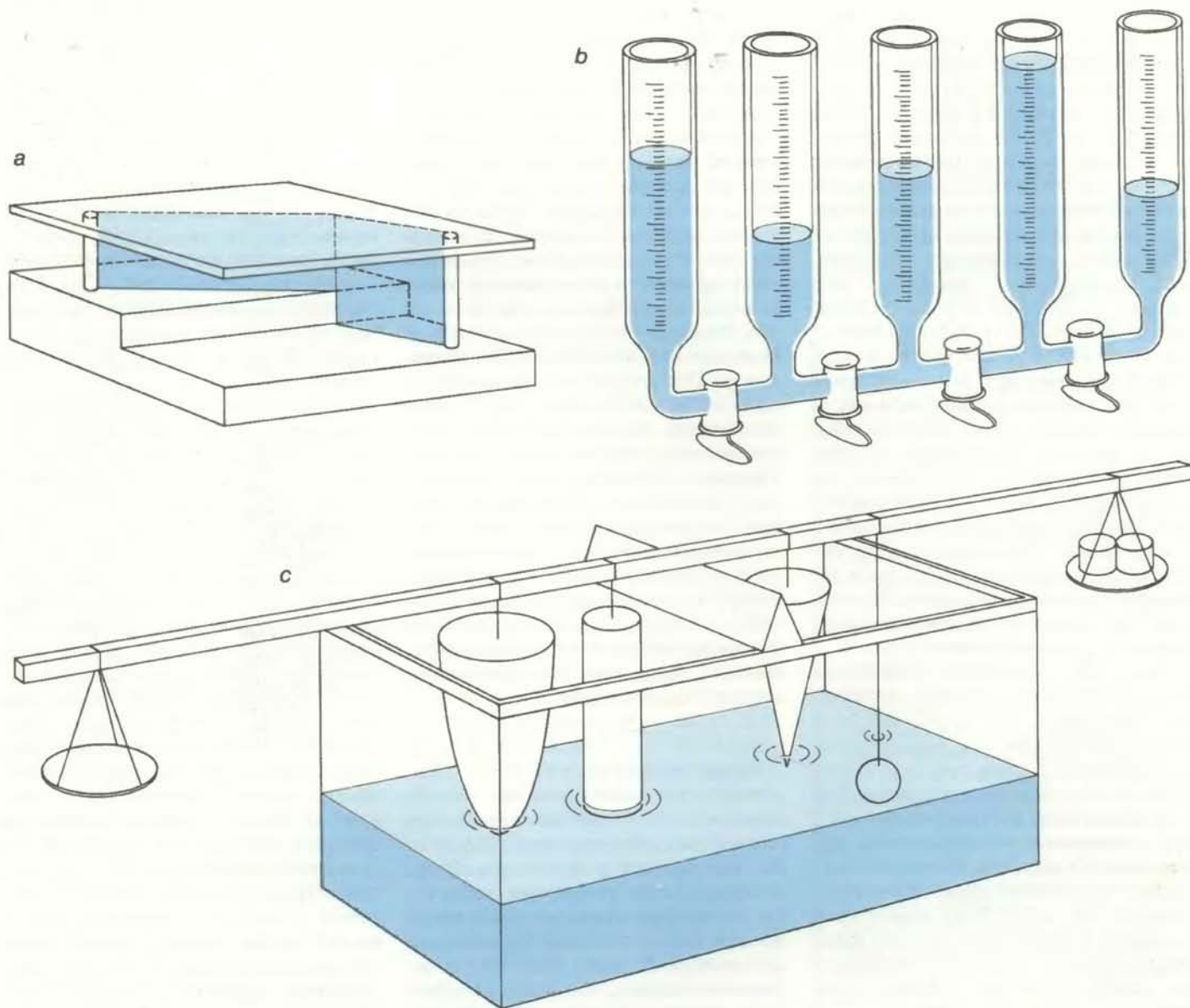
Одно из «устройств» — это довольно непрактичная альтернатива макронному компьютеру. Оно предложено М. Гарднером из Финдлея (шт. Огайо) и называется СБД, сокращенно от «сортировщик на бензиновых двигателях». СБД требует по одному легковому автомобилю, скажем «фольксвагену», на каждое число из сортируемого набора чисел. В бензобак каждого «фольксвагена» заливается количество бензина, соответствующее представляемому данным автомобилем числу. Водители (все одинакового веса) садятся в машины, и колонна трогается в путь. Один дополнительный «фольксваген» (с полным баком) движется следом, и его водитель фиксирует порядок, в котором другие машины, исчерпав свой запас горючего, останавливаются. Таким образом числа исходного набо-

ра оказываются отсортированными.

В свою очередь шнурковое устройство для отыскания кратчайшего пути на графе, о котором говорилось в прошлогодней статье, можно смоделировать при помощи простой электронной схемы, предложенной С. Фортескью из Каног-Парка (шт. Калифорния). Каждое ребро графа заменяется схемой из двух параллельных ветвей. Каждая ветвь состоит из диода Зенера и последовательно соединенного с ним светодиода. Обычно диоды проводят ток только в одном направлении, и может показаться странным, что диод Зенера и светодиод на каждой ветви ориентированы в противоположных направлениях. Обе ветви сами тоже имеют противоположную ориентацию. Однако диод Зенера может проводить и в обратном направлении, если приложенное к нему напряжение достаточно велико. Фортескью предлагает использовать диоды с пороговыми напряжениями, пропорциональными длинам ребер графа, аналогами которых они являются. Чтобы найти кратчайший путь между двумя узлами графа, к соответствующим точкам схемы нужно приложить напряжение. Сначала никакого эффекта не наблюдается, но по



Аналоговое устройство для определения оптимального места строительства металлургического завода



Приборы для определения трассы трубопровода минимальной стоимости (а), нахождения среднего арифметического нескольких чисел (в) и решения кубического уравнения (с)

мере увеличения напряжения первыми загорятся светодиоды, образующие кратчайший путь между узлами.

Никто не придумал лучшего устройства для определения выпуклой оболочки множества точек на плоскости, чем то, которое основано на круглой резинке и было описано в прошлогодней статье, посвященной аналоговым устройствам. Тем не менее Э. Ланцони из Модена (Италия) изобрел «прибор», позволяющий найти окружность с наименьшим радиусом, заключающую в себе все точки множества. Ланцони просверливает отверстия в доске, которые соответствуют точкам множества. Затем он отрезает несколько шнурков одинаковой длины, одни их концы связывает вместе, а другие, свободные, пропускает по одному через просверленные в доске отверстия. Свисаю-

щие концы шнурков прикрепляются в соответствующих точках к большому плоскому куску фанеры. Когда фанера находится в подвешенном состоянии, положение узла на доске фиксируется точно в центре искомой окружности. По крайней мере три шнурка оказываются натянутыми, они образуют радиусы окружности.

ПЕРЕЙДЕМ теперь к рассмотрению некоторых вопросов, невольно возникающих после ознакомления с рядом аналоговых устройств. Дело в том, что и сами аналоговые устройства, и общий подход к вычислениям с их помощью вызывают у читателей некоторое беспокойство. В ответ на статью, опубликованную в прошлом году, ряд читателей написали критические заметки, касающиеся моих оценок быстродействия аналоговых

вычисляющих устройств. Другие читатели обратили внимание на точность решения, обеспечиваемую этими устройствами, а некоторые даже потребовали, чтобы я дал точное определение аналогового компьютера. Эти вопросы подвели нас к самой сути взаимоотношений между материей и информацией.

В первой статье на эту тему я проанализировал две фазы — предшествующую фазе собственно аналогового вычисления и следующую за ней. Рассматривая макаронное аналоговое устройство, мы выделили фазу, предшествующую вычислению, в ходе которой нужно было нарезать макаронные палочки так, чтобы их длина соответствовала сортируемым числам. После же фазы вычисления нужно было измерить каждую палочку в порядке убывания их длины и записать ре-

зультат. Почти во всех случаях эти вспомогательные фазы занимали наибольшее количество времени. Само по себе вычисление сводилось к одному или нескольким движениям: удару, повороту, натяжению шнурка, после которых наступало состояние равновесия, являющееся решением задачи. Однако в некотором смысле фазы обработки информации не совместимы с природой аналогового вычисления. Привыкнув оперировать числами, мы, естественно, полагаем, что «вход» и «выход» для вычисления также должны быть представлены в числовой форме. Но если под аналоговым компьютером мы подразумеваем физический процесс или абстрактную модель физического процесса, то входные и выходные данные также должны быть физическими по своей природе. В этом смысле цифровые машины имеют свои недостатки. Что если мне придется оценивать эффективность цифрового метода в зависимости от того, насколько быстро удастся перевести физические переменные в числовые величины?

Было бы, наверное, правильнее рассматривать аналоговые вычисления, не касаясь пока того, как осуществляются переходы между мирами цифровых и аналоговых величин. Однако что тогда представляет собой мир аналоговых величин? Возможно, его следовало бы идеализировать, как это сделал, например, один инопланетянин, посетивший нашу планету несколько лет назад. Этот эпизод был упомянут в книге моего предшественника, автора статей, публиковавшихся раньше в рубрике «Математические игры». Инопланетянин (назовем его Марсианом Гарднером), едва приземлившись, немедленно приступил к переработке всех книг, изданных за всю историю цивилизации на Земле, с тем чтобы превратить всю содержащуюся в них информацию в одно колоссальное число. Обработка осуществлялась по очень простому принципу: если рассматривать книгу как очень длинную цепочку слов, то ее трудно представить в виде столь же длинной последовательности цифр. Завершив обработку, инопланетянин поместил перед полученным числом нуль и запятую, превратив его в десятичную дробь, и сделал маленькую отметку на металлическом стержне, который хранился на борту космического корабля. Эта отметка делила стержень на части в отношении, точно соответствующем колоссальному десятичному числу. Вот так литературные достижения человечества были сведены к маленькой отметке на металлической палочке.

Будем считать, что мир аналоговых величин состоит из идеального вещества, подчиняющегося идеаль-

ным законам в идеальном пространстве. Мир этот наполнен дифференциальными уравнениями, некоторые из которых описывают совершенно необычные вещи, например непрерывно действующую машину Тьюринга. Такая машина способна производить все действия, выполняемые дискретной машиной, и, может быть, намного больше. Попытка создания подобной машины из обычных электронных компонентов, вероятно, приведет к существенной потере в точности и быстродействии.

А. Вирджис из Университета штата Миннесота, К. Стейглиц и Б. Дикинсон из Принстонского университета (см. библиографию на с. 104) создали устройство, которое выглядит более реалистично, чем аналоговая машина Тьюринга. Состоящее только из валиков, шестеренок и кулачков, оно решает логическую задачу, формируемую в виде логического выражения из сомножителей, каждый из которых является суммой трех литералов. Литерал — это логическая переменная (такая, как x) или ее отрицание (такое, как $\bar{x}$). Суммы трех литералов перемножаются, например так:

$$(x + y + z) \cdot (z + y + \bar{z})$$

Задача заключается в том, чтобы установить, существует ли способ присвоить логические значения (истина или ложь) переменным x , y и z , чтобы значение всего выражения было истиной. Если выражение состоит только из двух сомножителей, как в данном случае, то ответ будет положительным. В самом деле, пусть значение x — истина, y — ложь и z — истина. Видно, что каждый сомножитель содержит по крайней мере один истинный литерал и поэтому значение всего выражения — истина. Хотя в рассмотренном примере задача выглядит простой, ее решение вызывает серьезные затруднения в более общих случаях (т.е. в задачах более высокой размерности). Более того, эта задача обладает свойством, которое вызывает благоговейный страх у специалистов по теории вычислений. Она относится к классу NP -полных задач: ни один известный алгоритм не дает ее решения за время, меньшее «экспоненциального». Другими словами, если число сомножителей равно n , то для решения задачи потребуется 2^n шагов вычисления.

И все же трем теоретикам удалось найти такую конструкцию из шестеренок, валиков и кулачков, которую можно настроить на решение любого частного случая рассмотренной выше логической задачи. Она имеет положительное решение тогда и только тогда, когда оказывается возможным повернуть определенный валик устройства.

В то же время ввиду того, что задача относится к классу NP -полных, она обладает одним примечательным свойством. Если ее удастся решить быстро, то это означает, что любая другая NP -полная задача также имеет быстрое решение. Однако в настоящее время большинство теоретиков считают, что алгоритма быстрого решения таких задач для цифрового компьютера не существует. Может быть, авторы открыли аналоговое устройство, превосходящее любую цифровую машину? Сейчас они тщательно исследуют конструкцию своего устройства в поисках возможной ошибки.

Если абстрактная модель машины действительно работает так, как было задумано авторами, остается открытым вопрос о том, будет ли правильно функционировать реальное устройство, построенное по этой абстрактной схеме. Какой-нибудь фундаментальный фактор, присущий материальному миру, может оказаться непреодолимым препятствием для реализации устройства. Возможно, существует некий природный закон, согласно которому любая физическая система может быть с одинаковым успехом описана и так же быстро смоделирована в цифровой форме, как и в любой другой. Действительно, мы уже привыкли к представлению о том, что все свойства Вселенной по сути своей «цифровые». Все это означает, что аналоговый компьютер, который, казалось бы, превосходит своих цифровых собратьев, должен обладать какими-то существенными недостатками, например в точности или скорости вычислений. Единственное возможное преимущество у таких устройств — это их способность одновременно выполнять множество операций. Вспомним, например, устройство, действующее по принципу сообщающихся сосудов, в которых вода сразу устанавливается на одинаковом уровне.

ЧИТАТЕЛИ живо откликнулись на наше предложение создать ассоциацию любителей игры «Бой в памяти». Директором будет Марк Кларксон. В одной из последующих статей я познакомлю читателей с работой этой ассоциации.

Создать программу ДОКТОР ДОС, хранящуюся на диске и защищающую персональный компьютер от «инфекционных заболеваний», по-видимому, не так просто, как мне казалось. Н.Рэмси из Итаки (шт. Нью-Йорк) пришел к заключению, что ДОКТОР ДОС может диагностировать заболевание, но не может вылечить. Рэмси придумал программу, которая создает «вторичную зараженную вирусом операционную систему,

копирующую себя на диски точно так же, как и большая операционная система, но не приводит к возникновению болезни». Доброкачественный вирус предотвращает инфекцию, превентивно занимая память. Рэмси говорит также, что у его программы есть некоторые средства сигнализации. Во время загрузки операционной системы она даже выводит на экран заставку «Не беспокойтесь, с вами ДОКТОР ДОС», чтобы пользователь был уверен в своей операционной системе. К сожалению, Рэмси изобрел затем другой вирус, достаточно ловкий, чтобы обойти своего доброкачественного собрата.

Идея доктора-вируса пришла также в голову Дж. Деллинжеру, биофизику из Станфордского университета. Как ни странно, его намерение заключалось в том, чтобы создать не доктора, а просто некий безвредный вирус, который мог бы незамеченным переключиваться с диска на диск. Деллинжер был вдохновлен аналогией между программами и живыми существами. У тех и у других могут быть паразиты. В частности, дисковая операционная система может стать переносчиком вируса, успешное размножение которого в немалой степени зависит от его способности оставаться незамеченным. Одна из особенностей вируса Деллинжера заключается в том, что он поселяется только на вспомогательном диске емкостью 48 К байт. Основной диск, таким образом, всегда содержит чистый ДОС. Этот неуловимый вирус, занимающий очень мало места на зараженном диске, проверяет ДОС всякий раз, когда он копируется на новый диск. Вирус «заинтересован» в том, чтобы содержащий его организм оставался всегда здоровым. Поэтому он следит за правильностью копирования. Деллинжер сообщил, что поделился своей программой, доброкачественным вирусом, со своими друзьями. Двое из них, как он опасается, обращались с программой неосторожно, так что вирус теперь может распространиться по всей Калифорнии и даже за ее пределами. Как определить, содержится ли в вашем ДОСе вирус Деллинжера? Он говорит, что иногда можно услышать негромкое шипение, продолжающееся в течение полусекунды. Этот звук возникает, когда вирус создает свою копию.

Программные вирусы, наверное, все же не так заразны, как можно было подумать, прочтя статью в рубрике «Занимательный компьютер» в майском номере журнала за 1985 г. К. Кэшмарек отмечает, что вирус не может переключаться на диск, содержащий операционную систему, отличную от той, в которой поселился вирус. Кэшмарек защищает свои дис-

ки от записи — мера предосторожности, которая определенно останавливает распространение вируса, если, конечно, программный механизм защиты от записи не был обойден вирусом. Кэшмарек также спрашивает, следует ли публично обсуждать вирусы и другие «заболевания» компьютеров. Со своей стороны, я несколько не сомневаюсь, что поврежденное программное обеспечение — это дело нешуточное. Я думаю, что «компьютерные эпидемии», подобные тем, которые я описал, в недалеком будущем будут представлять собой определенную опасность. Но мне кажется, что быть предупрежденным — значит быть вооруженным. И я надеюсь, что публичные обсуждения будут способствовать поиску противоядий.

Тем временем были, наконец, выявлены истоки идеи игры «Бой в памяти». В июльском номере журнала за прошлый год я рассказал читателям историю программ «Сорняк» и «Косарь», а в майском номере за 1985 г. описал программу «Животное». Последняя представляла собой игровую программу, в некотором смысле сходную с «Боем в памяти». Эта программа создавала свои копии на дисках всех программистов, пользовавшихся одной системой, работающей в режиме разделения времени. Автором программы оказался Дж. Уокер из Сосалито (шт. Калифорния). Он признался в том, что создал наиболее успешную ее версию. На самом деле «Животное» — это лишь часть истории. Внутри этой игровой программы была еще одна программа — РАЗМНОЖИТЕЛЬ, выполнявшая функции, связанные с копированием игры. Написанная в январе 1975 г., эта подпрограмма при обращении к ней могла породить «независимый» процесс проверки каталогов, доступных для основной программы, во время работы последней. Если каталог не содержал ссылки на программу или указывал на устаревшую ее версию, РАЗМНОЖИТЕЛЬ копировал выполняемую в данный момент версию программы в библиотеку и заносил сведения о ней в каталог. РАЗМНОЖИТЕЛЬ работал очень аккуратно и предпринимал специальные меры предосторожности, чтобы, например, не уничтожить какую-нибудь программу пользователя, носящую то же имя, но не имеющую никакого отношения к игре.

В заключение хочу сказать, что энтузиазм любителей игры «Аква-тор» («В мире науки» 1985 № 2) не угасает и некоторые инициаторы предлагают создать свою ассоциацию приверженцев этой игры и пользователей соответствующего программного обеспечения.

Издательство МИР предлагает:

Л. Эрман, П. Парсонс

ГЕНЕТИКА ПОВЕДЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ

Перевод с английского

Содержание: Краткое изложение основ генетики с примерами из области генетических исследований поведения. Одногенный контроль некоторых признаков поведения. Влияние хромосомных инверсий на эволюцию генома и признаков поведения. Вариации кариотипа у человека; синдром Дауна. Полигенный контроль поведения (геотаксис, феномен половой изоляции у дрозофилы, репродуктивное поведение гибридов попугаев-неразлучников, анализ поведения собак-гибридов). Методы оценки способа наследования, влияния условий внешней среды, взаимодействия генотипа и среды. Близнецовый анализ родословных у человека. Влияние условий среды на признаки поведения у человека. Дрозофила как удобный объект генетических исследований поведения и физиологических процессов; нейрогенетика дрозофилы. Генетика поведения у грызунов. Генетический анализ поведения бактерий, инфузорий, нематод, насекомых и других видов. Генетика поведения человека. Поведение и эволюция.

Книга предназначена для генетиков, этологов, психофизиологов, эволюционистов, для преподавателей и студентов биологических специальностей.

1984, 35 л. Цена 4 р. 70 к.



Книги

Океан — источник железа;
выдающиеся голландские ученые,
голландская живопись XVII в.;
астрономический альбом,
астрофизические методы и приборы

ФИЛИП MORRISON

Хайнрих Д. Холланд. ХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА
THE CHEMICAL EVOLUTION OF THE ATMOSPHERE AND OCEANS, by Heinrich D. Holland. Princeton University Press (\$ 75; paperbound, \$ 24.50)

ЗЕМЛЯ вступила в свой железный век давным-давно. Хотя богатые железом отложения крайне разнообразны и встречаются на протяжении всей геологической истории планеты, большая часть всей железной руды сконцентрирована на нескольких гигантских месторождениях одного типа. Накопление железной руды в них происходило за относительно короткий период продолжительностью 0,5 млрд. лет, который закончился около 2,0 млрд. лет назад. Эта руда представляет собой слоистые железистые кварциты, в которых миллиметровые прослои окислов железа чередуются с прослоями кварца. Огромные пласты железнорудных отложений почти километровой толщины имеют протяженность в сотни километров. Эти пласты на одну треть состоят из железа, а слагающие их тончайшие слои, вероятно, являются хронологическими вехами, столь же сложными по своему происхождению, как и годовые кольца деревьев (хотя правильность такой интерпретации сомнительна).

Именно гигантский масштаб процесса, который вовлек огромное количество железа, постепенно осадив его из раствора, ставит в тупик все локальные теории. Медленно просачивающиеся подземные воды и крупные реки с мелководными эстуариями, вулканы и срединно-океанические хребты, — каждый из этих источников бессилен «поставить» достаточное количество растворенного железа. Кроме того, их можно исключить из рассмотрения еще и по той причине, что слоистые железнорудные отложения не содержат обломков пород. Единственно достаточно обильный источник железа — это океан, ку-

да стекают воды всех рек.

Однако сегодня морская вода содержит лишь несколько частей растворенного железа на миллиард — весьма жидкий «бульон». Концентрация двуокиси кремния для образования джеспилитов также должна быть гораздо выше в сегодняшних морях. Новейшие данные об океанической коре и исследования, проведенные в Черном море, подтверждают в деталях сложный биохимический сценарий, в котором основная роль отводится запасам свободного кислорода. Слишком много кислорода — железо перестанет растворяться, слишком мало — начнет осаждаться марганец. В слоистых отложениях железа примесей марганца нет, хотя в более поздние эпохи такие отложения не редкость.

Вся эта масса неполностью окислившегося железа свидетельствует о наличии кислорода, однако в довольно скромных количествах. Простейшие соображения помогают представить природу океана и атмосферы в древности: в то время как в открытом океане осаждение органических веществ было крайне скудным, у берегов богатые железом течения вызвали бурный рост микроорганизмов на протяжении миллионов лет. В этой модели находят свое объяснение и железосодержащие слои трех других минералогических эпох.

До сих пор речь шла об океане, однако то, что известно об условиях, царивших на суше, прекрасно согласуется с вышесказанным. Некоторые глубоководные руды, например руды бассейна Витватерсранд, содержат множество зерен уранинита со следами древнейшего выветривания. Этот минерал в высшей степени подвержен окислению, и атмосфера более поздних эпох оказалась бы губительной для него. По сохранности зерен уранинита можно судить о концентрациях кислорода и углекислого газа в те далекие времена.

Фотосинтезирующая жизнь про-

цветала в мелких прибрежных водах (именно здесь и накапливались железистые кварциты); в этом отношении открытый океан был намного беднее. Молекулярный кислород, столь необходимый многоклеточным формам, несомненно, уже имелся в атмосфере, однако никакая свеча не смогла бы гореть в воздухе, концентрация кислорода в котором была в 50 раз ниже современной. Температура прибрежных вод была близка к нынешней, так что крохотные одноклеточные и нитевидные организмы, которые встречаются в отложениях той эпохи, вели существование, ничем не отличающееся от существования их собратьев в наше время. Это были клетки без ядер, и хотя в биохимическом отношении они были весьма совершенны, существовать они могли лишь на мелководье и в зоне прилива, а никак не на суше или в открытом море. Природа в то время еще не создала тех организмов, которые жадно поглощают кремний из морской воды и отлагают его на океаническом дне в виде ила, состоящего из их изящных опаловых скелетов.

Самые древние геохимические образцы, имеющие возраст 3,8 млрд. лет, были обнаружены в сильно метаморфизованных осадочных породах Гренландии на побережье моря Баффина. Все другие образцы, относящиеся к более раннему времени, начиная с возникновения Земли примерно 4,5 млрд. лет назад, имеют «небесное» происхождение: это метеориты и лунные породы. В первой части книги рассказывается как раз об этой далекой эпохе, которую мы представляем себе еще весьма туманно.

Основное содержание книги посвящено длительному периоду времени, начиная от древнейших образцов породы вплоть до появления животных в мелководных морях около 0,6 млрд. лет назад. В последней части книги описаны атмосфера и океан в классическое геологическое время, «документированное» остатками крупных животных.

История Земли может показаться довольно однообразной; в самом деле, любое настоящее «приключение» оказалось бы губительным для жизни. Хайнрих Холланд убежден, что жизнь процветает лишь тогда, когда она приспосабливается к тем геохимическим условиям, созданию которых сама же в значительной мере способствует. Здесь гораздо больше прозы, чем в «интригующей и заманчивой» гипотезе Гая, согласно которой биота устанавливает активный геохимический контроль и поддерживает оптимальные условия. Наш мир — лучший из миров, но лишь для хоро-

шо приспособленных.

Тот «набор» соединений, который образуется при медленном испарении морской воды, сохранился в соляных отложениях. По всей видимости, со времени появления животных состав морской воды не менялся сколь-нибудь существенно (не исключено, однако, изменение концентрации отдельных компонентов примерно в два раза). Количество кислорода возросло еще в самом начале, в противном случае известковые организмы не были бы образованы в процессе эволюции. Однако пока не ясно, когда именно воздух по своему составу стал близок к современному: вскоре после отложения джеспилитов или некоторое время спустя. Имеются биологические данные, которые говорят в пользу первого предположения.

Существует мнение, что массовое вымирание животных 65 млн. лет назад произошло в результате столкновения Земли с кометой; это подтверждается обнаружением слоя с аномально высоким содержанием иридия; но окончательный вывод еще впереди. (Мнение профессора Холланда весьма авторитетно: он отнюдь не склонен увлекаться сенсационными теориями, основанными на непроверенных данных. Следует отметить, что книга была написана еще до появления предположения о повторяющихся столкновениях с кометами.)

За последнее время некоторые положения химии океана претерпели значительные изменения. Отношение изотопов серы в соляных отложениях, оказывается, не остается постоянным; стронций-кальциевое отношение в раковинах морских организмов менялось даже на протяжении последних 100 млн. лет. Оба эффекта и некоторые другие, менее известные, могут служить показателем колебаний в поступлении летучих веществ от раскаленных базальтов на срединно-океанических хребтах. После контакта с ними морская вода содержит кальций в гораздо большем количестве.

Повествование в книге начинается с истории рождения Солнца. Но автор несомненно прав, делая основной упор на более достоверный поздний период. Древнейшие известные образцы породы свидетельствуют о том, что во время их образования геологические процессы в целом были близки современным. Континентальная кора — мощная и смятая в складки — уже существовала, вулканы действовали повсюду, а океан не был ни безбрежным, ни повсеместно мелким.

Все заключения относительно более раннего времени гипотетичны, они основываются на все еще непод-

твержденных моделях происхождения Солнечной системы. Первичная атмосфера представляла собой скорее смесь углекислого газа и азота (без кислорода), нежели аммиака и метана (как было принято считать 20 лет назад) — соединений недостаточно стойких, чтобы выдержать поток ультрафиолетовой солнечной радиации в условиях отсутствия озонового слоя. Значительные массы воды появились, как только водяной пар стал конденсироваться: поглощение воды раскаленными породами было, по всей видимости, менее интенсивным, чем дегазация.

Если астрономы не ошибаются, сравнивая молодое Солнце с недавно родившимися звездами Т Таури, характеризующимися сильным ультрафиолетовым излучением, то фотохимическое воздействие ультрафиолета на атмосферу, по-видимому, было колоссальным. Знаменитый эксперимент Стэнли Миллера и Харолда Юри и его многочисленные варианты указали на возможность настоящего ливня из органических соединений в океан; эти соединения могли участвовать и в более сложных реакциях в том случае, если местные условия (будь то извержение вулкана или падение метеорита) представляли свободную энергию и такие относительно редкие ингредиенты, как фосфат. Химическое равновесие кажется очень понятным, но это лишь намек на реальность. Жизнь, вероятно, зародилась в специфическом геологическом контексте во время плохо знакомой нам, но бурной геологической эпохи.

Эта содержательная монография написана на высоком профессиональном уровне и в то же время весьма доходчиво. В книге недостает разве что упоминания о недавно высказанном смелом предположении, согласно которому углеродный цикл требует радикального пересмотра: в него следует включить медленные поступления углерода от глубинных слоев в виде углеводородов.

Дирк Струик. СТРАНА СТЕВИНА И ГЮЙГЕНСА: ОЧЕРК О РАЗВИТИИ НАУКИ И ТЕХНИКИ В НИДЕРЛАНДАХ ПЕРИОДА ЗОЛОТОГО ВЕКА

THE LAND OF STEVIN AND HUYGENS: A SKETCH OF SCIENCE AND TECHNOLOGY IN THE DUTCH REPUBLIC DURING THE GOLDEN CENTURY, by Dirk J. Struik. D. Reidel Publishing Company (\$ 39.50; paperbound, \$ 19.50)

Светлана Альперс. ОПИСАТЕЛЬНОЕ ИСКУССТВО: ГОЛЛАНДСКАЯ ЖИВОПИСЬ XVII ВЕКА

THE ART OF DESCRIBING: DUTCH ART IN THE SEVENTEENTH CENTURY, by Svetlana Alpers. The University of Chicago Press (\$ 37.50; paperbound, \$ 17.50)

КАЖДОМУ, кто читает научную и популярную литературу, прекрасно знакомы имена: Гильберт, Гук, Ньютон. Однако гораздо меньше известно об их голландских современниках — Стевине, Гюйгенсе и ван Левенгукке. Никто не станет отрицать, что Ньютон — «звезда первой величины», однако страна, расположенная по другую сторону Северного моря, может похвастаться не менее выдающимися умами. Книга известного американского математика и историка науки, впервые опубликованная на голландском языке, а теперь вышедшая в новой редакции на английском языке, поможет читателю расширить свой кругозор.

В своей относительно небольшой работе Струик посвящает по одной главе каждому из наиболее выдающихся имен, анализируя их вклад в науку на фоне исторического развития Нидерландов. Высокому уровню переходного искусства в стране сопутствовал дух предпринимательства и экспансии. В ней не существовало сколько-нибудь могущественного класса землевладельцев, его место на всех руководящих постах занимали богатые бюргеры — выходцы из аристократического класса, — заинтересованные в выгодном помещении своих капиталов как внутри страны, так и за ее пределами. Симон Стевин предпочитал писать на голландском, тогда как Гильберт читал лекции об огромном магните — Земле — исключительно на латинском. Инженер и специалист по практическим вычислениям, Стевин интересовался и проблемами мироздания в той степени, чтобы стать последователем Коперника. Он также экспериментально проверил выводы Аристотеля о законах падения легких и тяжелых свинцовых шаров, слушая звуки их ударов по доске. Вместе со своим партнером по научным занятиям Яном Корнетсом де Гроотом, бургомистром Делфта, Стевин сделал сообщение о нагревании тел при ударе еще за 20 лет до того, как Галилей отправился преподавать в г. Пизу.

Краткое повествование о нескольких выдающихся ученых сопровождается сведениями о сотне других, внесших свой вклад в развитие голландской и бельгийской науки и техники того времени, не говоря уже о ее основоположниках, таких как Меркатор и Везалий. Пионеры в составлении и печатании карт, гидравлике и навига-



Вид Амстердама

ции, исследователи и систематизаторы флоры и фауны в далеких колониях — эти энтузиасты своего дела, люди огромной энергии, были весьма характерны для периода освобождения страны от иностранного господства в конце XVI в. Обычно между Америкой и Нидерландами проводят параллель, когда говорят о борьбе этих стран за независимость. Франклину и Джефферсону голландцы могут с полным правом противопоставить Стевина и Константина Гюйгенса, выдающегося государственного деятеля и талантливого поэта, до сих пор более известного на своей родине, чем его сын, известный физик Христиан Гюйгенс.

Профессор Светлана Альперс, автор второй книги, преподает в Калифорнийском университете в Беркли историю искусств. Предметом ее исследования является главным образом наследие голландских мастеров живописи, возможно встречавшихся в XVII в. на шумных улицах Амстердама и Делфта с прославленными учеными. Анализируя полотно за полотном, она выдвигает все новые доводы в защиту довольно смелой, хотя уже и не оригинальной гипотезы.

Первое, что бросается в глаза читателю — обилие иллюстраций: натюрморты, ландшафты, домашние сценки, столь характерные для описываемого периода. На этих многочисленных примерах автор пытается доказать довольно очевидную идею. Живопись итальянского Возрождения была «повествовательной»: в основе сюжета лежал символ или миф, пред-

полагающий наличие определенных знаний у зрителя и требующий от историка, занимающегося их изучением, специальных иконографических исследований. Вспомним хотя бы рождающуюся из морской пены Венеру (с каким бы натурализмом ни была написана раковина морского грешка и как бы велико ни было сходство богини с одной из флорентийских женщин).

А теперь обратимся для сравнения к картине «Вид Делфта» Яна Вермера. Город виден со стороны моря. Картина похожа на весьма распространенные в те времена гравюры, отличающиеся от них лишь богатством красок, более тщательной проработкой деталей и контрастом между светом и тенью. Есть основания предполагать, что, создавая картину, художник пользовался оптическими приборами. Например, перспектива дана не так, как ее видел бы наблюдатель, находящийся на берегу, а как бы с высоты птичьего полета. Для голландских художников того времени характерно стремление достичь близости к натуре, воспринимаемой оптическим способом и передаваемой с помощью средств живописи, доведенных до совершенства. И если к югу от Альп к оптическим инструментам и получаемым с их помощью изображениям относились с недоверием, то в Голландии они были распространены. Картина, таким образом, была как бы суррогатом зрительного изображения, которое в свою очередь (как доказал Кеплер) получается с помощью линз, мало чем отличающихся от тех,

что изготавливаются искусными мидделбургскими мастерами.

Это живопись описательная, в деталях изображающая поверхность и текстуру, иногда даже внутреннее строение предмета. Если на картине приводится текст, то слова, как правило, можно легко разобрать. Часто предметы отражаются в искривленных поверхностях. Перспектива дана не так, как она представлялась бы наблюдателю, а как воспринимаемая отдельно глазом в проекции скорее на рабочую поверхность, чем на невидимое окно Альберти.

Проанализировав сказанное выше, мы приходим к выводу, что нидерландское искусство и наука того времени объединяет нечто общее: они давали описание мира. Однако было бы неверно видеть в них лишь мастерство, доведенное до совершенства. Хотя Гук и пишет, что «верная рука и меткий глаз» важнее, чем «глубина постижения», однако он сам тут же переходит к размышлениям о необходимости изучать различные способы освещения для того, чтобы понять природу изображения, получаемого с помощью микроскопа. Возвращаясь вновь к сравнению живописи Италии и Голландии, автор говорит, что итальянские живописцы доносили до зрителя свои идеи с помощью «подтекста» картины; тогда как человек, рассматривающий картину голландского мастера, постигает ее смысл глазами и разумом. Такое изображение более натуралистично, в меньшей степени культурно опосредствовано и навязано зрителю, хотя, разумеется, вовсе не примитивно. Та же описательность прослеживается и в науке. Так, Виллеброрд Снелль ван Ройен, открывший закон преломления, провел большую часть своей недолгой жизни, измеряя расстояния между различными точками методом построения треугольников, воспользовавшись тем, что разлившаяся вода замерзла, образовав гладкую поверхность. А такое описательное занятие, как составление карт, превратилось в одну из областей прикладной науки.

Разумеется, все эти описания постепенно складываются в общую картину путей и тенденций общественного развития. Тот же Вермер в своих работах шел дальше простого описания событий и чувств. Одно из наиболее интересных наблюдений автора относится к трактовке художником женских образов. Он изображает не просто жен и матерей семейств, но и наделяет их богатым внутренним миром. Следует, однако, отметить, что во всех классификациях, сделанных автором книги, можно найти исключения. Так, великий Галилей относил-

ся с полным доверием к оптическим приборам; не мог обойтись без микроскопа и Марчелло Мальпиги. А непревзойденный Рембрандт — нидерландский художник — создавал свои аллегории из библейской жизни скорее по законам итальянской живописи. Не правда ли, довольно существенные исключения!

Эта книга доставит истинное наслаждение интересующимся историей науки и искусства, так как освещает неожиданные стороны их развития.

Джозеф Эшбрук. АСТРОНОМИЧЕСКИЙ АЛЬБОМ: НАБЛЮДАТЕЛИ, ПИОНЕРЫ И ИССЛЕДОВАТЕЛИ В АСТРОНОМИИ

THE ASTRONOMICAL SCRAPBOOK: SKYWATCHERS, PIONEERS, AND SEEKERS IN ASTRONOMY, by Joseph Ashbrook. Edited by Leif J. Robinson. Sky Publishing Corporation & Cambridge University Press (\$ 19.95)

С. Р. Китчин. АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ

ASTROPHYSICAL TECHNIQUES, by C.R. Kitchin. Adam Hilger Ltd., distributed in the U.S. by IPS Inc., P.O. Box 230, Accord, Mass. 02018 (\$ 65; paperbound, \$ 25)

ПОКОЙНЫЙ Джозеф Эшбрук в течение 25 лет был редактором самого известного в Америке журнала астрономов-любителей. И хотя по образованию (и призванию) он был астрономом, а не историком, его феноменальная память и интерес к полубытым томам, пылящимся на полках библиотеки Обсерватории Гарвардского колледжа, помогли ему оставить след и в истории науки. Шесть раз в год он посвящал несколько страниц в своем журнале какому-нибудь событию, упоминание о котором находил в своих богатейших анналах. При этом его внимание особенно привлекали неудачники, неосуществленные проекты и... далекие края.

Эта книга представляет собой иллюстрированную антологию 83 лучших статей Эшбрука по истории астрономии, отобранных для издания его другом и преемником на посту редактора Лейфом Робинсоном. Первая из этих статей посвящена серебряному протезу носа Тихо Браге (кстати, оказалось, что он содержит значительную примесь меди), а последняя — одной знаменитой и загадочной гравюре, истинное происхождение которой известно очень немногим. В примечаниях читатель найдет ссылки на многочисленные книги — известные и давно позабытые, и сами эти названия, несомненно, повысят

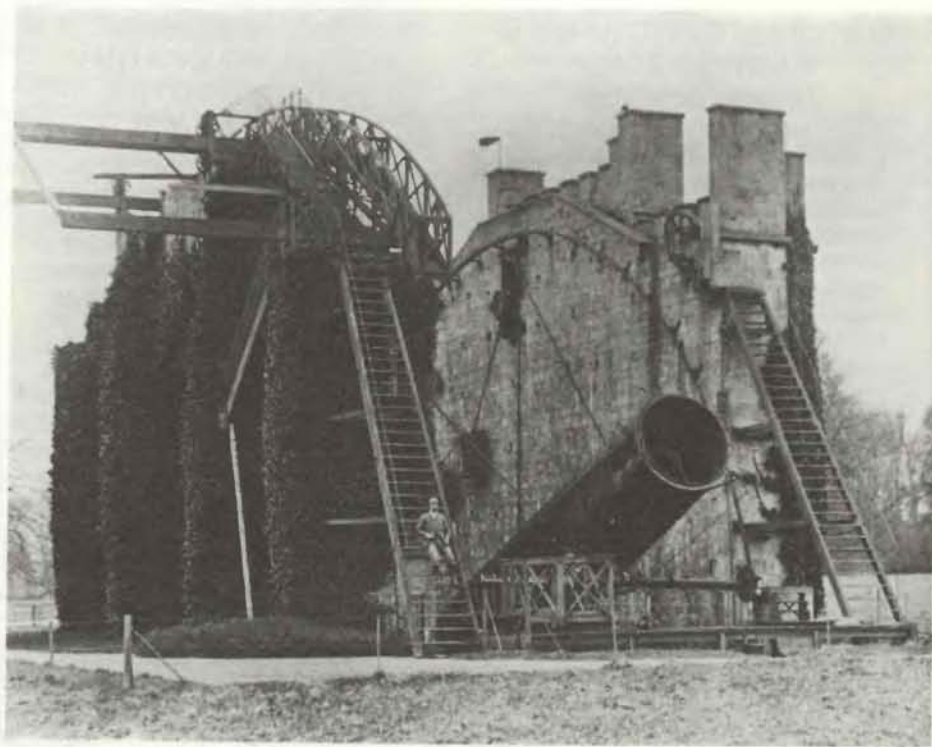
его эрудицию.

Одна из наиболее интересных статей посвящена искусству наблюдения очень тонкого месяца. На самом деле это занятие вовсе не бессмысленное — ведь многие древние и современные календари связаны с фазами Луны. Двухдневная Луна похожа на кусочек тонкой золотой проволоки, однако существуют полностью достоверные сообщения о наблюдении 15-часового месяца (хотя всякий, кто пытался найти его на небе, поверит в это с трудом). Другая заметка рассказывает о том, как выглядела обнаруженная сто лет назад — в августе 1885 г. — сверхновая около ядра туманности Андромеды. В книге воспроизводятся и рисунок прошлого века, и современная фотография похожего на звезду ядра, расположенного неподалеку от сверхновой. Это явление, яркое и загадочное, навсегда останется связанным с постепенным осознанием астрономами удаленности от нас других галактик.

Последняя из иллюстраций книги — это хорошо известная всем любителям астрономии гравюра, изображающая средневекового странника, просунувшего голову сквозь небесную сферу со звездами и рассматривающего находящиеся за ней колеса. Доктор Эшбрук рассказывает, как в последние несколько десятилетий ученые наконец убедились, что эта гравюра совсем не такая древняя, как кажется. Создана она в XIX в. талантливым популяризатором астрономии и гравером Камилем Фламарионом, впервые опубликовавшим ее вместе с

соответствующей подписью в своей книге, вышедшей в 1888 г. Однако блестящая имитация, как и ирония, всегда таит в себе опасность. Однажды оторванная от контекста и затем, вероятно, использованная в коммерческих целях, гравюра появилась с тех пор в огромном количестве книг, авторы которых, не зная о ее происхождении, снабжали гравюру подписью в соответствии со своей трактовкой. Эта гравюра даже украшает суперобложку вышедшей в свет в прошлом году популярной истории науки, имевшей большой успех у читателей.

Впечатляющие фотографии и сообщения во второй книге напоминают нам, что мы живем в эпоху расцвета астрономии. В основе последних достижений этой науки лежит современная техника, создавшая новые инструменты и приборы, а также приложение физических теорий от Ньютона и Рэлея до Эйнштейна. Этот несколько необычный учебник, написанный астрономом из Хатфилдского политехнического института под Лондоном появился на свет в результате первой попытки написать «последовательную и современную» книгу, охватывающую широкий круг современных методов, используемых в многочисленных обсерваториях, находящихся на вершинах гор, в глубине шахт и даже на околоземной орбите. Книга рассчитана в первую очередь на студентов старших курсов естественных факультетов, которым предстоит использовать эту аппаратуру в своей работе, и потому посвящена не столько конструкции прибо-



Телескоп, с помощью которого была открыта спиральная туманность

ров, сколько их назначению и принципам действия.

Сначала автор рассматривает весь «ассортимент» детекторов излучения: от радио- до гамма-лучей, нейтрино и даже гравитационных волн. Следующий раздел повествует о технике получения изображений. Здесь читатель знакомится как с обычными способами фотографирования, так и с методами сканирования, интерферометрии и даже основами радиолокации. Оставшаяся часть книги посвящена фотометрии, классическим и новым спектроскопическим методам, поляриметрии и приборам для исследования яркого солнечного света. Каждая глава сопровождается задачами, правда несколько упрощенными.

Важным достоинством книги является широта темы, приведенная, однако, и к нескольким схематическому рассмотрению некоторых вопросов. Лучше всего доктору Китчину удалось рассказать о том, что связано с физической оптикой, например, о разрешающей способности оптических телескопов, наиболее распространенных современных спектроскопах и приспособлении интерферометрической аппаратуры для спектроскопии. При этом не остались забытыми и такие общие характеристики различных приборов, как отношение сигнала к

шуму, квантовый шум, ширина полосы и динамический диапазон, хотя их можно было бы использовать и несколько шире.

В книге, пожалуй, недостает сводных таблиц основных характеристик многочисленных рассмотренных систем. Так, человеческий глаз регистрирует сигнал на уровне 10^{-15} Вт, а чувствительность больших телескопов в 100 млн. раз выше. Детекторы гамма-излучения, которые по замыслу конструкторов должны регистрировать несколько фотонов соответствующей частоты в день, могут обнаружить сигнал такой же мощности, как и человеческий глаз в оптическом диапазоне. Поистине поразительна изобретательность создателей многих приборов, таких, как, например, видикон или антенна для регистрации гравитационных волн. На одной из иллюстраций мы видим отражатели рентгеновского излучения с металлическими зеркалами, использованные на знаменитом спутнике «Эйнштейн». Их разрешающая способность ограничивается скорее неровностями поверхности порядка длины волны рентгеновских лучей (т.е. около $10 \text{ \AA}$), чем дифракционными эффектами. Интересные новые приборы созданы и для оптического диапазона: достаточно вспомнить хотя бы спектроскоп прямого видения «Треанор».

Его основу составляют три стеклянные призмы, сложенные вместе так, что входная и выходная плоскости параллельны друг другу. Прибор разлагает световой луч в спектр, не отклоняя его. Конечно, этого удалось достигнуть, лишь подобрав комбинацию оптических стекол с соответствующим соотношением показателей преломления для определенной длины волны, но с различной дисперсией. Так как диаметр светового пучка в телескопе больше размеров помещенной на его пути призмы, каждая звезда в поле зрения видна на условленной длине волны на своем месте и окружена короткой ленточкой спектра. Этот спектроскоп используется, например, при измерении радиальной скорости для звездных полей.

Всего в книге описано несколько десятков типов приборов. Изложение ведется в общих чертах, хотя автор и не избегает основных формул, связанных с тем или иным устройством. К сожалению, он лишь слегка коснулся такого сложного искусства, как получение и обработка цифровой информации. Однако для читателей, знакомых с физикой, эта книга представляет собой едва ли не единственное удачное введение в быстро развивающиеся методы современной астрономии.

Издательство МИР предлагает:

ОСНОВЫ СЕНСОРНОЙ ФИЗИОЛОГИИ

Перевод с английского

Книга специалистов из ФРГ, выдержавшая 3 издания на немецком языке и 2 на английском, посвященная одному из самых интересных разделов нейрофизиологии. Рассмотрены общие вопросы сенсорной физиологии, строение и функции соматосенсорной, зрительной, слуховой, вкусовой, обонятельной систем, механизмы, лежащие в основе чувств равновесия, голода и жажды. Материал изложен на вполне современном уровне, компактно и четко.

Для студентов и аспирантов университетов и медицинских институтов, а также для специалистов в области нейрофизиологии.

1984, 23 л. Цена 3 р. 80 к.

ТРЕБОВАНИЯ И СПЕЦИФИКАЦИИ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММ

Перевод с английского

Сборник посвящен важному этапу разработки программ — определению общих требований к программе и точному описанию задачи, которую она должна решать. Он содержит работы по универсальным языкам спецификаций, языкам описания систем баз данных и методологии разработки спецификаций. Представлены как широко признанные методики, так и новые экспериментальные. В числе авторов — известные американские специалисты Д. Росс, К. Хеннингс, Ф. Бауэр и др.

Для программистов и математиков, интересующихся проблемами программирования.

1984, 20 л. Цена 1 р. 60 к.



(начало см. на стр. 3)

Walter Tape (УОЛТЕР ТЕЙП «Топология миражей») — доцент на кафедре математики в Университете шт. Аляска в Фэрбанксе. Получил степень бакалавра в Принстонском университете, а докторскую степень — в Мичиганском университете. Его интересы — и как профессионала, и как любителя — связаны главным образом с изучением оптических явлений в атмосфере, в частности радуги и миражей. Эти феномены, пишет Тейп, «привлекают меня не только своей естественной красотой, но и связью с некоторыми математическими идеями. Фотографировать их — большое удовольствие для меня. Отчасти это объясняется чисто научными соображениями, отчасти — охотничьим азартом: ведь всегда надеешься поймать действительно редкое явление».

Издательство МИР предлагает:

М. Джейкок,
Дж. Парфит
ХИМИЯ
ПОВЕРХНОСТЕЙ
РАЗДЕЛА ФАЗ

Перевод с английского

В книге излагаются фундаментальные закономерности, необходимые для понимания природы явлений, наблюдаемых на поверхности раздела фаз в окружающем нас мире — многофазной системе.

Содержание: Введение в теорию межфазных поверхностей раздела и сил, возникающих при их формировании. Термодинамическое описание границы раздела фаз. Исследование поверхности твердого тела. Граница раздела твердое тело — жидкость.

Для научных работников — физико-химиков, а также для преподавателей и студентов, специализирующихся в области физико-химии поверхности.

1984, 17 л. Цена 2 р. 85 к.

И. Валях
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-
ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ
ВЫЧИСЛЕНИЯ

Перевод с английского

Книга американского специалиста посвящена одной из новых архитектур вычислительных машин, сочетающей последовательное распределение заданий и их параллельную обработку. Изложение отличается широтой охвата материала, комплексным подходом к проблеме.

1985, 28 л. Цена 2 р. 30 к.



АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

INPUT-OUTPUT ECONOMICS. Wassily Leontief. Oxford University Press, 1966.

STRUCTURAL CHANGE IN THE AMERICAN ECONOMY. Anne P. Carter, Harvard University Press, 1970.

INPUT-OUTPUT ANALYSIS: FOUNDATIONS AND EXTENSIONS. Ronald E. Miller and Peter D. Blair. Prentice-Hall, Inc., 1985.

THE IMPACT OF AUTOMATION ON WORKERS. Wassily Leontief and Faye Duchin. Oxford University Press, in press.

Гранберг А. Г. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ. — М.: Экономика, 1978.

Клименко Б. И. МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ БАЛАНСЫ РАЗВИТЫХ КАПИТАЛИСТИЧЕСКИХ СТРАН: ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭКОНОМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ. — М.: Наука, в печати.

Коссов В. В. МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ МОДЕЛИ. — М.: Экономика, 1973.

Леонтьев В. и др. БУДУЩЕЕ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ. Перев. с англ. — М.: Международные отношения, 1979.

Леонтьев В. и др. ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ АМЕРИКАНСКОЙ ЭКОНОМИКИ. Перев. с англ. — М.: Государственное статистическое издательство, 1958.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ. Под редакцией В. С. Дадаева. — М.: Экономика, 1973.

Стоун Р. ГДЕ МЫ СЕЙЧАС? КРАТКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО МЕТОДУ ЗАТРАТЫ—ВЫПУСК. — Экономика и математические методы, 1979, т. XV, вып. 6, с. 1094-1109.

ИММУНОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ КОЖИ

REACTIVITY OF LANGERHANS CELLS WITH HYBRIDOMA ANTIBODY. Ellen Fithian, Patrick Kung, Gideon Goldstein, Marian Rubinfeld, Cecilia Fenoglio and Richard Edelson in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 78, No. 4, pages 2541-2544; April, 1981.

CUTANEOUS T CELL LYMPHOMA. Jennifer A. K. Patterson and Richard L. Edelson in *The Medical Clinics of North America*, Vol. 66, No. 4, pages 895-913, July, 1982.

INTERACTION OF T CELLS WITH THE

EPIDERMIS. Jennifer A. K. Patterson and Richard L. Edelson in *British Journal of Dermatology*, Vol. 107, No. 1, pages 117-122; July, 1982.

SKIN-ASSOCIATED LYMPHOID TISSUE (SALT): ORIGINS AND FUNCTIONS. J. Wayne Streilein in *Journal of Investigative Dermatology*, Vol. 80, Supplement, pages 12s-16s; June, 1983.

В ПОИСКАХ РАСПАДА ПРОТОНА

EXPERIMENTAL LIMITS ON THE NUCLEON LIFETIME FOR TWO- AND THREE-BODY DECAY MODES. H. S. Park, G. Blewitt, B. G. Cortez, G. W. Foster, W. Gajewski, T. J. Haines, D. Keilczewska, J. M. LoSecco, R. M. Bionta, C. B. Bratton, D. Casper, P. Chrysicopoulou, R. Claus, S. Errede, K. S. Ganezer, M. Goldhaber, T. W. Jones, W. R. Kropp, J. G. Learned, E. Lehmann, F. Reines, J. Schultz, S. Seidel, E. Shumard, D. Sinclair, H. W. Sobel, J. L. Stone, L. R. Sulak, R. Svoboda, J. C. van der Velde and C. Wuest in *Physical Review Letters*, Vol. 54, No. 1, pages 22-25; January 7, 1985.

Березинский В. С. ОБЪЕДИНЕННЫЕ КАЛИБРОВОЧНЫЕ ТЕОРИИ И НЕСТАБИЛЬНЫЙ ПРОТОН. — Природа, 1984, № 11, с. 24.

ШАРОВЫЕ СКОПЛЕНИЯ

GLOBULAR CLUSTERS. Edited by D. Hanes and B. Madore. Cambridge University Press, 1980.

STAR CLUSTERS. Edited by James E. Hesser. D. Reidel Publishing Company, 1980.

THE DYNAMICS OF GLOBULAR CLUSTERS. Ivan R. King in *The Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 22, pages 227-243; 1981.

Ефремов Ю. Н. ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ. — М.: Знание, 1980.

Самусь Н. Н. ШАРОВЫЕ СКОПЛЕНИЯ, СТАРЫЕ И МОЛОДЫЕ. — Земля и Вселенная, 1984, № 6, с. 20-25.

Сурдин В. Г. ЭВОЛЮЦИЯ ШАРОВЫХ СКОПЛЕНИЙ. — Земля и Вселенная, 1978, № 4, с. 22-27.

ПЕРВЫЕ ОРГАНИЗМЫ

THE GENE AS THE BASIS OF LIFE. H. J. Muller in *Proceedings of the Fourth International Congress of Plant Sciences*, August 16-23, 1926, edited by B. M. Dugger. George Banta Publishing Com-

Издательство ФИНАНСЫ И СТАТИСТИКА предлагает:

Н. Дрейнер, Г. Смит
**ПРИКЛАДНОЙ
РЕГРЕССИОННЫЙ
АНАЛИЗ**
В 2-х выпусках

Перевод с английского

В настоящее время отчетливо проявилась огромная роль регрессионного анализа в развитии науки и ее приложений. Это прежде всего универсальный метод анализа и обработки экспериментальных данных, инструмент множества процедур многомерного статистического анализа и планирования эксперимента. Регрессионный анализ в свою очередь опирается на известный метод наименьших квадратов. Широкое распространение мини- и микро-ЭВМ делает метод регрессионного анализа доступным для рядовых исследователей.

Наряду с классической теорией, подкрепленной примерами и многочисленными упражнениями, во втором, значительно переработанном и дополненном издании книги Н. Дрейнера и Г. Смита содержится материал, отражающий последние достижения в этой области.

Книга предназначена как для первого знакомства подготовленного читателя с предметом, так и для специалиста-практика.

1986, 23 л. Цена 4 р. за комплект.

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 «Финансы и статистика» на 1986 г. Прием предварительных заказов на эти издания будет проводиться в пределах плановых тиражей, указанных в аннотированном плане.



pany, Menasha, Wis., 1929.

SOME ASSUMPTIONS UNDERLYING DISCUSSION ON THE ORIGINS OF LIFE. N. W. Pirie in *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 69, Art. 2, pages 369-376; August 30, 1957.

SPECULATIONS ON THE ORIGIN AND EVOLUTION OF METABOLISM. Hyman Hartman in *Journal of Molecular Evolution*, Vol. 4, No. 4, pages 359-370; 1975.

GENETIC TAKEOVER AND THE MINERAL ORIGINS OF LIFE. A. G. Cairns-Smith. Cambridge University Press, 1984.

SEVEN CLUES TO THE ORIGIN OF LIFE: A SCIENTIFIC DETECTIVE STORY. A. G. Cairns-Smith. Cambridge University Press, 1985.

СОЦИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ ШИМПАНЗЕ

IN THE SHADOW OF MAN. Jane van Lawick-Goodall. Houghton Mifflin Company, 1971.

THE GREAT APES. Edited by David A. Hamburg and Elizabeth R. McCown. The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1979.

POPULATION DYNAMICS DURING A 15 YEAR PERIOD IN ONE COMMUNITY OF FREE-LIVING CHIMPANZEES IN THE GOMBE NATIONAL PARK, TANZANIA. Jane Goodall in *Zeitschrift für Tierpsychologie/Journal of Comparative Ethology*, Vol. 61, No. 1, pages 1-60; January, 1983.

THE CHIMPANZEES OF KIBALE FOREST. Michael Patrick Ghiglieri. Columbia University Press, 1984.

Брюер С. ШИМПАНЗЕ ГОРЫ АССЕ-РИК. Перев. с англ. — М.: Мир, 1982.

Нейпье П., Нейпье Дж. ОБЕЗЬЯНЫ. Перев. с англ. — М.: Мир, 1984.

СИФОНЫ В ДРЕВНЕРОМАНСКИХ ВОДОПРОВОДАХ

VITRUVI: DE L'ARCHITECTURE LIVRE VIII. Louis Callebaut. Édition Budé, 1973.

AQUEDUCS ROMAINS. In *Dossiers de l'archéologie*, No. 38; October-November, 1979.

SIPHONS IN ROMAN AQUEDUCTS. A. Trevor Hodge in *Papers of the British School at Rome*, Vol. 51, pages 174-221; 1983.

ТОПОЛОГИЯ МИРАЖЕЙ

MATHEMATICAL THEORY OF OPTICS. R. K. Luneburg. University of California Press, 1964.

DIFFERENTIABLE GERMS AND CATASTROPHES. Theodor Bröcker. Cambridge University Press, 1975.

DIFFERENTIAL TOPOLOGY. Morris W. Hirsch. Springer-Verlag, 1976.

MIRAGES. Alistair B. Fraser and William H. Mach in *Scientific American*, Vol. 234, No. 1, pages 102-111; January, 1976.

MULTIPLE GRAVITATIONAL IMAGING BY DISTRIBUTED MASSES. William L. Burke in *The Astrophysical Journal*, Vol. 244, No. 1, Part 2, page L1; February 15, 1981.

НАУКА ВОКРУГ НАС

THE POLARIZATION OF LIGHT AT SEA. E. O. Hulburt in *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 24, No. 2, pages 35-42; February, 1934.

REFLECTION OF LIGHT. M. Minnaert in *The Nature of Light and Colour in the Open Air*. Dover Publications, Inc., 1954.

Шулейкин В. В. ФИЗИКА МОРЕЯ. — М.: Наука, 1968.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

SMART SOAP BUBBLES CAN DO CALCULUS. Dale T. Hoffman in *The Mathematics Teacher*, Vol. 72, No. 5, pages 377-385, 389; May, 1979.

АНА! GOTCHA: PARADOXES TO PUZZLE AND DELIGHT. Martin Gardner. W. H. Freeman and Company, 1982.

THE COMPLEXITY OF ANALOG COMPUTATION. Anastasios Vergis, Kenneth Steiglitz and Bradley Dickinson. Technical Report No. 337, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Princeton University; February, 1985.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 19.7.85.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.
Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,50 бум. л.

Усл.-печ. л. 13,00.

Уч.-изд. л. 17,72.

Усл. кр.-отт. 48,36.

Изд. № 25/4203. Заказ 298.

Тираж 19 500 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Государственного комитета СССР

по делам издательств,

полиграфии и книжной торговли.

127576, Москва, Илимская, 7

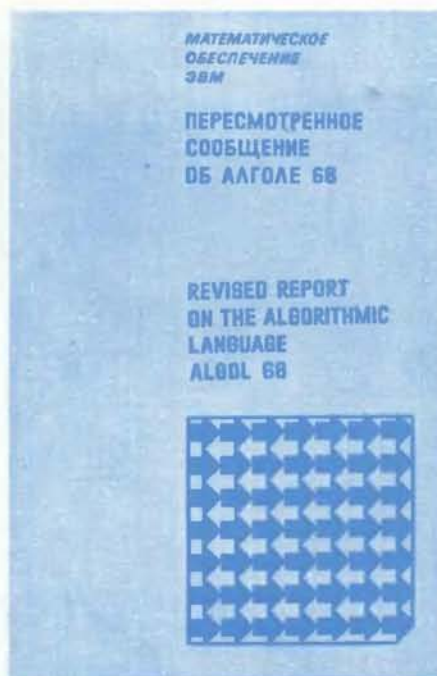


Издательство МИР предлагает:

Под редакцией

А. Ван Вейнгаардена, Б. Майу, Дж. Пека и др.
ПЕРЕСМОТРЕННОЕ СООБЩЕНИЕ ОБ АЛГОЛЕ 68

Перевод с английского



Книга представляет собой итог многолетней работы, проведенной Международной федерацией по обработке информации (ИФИП). Она отражает те изменения и усовершенствования в языке Алгол 68, которые произошли за последнее время. В частности, разработан новый подход к описанию языка. Книга примечательна тем, что она объединяет английский оригинал и его рус-

ский перевод, представляющий собой русский вариант Алгола 68. Это создает дополнительные удобства для советских специалистов.

Книга интересна специалистам в области вычислительной математики, программирования и математического обеспечения ЭВМ. Она обязательна для всех занимающихся программированием на Алголе 68.

1979, 533 стр. Цена 2 р. 60 к.

Эту книгу Вы можете приобрести в магазинах книготоргов, распространяющих научно-техническую литературу.

Если в ближайшем от Вас магазине ее не окажется, заказ можно направить по адресу:

121019 Москва,

просп. Калинина, 26, п/я 42, магазин № 200

«Московский Дом книги»;

103050 Москва,

ул. Петровка, 15, магазин № 8 «Техническая книга»,

117334 Москва,

Ленинский проспект, 40, магазин № 115,

«Дом научно-технической книги»;

191040 Ленинград,

Пушкинская ул., 2, магазин № 5 «Техническая книга».

Книга будет выслана наложенным платежом (без залатка)



В следующем номере:



РЕЛИКТОВАЯ ВОДА ПОД ПУСТЫНЕЙ

ДЕТСКАЯ СМЕРТНОСТЬ В США

СПУТНИКИ УРАНА, НЕПТУНА И ПЛУТОНА

ФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ,
ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ

РАЗВИТИЕ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ТЕОРИИ

РАСПОЗНАВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ
ИНДИВИДУАЛЬНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ОБОНЯНИЯ

ДВОРЦЫ МИНОЙСКОЙ КУЛЬТУРЫ

МЕЖВИДОВЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ
В СООБЩЕСТВЕ ВАТОЧНИКА

ПУТЕШЕСТВИЕ С РОБОТАМИ В РОБОТРОПОЛЕ
И ОВЛАДЕНИЕ НАВЫКАМИ КОНСТРУИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ МИКРОСХЕМ

РЫБНАЯ ЛОВЛЯ И ЗАКОНЫ ФИЗИКИ