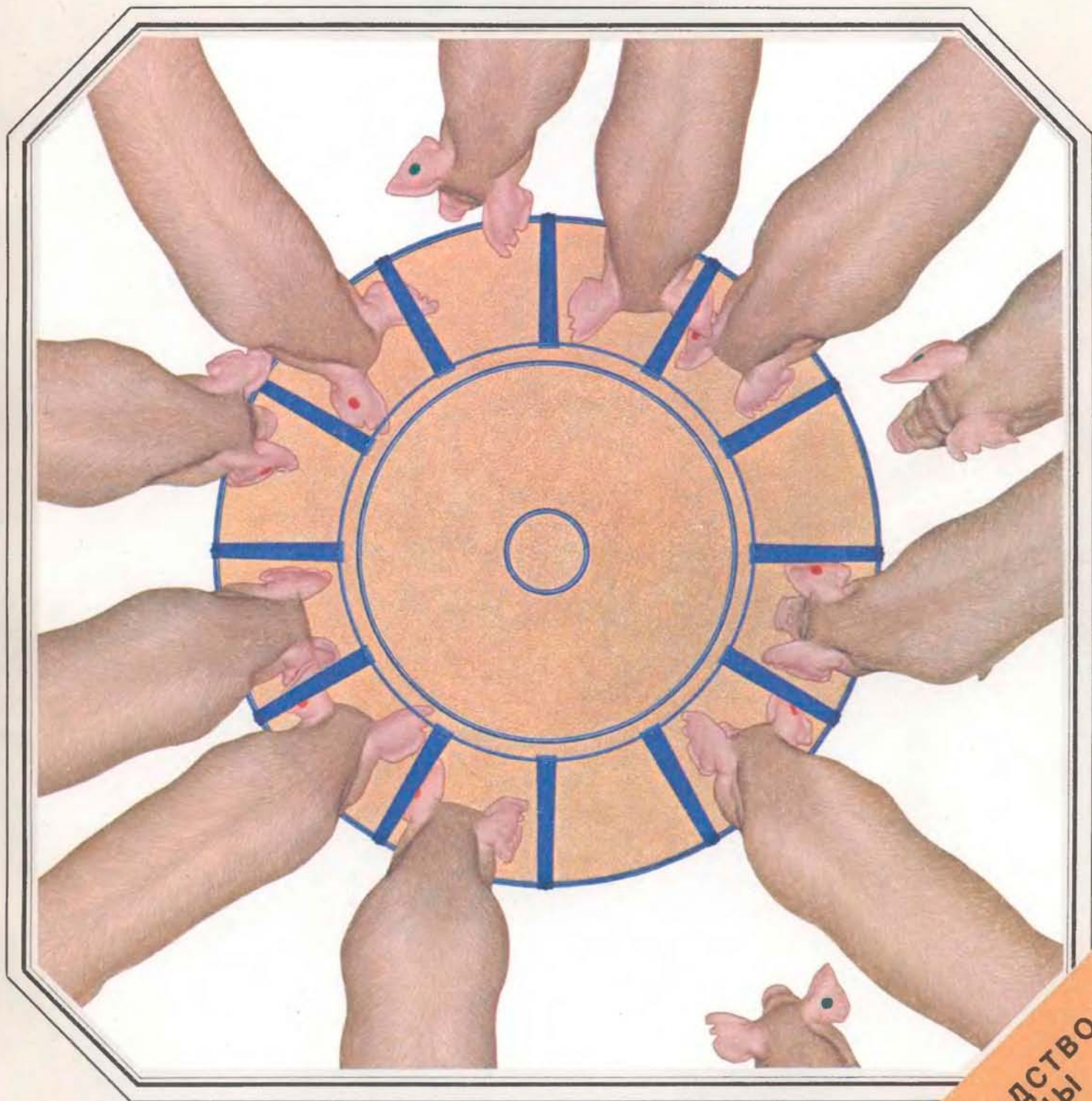


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Июль **7** 1983

ПРОИЗВОДСТВО
СВИНИНЫ

Издательство МИР предлагает:

Р. Адамс

МЕТОДЫ КУЛЬТУРЫ КЛЕТОК ДЛЯ БИОХИМИКОВ

Перевод с английского



Это прекрасное пособие как для начинающих исследователей, так и для опытных специалистов, работающих с культурами тканей. Одним из достоинств книги является то, что, помимо чисто практических рекомендаций и многочисленных прописей, она дает также представление о тех научных направлениях, основным методическим подходом которых служит культивирование тканей.

Основное внимание уделено методикам, позволяющим работать с фракциями изолированных клеточных компонентов. В книге обсуждаются различные аспекты культивирования кле-

ток: типы клеток млекопитающих, используемые реактивы, оборудование и аппаратура, получение и диспергирование клеток; подробно изложены методы получения клеточных культур из различных тканей, способы культивирования, методы синхронизации клеток, рассмотрены клеточные гибриды и мутанты, взаимоотношения между вирусами и клеточными культурами, дифференцировка клеток в условиях культивирования.

Для цитологов, биохимиков, молекулярных биологов и других специалистов, применяющих методы культуры ткани.

1983, 17,36 л.

Цена 2 р. 90 к.



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

№ 7 · ИЮЛЬ 1983

В номере:

СТАТЬИ

- 5 Углекислый газ в атмосфере и климат планеты *Роджер Ривелл*
Содержание углекислого газа в земной атмосфере постоянно увеличивается. В результате температура и влажность воздуха в отдельных районах земного шара могут повыситься. Некоторые последствия таких климатических перемен, возможно, окажутся благоприятными (Scientific American, August 1982, Vol. 247, No. 2)
- 16 Колебания атомных ядер *Джордж Ф. Бертч*
Ядра атомов могут вибрировать, пульсировать и даже «дышать». Изучая согласованное движение частиц в ядре, можно многое узнать о силах, действующих между ними. К настоящему времени экспериментально обнаружено шесть типов ядерных колебаний (Scientific American, May 1983, Vol. 248, No. 5)
- 30 Микротельца живой клетки *Кристиан Де Дюв*
Субклеточные органеллы на первый взгляд похожи между собой. На самом деле в клетках есть несколько разных типов органелл, для каждого из которых характерен свой набор ферментов, выполняющих разнообразные функции в обмене веществ (Scientific American, May 1983, Vol. 248, No. 5)
- 42 Производство свинины в современном мире *Уилсон Г. Понд*
Сегодня свинина обеспечивает около 25% энергии и 9% белка, которые люди получают с продуктами животного происхождения. Новейшие достижения экономики в соединении с успехами биологических исследований поднимают свиноводство на новый уровень (Scientific American, May 1983, Vol. 248, No. 5)
- 51 Новые неорганические материалы *Дж. Д. Берчелл, Энтони Келли*
В современной промышленности ведущее место занимают синтетические органические материалы. Однако уже разработаны новые материалы, производство которых связано с меньшими затратами энергии. Их изготавливают из песка, глины и другого минерального сырья (Scientific American, May 1983, Vol. 248, No. 5)
- 60 Статистические методы с интенсивным использованием ЭВМ *Перси Диаконис, Брэдли Эфрон*
Эти методы исключают необходимость делать принятые в статистике допущения относительно распределения данных, но сопряжены с колоссальным объемом вычислений. Бутстрэп — один из таких методов. Благодаря ему удалось пересмотреть прежние оценки надежности научных выводов (Scientific American, May 1983, Vol. 248, No. 5)
- 74 Социальное значение средневековых укреплений мотт и бейли *Мишель Бур*
Мотт — это насыпной холм с фортификационными сооружениями, бейли — примыкающая к нему огороженная территория. Во второй половине X в. эти укрепления сыграли в Европе значительную роль в ослаблении королевской власти и способствовали распространению рыцарства (Scientific American, May 1983, Vol. 248, No. 5)
- 82 Внезапная сердечная смерть: топологический аспект проблемы *Артур Т. Уинфри*
Часто причиной внезапной сердечной смерти является фибрилляция — нарушение координированных сокращений волокон сердечной мышцы. Механизм фибрилляции, возможно, связан с одной математической теоремой (Scientific American, May 1983, Vol. 248, No. 5)

РУБРИКИ

- 3 Об авторах
96 Наука вокруг нас
103 Книги
106 50 и 100 лет назад
29, 108 Наука и общество
111 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

BOARD OF EDITORS

Gerard Piel
PUBLISHER

Dennis Flanagan
EDITOR

Brian P. Hayes
ASSOCIATE EDITOR

Philip Morrison
BOOK EDITOR

Francis Bello
John M. Benditt

Peter G. Brown

Michael Feirtag

Jonathan B. Piel

John Purcell

James T. Rogers

Armand Schwab, Jr.

Joseph Wisnovsky

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
PRODUCTION MANAGER

George S. Conn
GENERAL MANAGER

© 1983 by Scientific American, Inc.

Товарный знак *Scientific American*, его текст и шрифтовое оформление являются исключительной собственностью Scientific American, Inc.

и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ
Л. И. Леонова
М. М. Попова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Л. П. Чуркина

КОРРЕКТОР
И. И. Дериколенко

ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ,
ТИПОГРАФИКА РУССКОГО ИЗДАНИЯ,
МАКЕТ СМЕННЫХ ПОЛОС:
М. Г. Жуков

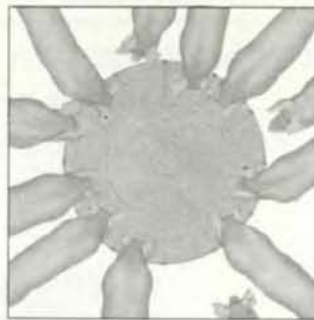
ТИТУЛЬНАЯ НАДПИСЬ,
ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ:
В. В. Ефимов

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

ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ
286.2588

© Перевод
на русский язык и оформление:
издательство «Мир», 1983

На обложке



ПРОИЗВОДСТВО СВИНИНЫ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

На обложке изображена вращающаяся кормушка для свиней (статья Уилсона Г. Понда «Производство свинины в современном мире»). Ферма, где осуществляется заключительный откорм свиней, покупает поросят, когда они весят 13—23 кг; их откармливают до рыночного веса — 100 кг и более. В пищу свиньям идет смесь кукурузной и соевой муки с добавками белка, микроэлементов и витаминов, причем рацион точно рассчитывают в соответствии с размерами животных. Свиньи одного размера независимо от их возраста питаются вместе. Кормовая смесь подается на вращающиеся кормушки сверху с помощью транспортера. На ферме таких кормушек несколько. Надрезы на ушах свиньям делают, чтобы обозначить место их рождения, а по цветным ярлыкам можно узнать, на каком аукционе они были куплены. Основная тенденция современного свиноводства — создание комплексов, где свиньи проводят всю свою жизнь от рождения до отправки на рынок.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Marvin Mattelson

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
6	Space Systems Division, General Electric Company		Pierre Baudhuin, International Institute of Cellular and Molecular Pathology (внизу)	83—94	George V. Kelvin
8—12	Allen Beechel			97	R. F. Bonifield
17—27	Jerome Kuhl			98—100	Michael Goodman
				101	Jearl Walker
31	Marten Veenhuis, State University at Groningen	43, 44	Tom Prentiss		
		45	Ilil Arbel		
32	Helen Shio, Rockefeller University (вверху); Eldon H. Newcomb, University of Wisconsin at Madison (внизу)	46—48	Tom Prentiss		
		49	Ilil Arbel		
		52	R. F. Bonifield		
		53, 54	Phillip A. Harrington		
		55—57	Ilil Arbel		
		58	Phillip A. Harrington (вверху), Imperial Chemical Industries (внизу)		
33	Eldon H. Newcomb, University of Wisconsin at Madison	61—69	Allen Beechel		
		70, 72	Ilil Arbel		
34—39	Alan D. Iselin	75	Michel Bur, University of Nancy		
40	Helen Shio, Rockefeller University (вверху);	76, 77	Michael Holford		
		78, 80	Laszlo Kubinyi		

Издательство МИР предлагает:

МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

Под редакцией У. Ли

В двух книгах

Перевод с английского

Рассматриваются акустические и фонетические методы распознавания речи, применяемые в настоящее время при автоматическом вводе речевой информации в автоматизированных системах проектирования, конструирования и технологической подготовки производства. Значительное внимание уделено коррекции ошибок при распознавании речи и нахождению оптимальных ошибок определения правильности вводимых в ЭВМ слов.

Для системотехников, инженеров, математиков и филологов, занимающихся автоматизацией проектирования и конструирования.

1983, 52 л. Цена 7р. 40к. за комплект

Г. Браун, А. Массет НЕДОСТУПНАЯ ЗЕМЛЯ

Перевод с английского

Книга, написанная геохимиком Г. Брауном и геофизиком А. Массетом, знакомит читателя с современными представлениями о строении, развитии и динамике Земли. В единой последовательности рассматриваются происхождение Солнечной системы, планет, их эволюция и современное строение на основе последних достижений науки. Книга прекрасно иллюстрирована и достаточно популярна, вместе с тем она отличается высоким научным уровнем и охватывает практически все аспекты этой темы.

Монография предназначена для геологов, преподавателей, аспирантов и студентов геологических специальностей, а также для читателей, интересующихся вопросами образования, строения и развития Земли и других планет Солнечной системы.

1984, 21 л. Цена 3 р. 45 к.



Roger Revelle (РОДЖЕР РИВЕЛЛ «Углекислый газ в атмосфере и климат планеты») — профессор Калифорнийского университета в Сан-Диего. Многие годы работал океанографом, а затем занялся изучением связей между наукой, биологической средой и экономическим развитием общества. В 1929 г. окончил Помонский колледж, а позже Калифорнийский университет, где в 1936 году защитил диссертацию на звание доктора философии. В том же году начал преподавать в Институте океанографии Скриппса. Вскоре он становится профессором океанографии. С 1951 по 1964 г. Р. Ривелл был директором Института Скриппса. В 1963 — 1964 гг. работал в университете деканом по научным вопросам. В 1964 г. Ривелл стал заведующим кафедрой им. Р. Солтонстолла в Гарвардском университете, занимающейся проблемами народонаселения. С 1964 по 1976 г. Ривелл возглавляет Гарвардский центр по исследованию демографических проблем. В 1976 г. возвращается в Калифорнийский университет в г. Сан-Диего. Р. Ривелл работал во многих общественных организациях. С 1961 по 1963 г. он был научным консультантом министра внутренних дел США. Ривелл был первым председателем Совета по развитию науки и техники при Национальной Академии наук и входил в состав делегации США на конференции ООН по вопросам роли науки и техники в развитии общества. В 1974 г. он избирается президентом Американской ассоциации по развитию науки. Проблема загрязнения окружающей среды углекислым газом заинтересовала ученого еще в аспирантуре.

George F. Bertsch (ДЖОРДЖ Ф. БЕРТЧ «Колебания атомных ядер») — профессор физики Мичиганского университета. Учился в Суортморском колледже, по окончании которого в 1962 г. получил степень бакалавра; в 1965 г. Принстонский университет присвоил ему звание доктора философии по физике. Преподавал в том же университете и Массачусетском технологическом институте. В 1970 г. перешел на работу в Мичиганский университет. О себе пишет: «Физикой я увлекся еще в юношеские годы, когда жил в Нью-Йорке. В школе я понял, что экспериментальная физика требует напряженной работы до позднего вечера, и решил стать физиком-теоретиком. Основная тема моих научных исследований — согласованное поведение многочастичных систем, среди которых особое место занимает ядро».

Christian de Duve (КРИСТИАН ДЕ ДЮВ «Микротельца живой клет-

ки») — специалист в области биологии клетки, президент основанного им Международного института клеточной и молекулярной патологии в Брюсселе. Одновременно является профессором Рокфеллеровского университета, а также профессором и заведующим кафедрой физиологической химии медицинского факультета Католического университета в Лувене. К. Де Дюв родился в 1917 г. в Англии, в настоящее время живет в Бельгии. В Лувене в 1941 г. он получил степень доктора медицины и в 1946 г. — степень магистра. В 1949 г. К. Де Дюв, А. Клод и их коллеги открыли новый тип клеточных оргanelл — лизосомы. В 1974 г. за эту работу и за другие исследования структуры и функций живой клетки К. Де Дюв, А. Клод и Дж. Паладе были удостоены Нобелевской премии в области медицины и физиологии. В 1962 г. Де Дюв перешел в Рокфеллеровский университет, но продолжал работу в Университете в Лувене. В 1975 г. основал Международный институт клеточной и молекулярной патологии в Брюсселе.

Wilson G. Pond (УИЛСОН Г. ПОНД «Производство свинины в современном мире») — главный научный специалист по проблемам питания в Исследовательском центре животноводства им. Р. Хрушки министерства сельского хозяйства США в Клей-Сентер (шт. Небраска). В 1952 г. получил степень бакалавра в Университете шт. Миннесота. Степень доктора философии присуждена ему в 1957 г. Университетом шт. Оклахома за исследования проблем питания домашних животных. С 1957 по 1978 г. был сотрудником кафедры животноводства в Корнеллском университете. В 1978 г. перешел в Исследовательский центр им. Р. Хрушки. Тема статьи отражает основное направление научных интересов Понда; в качестве консультанта по вопросам производства свинины он работал в Японии, Италии, ФРГ, на Тайване, в Эквадоре, а также в США.

J. D. Birchall, Anthony Kelly (ДЖ. Д. БЕРЧЕЛЛ, ЭНТОНИ КЕЛЛИ «Новые неорганические материалы»). Дж. Берчелл — старший научный сотрудник фирмы Imperial Chemical Industries (ICI). Э. Келли — бывший ректор Университета Сёррейя. Берчелл пишет: «В штат научных сотрудников фирмы ICI я был принят в 1957 г., а прежде работал в небольших компаниях и некоторое время, нигде не работая, занимался изобретательством. Первый патент на изобретение получил, когда мне было 19 лет. Работая в фирме ICI, заинтересовался образованием и ростом кри-

сталлов. Позднее стал изучать поведение кристаллических веществ при нагревании». Берчелл является также приглашенным профессором в Университете Сёррея. Э. Келли — выпускник Университета Ридинга, в 1949 г. получил степень бакалавра. В 1953 г. защитил диссертацию на звание доктора философии по физике в Кембриджском университете. После работы в ряде научно-исследовательских институтов, включая Северо-западный и Кембриджский университеты, в 1967 г. переехал в Великобританию. Является руководителем отделения неорганических и металлических структур в Национальной физической лаборатории. Одновременно был направлен в фирму ICI по линии обмена и сотрудничества в области экономики, политики и образования. Работой, выполняемой им в настоящее время, он начал заниматься в 1975 г.

Persi Diaconis, Bradley Efron (ПЕРСИ ДИАКОНИС, БРЭДЛИ ЭФРОН «Статистические методы с интенсивным использованием ЭВМ») — оба профессора в области статистики в Станфордском университете. В прошлом Диаконис был фокусником. В 14 лет покинул дом и стал работать с известным в то время иллюзионистом Д. Верноном. В течение 10 лет он путешествовал с Верноном в качестве его ассистента, пока не поступил в Городской колледж Нью-Йоркского городского университета. В 1971 г. он окончил колледж и получил степень бакалавра, а через три года Гарвардский университет присвоил ему ученую степень доктора философии в области статистики. Его научные интересы включают распределение Байеса и использование вероятности при анализе вычислительных алгоритмов. Диаконис пишет, что его «опыт в области магии заметен в научных трудах, где он вскрывает ошибки в современной парапсихологии, а также в работах, посвященных решению таких задач, например, как «Сколько раз следует перетасовать колоду карт, чтобы их порядок в колоде был близок к случайному?». Эфрон пишет: «Степень бакалавра математики я получил в Калифорнийском технологическом институте, затем в 1960 г. поступил в аспирантуру Станфордского университета и в 1965 г. защитил там докторскую диссертацию в области статистики. С тех пор я постоянно работаю в этом университете. По совместительству работаю на медицинском факультете в должности профессора биостатистики. Именно эта работа во многом стимулировала мои теоретические исследования».

Michel Bur (МИШЕЛЬ БУР «Социальное значение средневековых укрепле-

ний мотт и бейли») — профессор истории средних веков в Университете Нанси. По образованию историк, докторская диссертация М. Бура посвящена истории провинции Шампань. Как он отмечает, «из-за отсутствия достаточного количества архивных материалов», относящихся к средним векам, большая часть его работ связана с археологией. В настоящее время Бур руководит составлением каталога средневековых фортификационных сооружений во Франции. Работа эта проводится при содействии Национального научно-исследовательского центра. Кроме того, Бур занимается анализом результатов раскопок на территории замка, построенного в XIII в. Он говорит: «Я понимаю, что историки редко занимаются археологическими исследованиями, тем не менее мне хочется

упрочить связь археологии с историей».

Arthur T. Winfree (АРТУР Т. УИНФРИ «Внезапная сердечная смерть: топологический аспект проблемы») — профессор биологии Университета Пардю. В студенческие годы изучал техническую физику в Корнеллском университете (окончил его в 1965 г.); биологию и химию — в Принстонском университете, где в 1970 г. получил степень доктора философии в области биологии. С 1969 по 1972 г. Уинфри был доцентом теоретической биологии в Чикагском университете, а затем перешел в Университет Пардю. Интересуется регуляцией ритмов сна и бодрствования у человека, природой самовозбуждающихся тканей и фибрилляцией сердечной мышцы.

Издательство МИР предлагает:

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ И ПЕРЕХОД К ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Перевод с английского

Коллективная монография известных физиков и гидромехаников из США, Англии и Канады отражает успехи, достигнутые в последние годы в понимании и описании процесса возникновения турбулентности. Описывается находящая все более широкое применение концепция странных аттракторов, излагаются современные математические методы теории устойчивости и теории бифуркаций, дается обзор теоретических и экспериментальных результатов по линейной и нелинейной стадиям неустойчивости, переходу к турбулентности в термоконвекции, течении Куэтта, свободных сдвиговых течениях, а также в течениях, встречающихся в геофизике и т.д.

Для специалистов по физике нелинейных явлений, механике, геофизике, а также для аспирантов и студентов старших курсов.

1984, 24 л. Цена 3 р. 50 к.

НОВОЕ В ТЕХНОЛОГИИ СОЕДИНЕНИЙ ФТОРА

Перевод с японского

Под ред. Н. Исикавы

Основным содержанием книги являются новейшие технологические данные по получению и применению соединений фтора в ядерной энергетике, электронной промышленности, производстве волокон, пластмасс, каучуков, лекарств и сельскохозяйственных химикатов. Приведенные в ней данные связаны также с рядом чрезвычайно важных и быстро развивающихся специальных отраслей промышленности. Данные взяты из патентных материалов, технических докладов и других источников, труднодоступных для советских специалистов.

Содержание: Применение соединений фтора. Применение в областях, связанных с энергией. Применение в областях, связанных с передачей информации. Применение в производстве химических волокон. Применение в медицине. Фторсодержащие лекарства. Фторсодержащие сельскохозяйственные химикаты.

1984, 35 л. Цена 5 р. 50 к.



Углекислый газ в атмосфере и климат планеты

Содержание углекислого газа в земной атмосфере постоянно увеличивается. В результате температура и влажность воздуха в отдельных районах земного шара могут повыситься. Некоторые последствия таких климатических перемен, возможно, окажутся благоприятными

РОДЖЕР РИВЕЛЛ

ПРОБЛЕМА загрязнения атмосферы углекислым газом, ставшая в последние годы предметом особого внимания, по сути включает в себя три аспекта. Во-первых, следует установить количество углекислого газа, которое добавится в атмосферу в последующие годы, и с какой скоростью будет происходить это увеличение за счет сжигания различных видов ископаемого топлива и сведения лесов. В прошлом веке по этим двум причинам содержание углекислого газа в атмосфере уже повысилось примерно на 15%. Далее, необходимо выяснить, не приведет ли рост концентрации углекислого газа в атмосфере к существенному увеличению средней температуры воздуха на земном шаре, а также к другим климатическим изменениям в различных регионах мира. Математические модели климата земного шара показывают, что такие изменения вполне возможны, но определенных подтверждений этого факта пока нет. Наконец, надо определить, не окажут ли эти возможные климатические изменения и другие явления, связанные с увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере, серьезного влияния на человеческое общество. Скорее всего, и на этот вопрос ответ будет утвердительным. Однако следует отметить, что это влияние не везде проявится одинаково: для некоторых регионов и сфер человеческой деятельности оно будет вполне благоприятным, для других сфер оно может быть крайне негативным.

Углекислый газ нарушает тепловой баланс земного шара, поскольку он действует как экран с односторонним пропусканием. Для излучения в видимой области спектра, на которую приходится основная часть солнечной энергии, он прозрачен, благодаря чему солнце нагревает океаны и сушу. В то же время молекулы углекислого газа в атмосфере частично поглощают тепловую энергию Земли и излучают ее об-

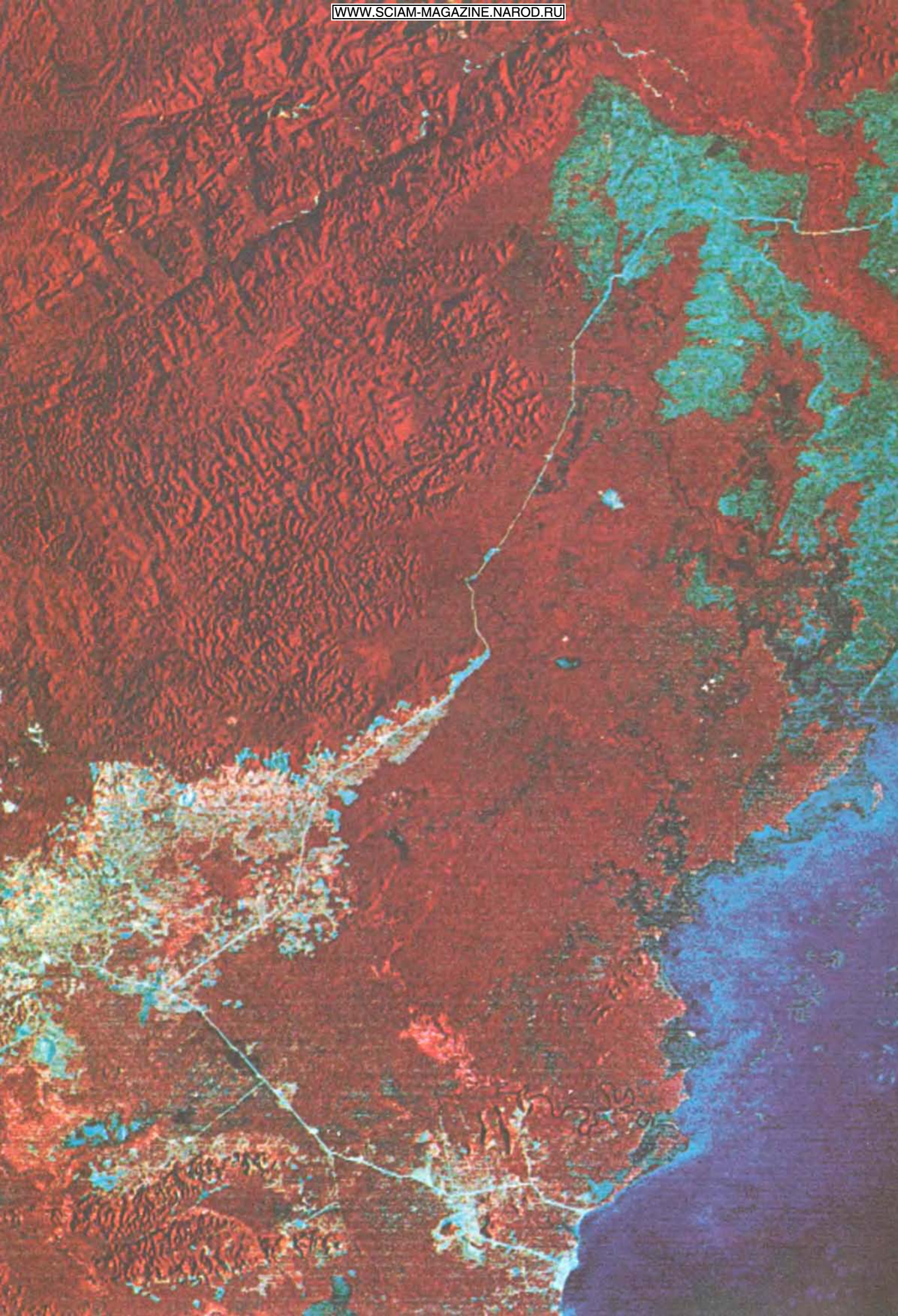
ратно на планету в более длинноволновом, инфракрасном диапазоне. В противном случае эта энергия уходила бы с поверхности Земли в космическое пространство. В этом заключается так называемый парниковый эффект. Если бы в атмосфере совсем не было углекислого газа, тепло с поверхности Земли уходило бы значительно быстрее. Температура на поверхности Земли, при которой было бы возможно равновесие между поступающей и излучаемой радиацией, была бы намного ниже, и океаны могли бы превратиться в сплошную массу льда.

На протяжении геологической истории Земли огромное количество углекислого газа было выброшено в атмосферу вулканами. Этот углекислый газ почти полностью превратился в карбонат кальция и карбонат магния, или же в органические вещества, и оказался погребенным в морских осадках. Подсчитано, что углерода в осадочных карбонатных породах содержится примерно 50 млн. гигатонн [1 гигатонна (Гт) равна 1 млрд. т], а в осадочном органическом веществе — около 20 млн. Гт. Эти 70 млн. Гт почти в 2000 раз превышают количество всего углерода в атмосфере, океанах и биосфере, которое составляет около 42 тыс. Гт. В атмосфере углерода содержится лишь небольшая доля этой общей массы; примерно она равна 700 Гт. Тот факт, что большая часть углерода на поверхности Земли прошла через атмосферу и оказалась захороненной в подземных отложениях, и объясняет умеренную силу, с которой проявляется парниковый эффект. На Венере, где океанов нет, атмосфера в основном состоит из углекислого газа, и за счет парникового эффекта температура на поверхности этой планеты достигает 400 °С. На Марсе, где атмосферный слой небольшой, парниковый эффект слабее, и температура на поверхности планеты равна — 50 °С.

ПОЧТИ сто лет назад шведский химик **П**Сванте Аррениус и американский геолог Томас Чэмберлин независимо друг от друга выдвинули гипотезу о том, что изменение избыточного содержания углекислого газа в атмосфере повлияет на температуру поверхности Земли. По расчетам Аррениуса, увеличение концентрации углекислого газа в два раза вызовет повышение температуры на земном шаре примерно на 9 °С. В 1939 г. Дж. Кэллендер высказал предположение, что наблюдавшееся за предшествующие 60 лет глобальное потепление на Земле могло быть вызвано увеличением содержания в атмосфере углекислого газа в результате сжигания ископаемых видов топлива. В начале 50-х годов примерно ту же мысль высказал Дж. Пласс.

Ни одна из этих гипотез не была серьезно воспринята другими учеными. Во-первых, потому, что в то время средняя температура на земном шаре повышаться перестала, а за последующие два десятилетия она даже несколько упала. Во-вторых, многие ученые полагали, что почти весь углекислый газ, выбрасываемый с промышленными отходами, будет поглощаться водами океанов и тем самым выводиться из атмосферы. В морях и океанах углекислого газа содержится раз в 60 больше, чем в атмосфере, и считалось, что такая пропорция сохранится в будущем. И наконец, измерения концентрации углекислого газа в пробах воздуха, взятых в различное время и в разных местах, показали, что она сильно колеблется, и поэтому установить, увеличивается общее количество углекислого газа в атмосфере или уменьшается, оказалось практически невозможным.

Большая часть углекислого газа в океанах присутствует в виде ионов карбонатов и бикарбонатов, и лишь малая его доля растворяется, образуя «свободную» углекислоту. В 1957 г. автор статьи совместно с Г. Сеуссом доказа-



ли, что даже незначительные колебания концентрации свободной углекислоты, растворенной в морской воде, зависят от относительно больших изменений давления углекислого газа, при котором океаны и атмосфера находятся в равновесии. Из этого следовало, что воды океанов поглощают углекислый газ гораздо медленнее, чем предполагалось раньше.

Активный переход газов из океана в атмосферу и обратно происходит только с хорошо перемешанного поверхностного слоя, глубина которого в среднем равна 80 м. Если поглощенный углекислый газ содержится только в этом слое, то любое изменение его количества в атмосфере вызовет изменение концентрации в поверхностных водах, в девять раз меньшее. Это соотношение 9:1 мы назвали «буферный фактор» и показали, что с увеличением содержания углекислого газа в атмосфере он возрастает. Направленная вниз диффузия, адвекция или конвекция между хорошо перемешанным слоем и более глубокими водами увеличивают количество поглощаемого из воздуха углекислого газа, и его содержание в атмосфере будет уменьшаться. Но мы полагали, что эти процессы медленны, и поэтому нам казалось вполне вероятным, что большое количество углекислого газа, попадающего в атмосферу в результате сжигания угля, нефти и природного газа, должно оставаться в ней довольно долго, и это может оказать сильное воздействие на климат земного шара.

Человек неумышленно проводил великий геофизический эксперимент. Если бы данные этого эксперимента тщательно фиксировались, можно было более глубоко разобраться в процессах, происходящих в океане и атмосфере. Но этот эксперимент мог привести и к таким климатическим изменениям, которые проявились бы в разрушительных явлениях.

Программа Международного геофизического 1957/58 года включала проведение измерений содержания атмосферного углекислого газа. Часть этих исследований была поручена Институ-

ту океанографии Скриппса, руководителем группы назначили Ч. Килинга. С помощью газовых анализаторов высокой точности он непрерывно измерял содержание углекислого газа на станции у вершины вулканической горы Мауна-Лоа на Гавайях и на полярной станции США в Антарктиде. Эти пункты были выбраны из соображений чистоты и однородности местного воздуха. Помимо данных, полученных на этих станциях, производились замеры проб воздуха, взятых над поверхностью океанов с самолетов.

На с.9 приведены графики, построенные по результатам двадцатилетних наблюдений Килинга и других сотрудников Национального управления США по исследованию океанов и атмосферы. На обоих графиках представлены годовые циклы изменения концентрации углекислого газа на двух станциях. Эти циклы совпадают с сезонными колебаниями активности растений. В период, когда растения набирают рост, за счет фотосинтеза наблюдается снижение углекислого газа в атмосфере. В другие периоды его содержание в атмосфере пополняется в результате окисления растительных тканей. Кроме сезонных вариаций, кривые отражают почти экспоненциальный рост содержания CO_2 на обеих станциях. В самом начале измерений концентрация углекислого газа повышалась примерно на $0,7 \text{ млн}^{-1}$ (частей на миллион) в год. В конце 70-х годов скорость загрязнения достигла $1,4 \text{ млн}^{-1}$ в год.

Килинг и его коллега Р. Бакастоу пришли к выводу, что среднее содержание углекислого газа, зафиксированное на горе Мауна-Лоа, увеличилось с $315,8 \text{ млн}^{-1}$ в начале 1959 г. до $334,6 \text{ млн}^{-1}$ в январе 1978 г., т.е. примерно на 6%. Увеличение содержания углекислого газа на южнополярной станции отставало по времени от изменений, наблюдавшихся на горе Мауна-Лоа, за счет перемещения воздушной массы через экватор. Это перемещение сопровождалось перемешиванием воздуха, и поэтому южнополярной станцией было зафиксировано несколько

меньшее повышение концентрации углекислого газа. Увеличение на 19 млн^{-1} свидетельствует о том, что за эти 19 лет в атмосферу дополнительно было выброшено 40 Гт углерода.

Р. Ротти, сотрудник Института по изучению различных видов энергии при Исследовательском центре в Ок-Ридже (шт. Теннесси), используя данные ООН, подсчитал объем добычи угля, нефти и природных газов за эти годы. Согласно его выводам, углекислого газа за это время (включая и небольшую долю, связанную с производством цемента) было выброшено в атмосферу такое количество, которое соответствует примерно 70 Гт углерода, причем ежегодный прирост увеличился с 2,4 Гт в 1959 г. до 5 Гт в 1977 г. Это в 1,75 раза больше расчетного значения.

Ротти подсчитал также, что в результате сжигания ископаемого топлива за период с 1860 по 1959 г. в атмосферу было выброшено углекислого газа в пересчете на углерод 76,5 Гт. Применяя то же соотношение между объемом добычи ископаемых видов топлива и выбросами углекислого газа, он определил, что за период с 1860 по 1977 г. углерода в атмосферу добавилось 84 Гт, что соответствует 40 млн^{-1} углекислого газа. Однако эти данные не вполне достоверны, так как они не учитывают той огромной дополнительной массы углекислого газа, которая была обусловлена сведением сотен миллионов гектаров леса для увеличения площадей под сельскохозяйственные угодья после 1860 г. Еще несколько десятилетий назад расширение пахотных земель за счет территорий, занятых лесными массивами, было просто необходимой мерой, поскольку продуктивность земель в то время увеличивалась низкими темпами.

Когда ученые убедительно доказали, что концентрация углекислого газа в атмосфере экспоненциально растет, интерес к проблеме резко возрос: увеличилось число экспериментальных и теоретических работ в этом направлении. Состоялось множество конференций и симпозиумов, а замеры концентрации углекислого газа в атмосфере стали проводиться в самых различных регионах мира, от мыса Барроу на Аляске до мыса Галлея в Антарктиде. Они велись в различных природных условиях и охватили территорию от Западной Европы до центра северной части Тихого океана, где располагается корабельная метеостанция ПАПА, и острова Амстердам на юге Индийского океана. По времени они также были протяженны — от наших дней до самого холодного периода последнего оледенения, которое произошло примерно 18 тыс. лет назад. Благодаря собранному данным стало возможным построить широтный разрез изменений средней годовой концентрации

СВЕДЕНИЕ ЛЕСОВ в районе Толедо в Белизе (бывший Британский Гондурас). Снимок получен с искусственного спутника Земли «Landsat» с помощью цветной фотокамеры в инфракрасных лучах. Темно-красные участки — районы лесов, синезеленые и синие (кроме залива Гондурас в нижнем правом углу) — районы недавно вырубленных массивов. Яркие розовые пятна обозначают молодую растительность; это могут быть всходы на полях или (меньшие по площади) лесные посадки. Очищенная площадь равна примерно 218 кв. км, или почти 1% всей территории страны. Такое же сведение лесов (в большинстве случаев для расширения сельскохозяйственных угодий) было проведено в Бангладеш, Бразилии, на Филиппинах, в Таиланде, Венесуэле и других странах. Уничтожение лесных массивов ведет к повышенному содержанию углекислого газа в атмосфере, поскольку деревья поглощают в 10—20 раз больше углерода на единицу площади, чем засеянные поля или пастбища. Контрмерами для предотвращения таких нежелательных явлений могли бы стать новые посадки лесов на заброшенных пахотных землях, а также планомерное восстановление лесонасаждений в других районах.

углекислого газа в атмосфере. Оказалось, что наибольшие концентрации CO_2 наблюдаются к северу от 40° с.ш., где уровень использования ископаемых видов топлива, а также сезонные изменения биологической продуктивности самые высокие. Наименьшие концентрации углекислого газа в атмосфере отмечены в южном полушарии. Здесь уровень сжигания ископаемых видов топлива и степень использования земель под сельскохозяйственные культуры сравнительно низки.

ДЛЯ ТОГО чтобы на поверхности Земли могла сохраняться постоянная температура, инфракрасное излучение планеты должно уравновешиваться поглощением солнечной радиации. В современных условиях этот баланс достигается при температуре излучения в земной атмосфере — 18 °С на высоте 5 — 6 км. Ниже этого уровня температура повышается примерно на 6° на каждый километр по мере приближения к земной поверхности, где средняя температура составляет 15 °С. Если непрозрачность атмосферы для инфракрасного излучения повышается, уровень радиации и температура земной поверхности и нижних слоев атмосферы будут расти, пока инфракрас-

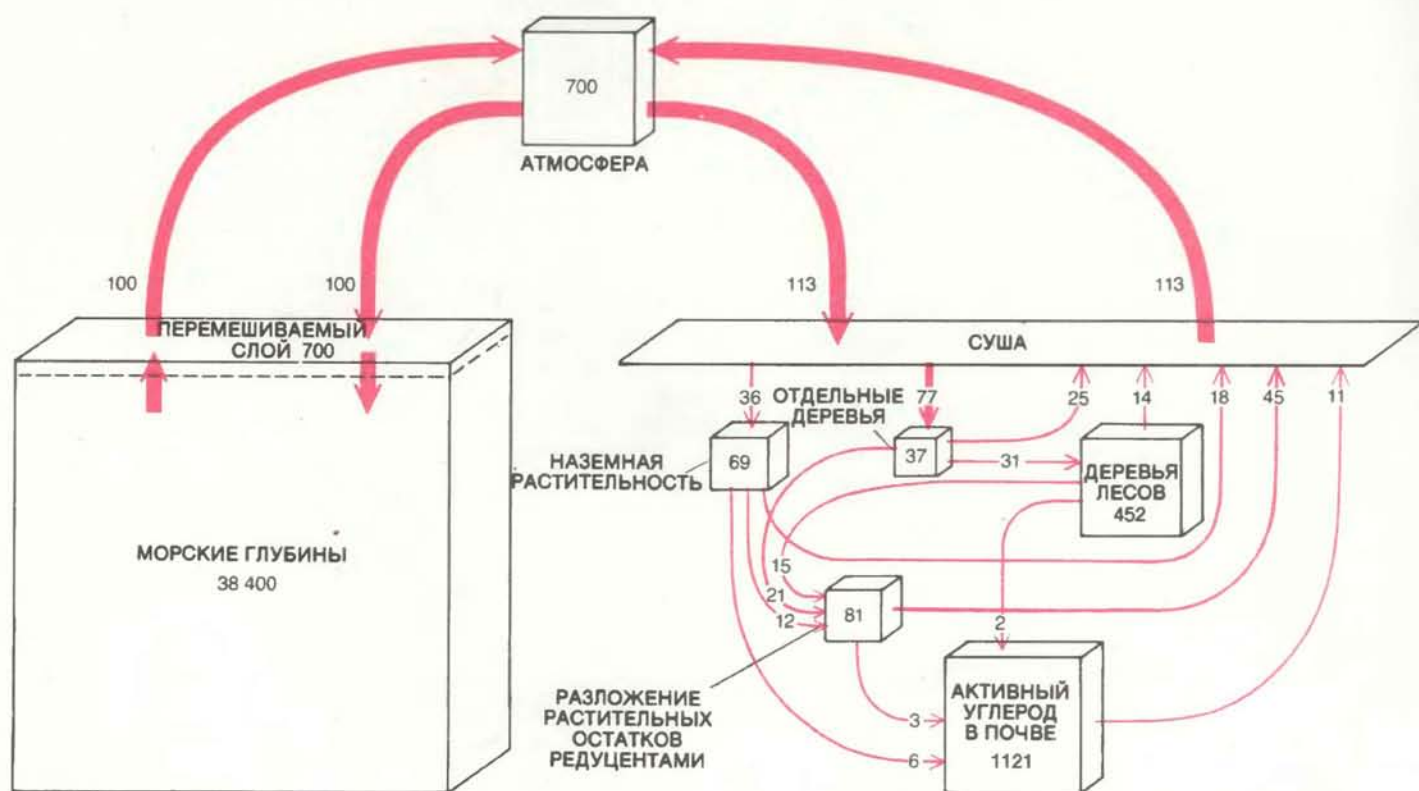
ное излучение планеты и уровень поглощения ею солнечных лучей снова не станут равными. Увеличение углекислого газа в атмосфере приводит к тому, что атмосферное инфракрасное «окно» закрывается, так как в атмосфере появляется больше молекул CO_2 , поглощающих это излучение.

Величину среднего прироста температуры земной поверхности можно получить с помощью математической модели, в которой температура является функцией высоты над Землей. Дж. Хэнсен и его коллеги, работающие в Национальном управлении по авионавигации и исследованию космического пространства (НАСА), применили такую модель для изучения основных процессов, влияющих на изменение температуры земной поверхности при увеличении в атмосфере углекислого газа. Они предположили, что уровень относительной влажности и температура на вершинах облаков не изменятся, а температура земной поверхности падает на 6,5 °С на 1 км. Их расчеты показали, что при этих допущениях увеличение углекислого газа в атмосфере в два раза вызывает повышение средней температуры поверхности земного шара на 2,8 °С; расчетная ошибка равна 200%. Инфракрасное из-

лучение сильно поглощается и присутствующим в атмосфере водяным паром. В какой-то мере рассчитанное увеличение температуры Земли связано с допущением, что относительная влажность атмосферы остается постоянной. Поскольку теплый воздух может удерживать больше влаги, чем холодный, для сохранения в атмосфере постоянного уровня относительной влажности объем водяного пара в ней должен увеличиваться с повышением температуры. В этих условиях увеличивалось бы поглощение инфракрасного излучения и вторичное излучение на поверхность Земли и таким образом установилась бы положительная обратная связь.

Если средняя температура на вершинах облаков не меняется, поток инфракрасного излучения от них в космическое пространство остается постоянным. Однако облака поднимаются за счет нагревания более низких слоев атмосферы. Если же скорость изменения температуры между земной поверхностью и вершинами облаков постоянна, то земная поверхность еще больше нагревается, что создает еще один эффект положительной обратной связи.

Можно было бы ожидать, что такое нагревание атмосферы у поверхности



КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА. Объемы отдельных емкостей соответствуют количеству накопленного в различных средах углерода. Циркуляция углерода указана стрелками. Числа выражают массу углерода в Гт (миллиардах тонн), переходящего из одной среды в другую за 1 год. Увеличение массы углекислого газа в атмосфере в результате различных видов деятельности человека может привести к потеплению

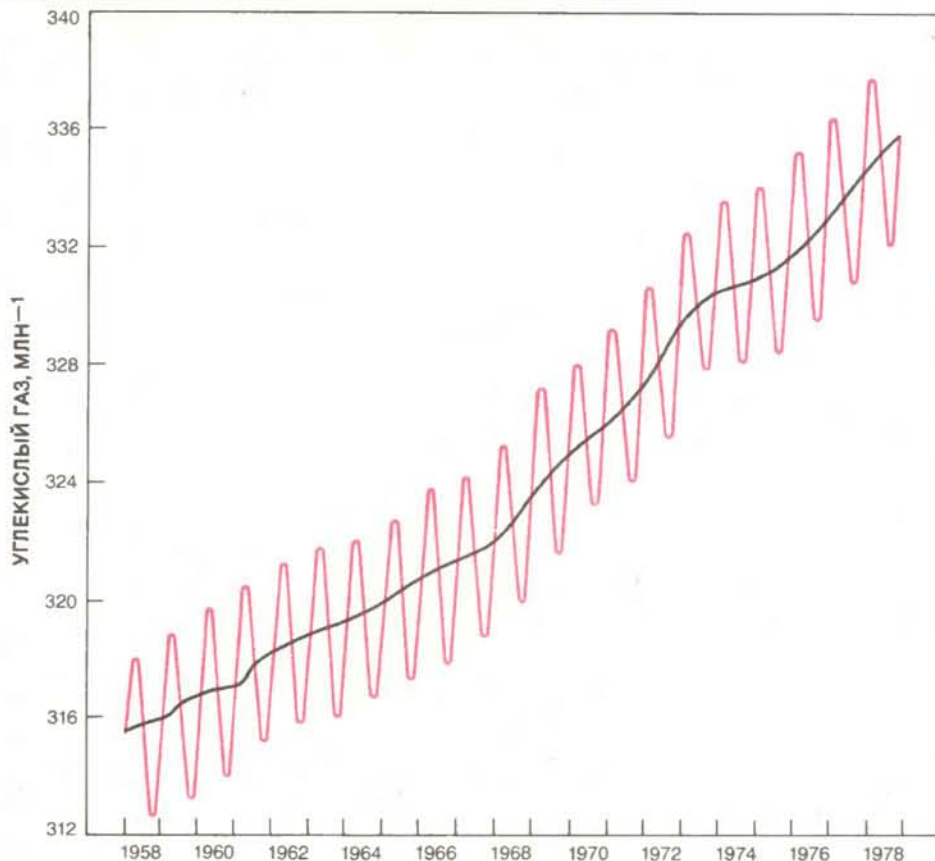
на земном шаре, поскольку молекулы CO_2 поглощают и вторично излучают какое-то количество тепловой энергии, испускаемой земной поверхностью. Расчеты содержания углерода в атмосфере и его потока от биосферы были выполнены Дж. Олсоном, сотрудником Национальной лаборатории в Ок-Ридже.

Земли должно растопить снега и льды и уменьшить альбедо Земли, или ее отражательную способность. Это привело бы к более интенсивному поглощению солнечной радиации и дальнейшему увеличению температуры. В результате создавался бы еще один эффект положительной обратной связи, по силе равный эффекту, обусловленному допущением о постоянстве температуры на вершинах облаков. Возможное в будущем нагревание воздуха вблизи земной поверхности, вызванное возросшим содержанием в атмосфере углекислого газа, тогда тоже существенно увеличилось бы. Средняя температура воздуха при этом может подняться даже на 50%, если концентрация других газов, поглощающих инфракрасное излучение, включая оксид трехвалентного азота, метан, хлор- и фторсодержащие соединения углерода, увеличится, как это ожидается в ближайшие 50 — 100 лет.

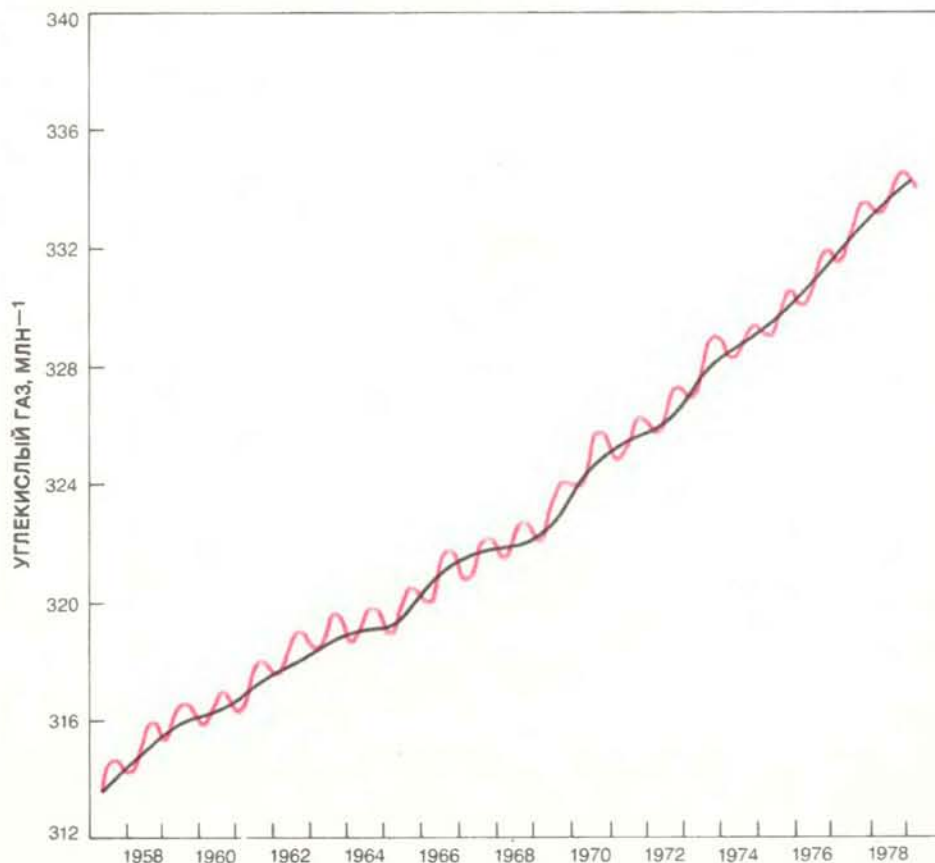
Хэнсен и его коллеги изучили также данные о средней годовой температуре воздуха по всем регионам мира за столетие, с 1880 по 1980 г. Они обнаружили, что температура на земном шаре повысилась примерно на $0,5^{\circ}\text{C}$ за период с 1885 по 1940 г., после чего наступило незначительное похолодание. Как видно по материалам, относящимся только к северному полушарию, в регионах севернее тропиков наступившее недавно похолодание продолжается и в наше время. Тем не менее группа Хэнсена установила, что в 1980 г. средняя температура воздуха на земном шаре была примерно такой же, как и в 1940 г. За период с 1880 по 1980 г. средняя глобальная температура повысилась примерно на $0,4^{\circ}\text{C}$. Это изменение почти совпадает с расчетными данными, показывающими, что за этот же период содержание в атмосфере углекислого газа возросло на 43 млн^{-1} .

Корреляция между содержанием углекислого газа в атмосфере и ростом температуры на земном шаре не полная. Это указывает на то, что глобальная температура, очевидно, зависит и от других факторов. Когда Хэнсен учел поглощение тепла океанами и массу пыли вулканических извержений, корреляция существенно улучшилась. Она становится ближе к 1, если принять во внимание гипотетическую изменчивость яркости Солнца, оцениваемую в 0,2%.

Хорошее совпадение данных об изменении температуры на земном шаре, полученных расчетным и экспериментальным путем, дает основание считать, что углекислый газ и вулканическая пыль являются основными факторами, оказавшими влияние на глобальные изменения температуры за последние сто лет. И все же следует отметить, что пока еще потепление климата не превысило «уровня шума» ежегод-



РОСТ КОНЦЕНТРАЦИИ углекислого газа в атмосфере зафиксирован исследовательской станцией на горе Мауна-Лоа на Гавайях. Сезонные колебания (красная кривая) объясняются тем, что углекислый газ поглощается из воздуха при фотосинтезе в растениях во время их роста. Затем он возвращается в атмосферу вследствие окисления растительных тканей. Плавная кривая (черная) отражает характер изменения без учета сезонного эффекта.



УВЕЛИЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА, зафиксированное на Южном полюсе с сезонными колебаниями (красная кривая) и без учета их (черная кривая).

ных температурных колебаний, которые находятся в пределах $0,2^\circ\text{C}$. Если тенденция к потеплению, превышающая шумовой уровень, станет очевидной, то гипотеза о роли углекислого газа будет гораздо более достоверной. Почти все прогнозы количества ископаемых видов топлива, которое будет сожжено в ближайшие годы, предполагают, что если содержание углекислого газа в атмосфере действительно влияет на изменение климата земного шара, то заметное потепление можно будет зафиксировать лишь в 90-е гг.

СОТРУДНИКИ Геофизической лаборатории гидроаэродинамики Принстонского университета С. Манабе, Р. Везеральд и Р. Стауффер разработали математическую модель для исследования географического распределения вероятных климатических изменений, вызванных двукратным или четырехкратным увеличением содержания углекислого газа в атмосфере. Как явствует из этой модели, реакция климата на содержание углекислого газа в атмосфере на разных географических широтах далеко не одинакова. При

двукратном увеличении массы углекислого газа в атмосфере средняя температура на земной поверхности в тропиках повышается менее чем на 2°C , а на 35°с.ш. (примерно на широте Лос-Анджелеса и Токио) она повышается на 3°C . На 50°с.ш. (на широте Парижа и Ванкувера) температура при этих условиях повысится на 4°C , а на 76°с.ш. (далеко за Полярным кругом) увеличение температуры составит 7°C . Согласно расчетам, в высоких северных широтах увеличение температуры происходит гораздо интенсивнее с октября по май, чем летом, благодаря чему амплитуда сезонных колебаний температуры в северных регионах уменьшается.

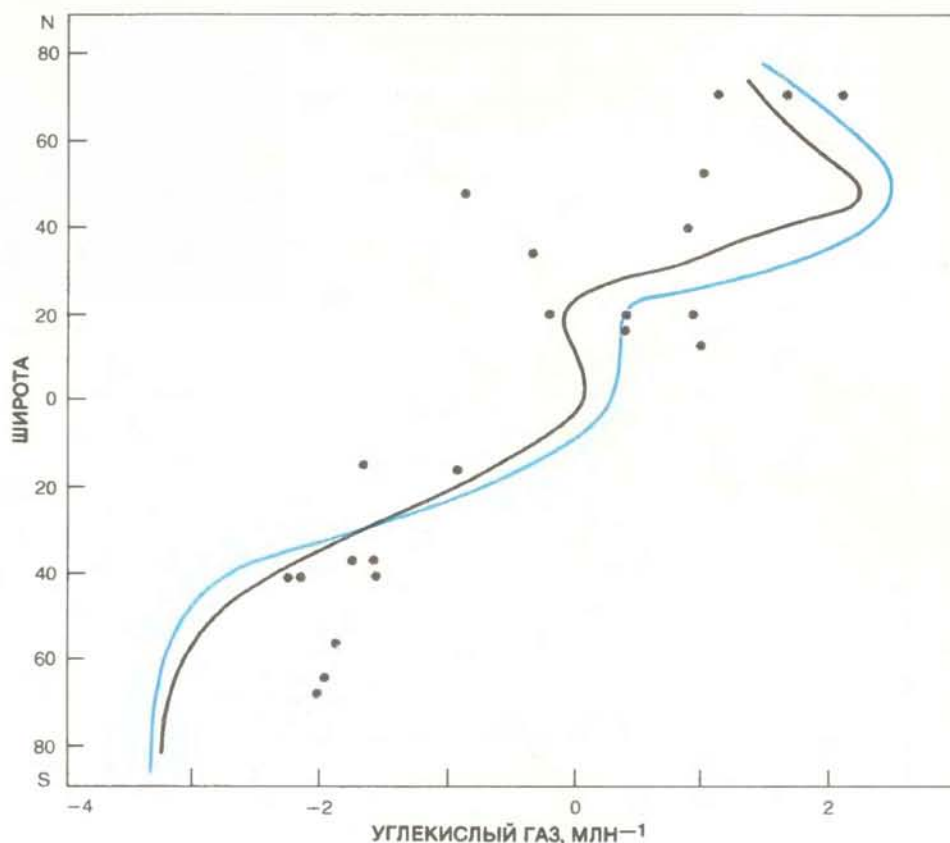
Из модели также следует, что в высоких северных широтах существенно возрастет количество атмосферных осадков и речного стока. Однако поскольку на $35 - 45^\circ\text{с.ш.}$ различие в уровнях атмосферных осадков и испарений значительно меньше, то речной сток здесь существенно уменьшится. Двукратное увеличение содержания углекислого газа в атмосфере, как указывает модель, вызовет более сильные

климатические изменения, чем те, которые произошли с конца последнего оледенения 12 тыс. лет назад. В результате может наступить такая жара, какой цивилизованное человечество никогда не знало. Высокая температура, возможно, сохранится на протяжении сотен лет, пока океаны постепенно не поглотят из атмосферы огромное избыточное количество углекислого газа.

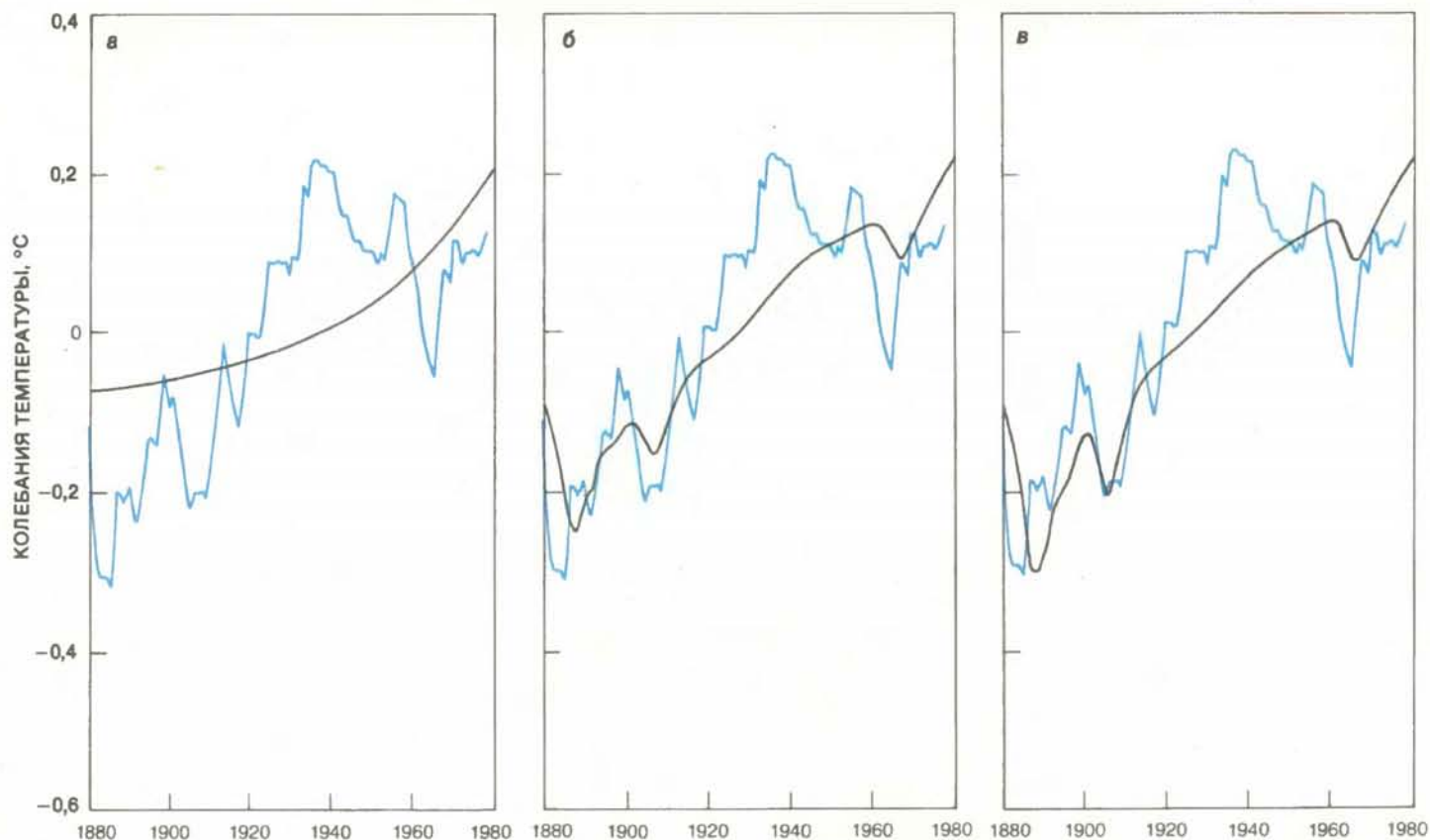
Модели, подобные той, которую разработали Манабе и его коллеги, неизбежно оставляют без ответа целый ряд вопросов. Так, она лишь частично отражает реальное взаимодействие между атмосферой и океаном и поэтому не может учесть перенос тепла океаническими течениями из низких широт в высокие или теплообмен между хорошо перемешанным поверхностным слоем океана и его более глубокими слоями. Неопределенность связана еще и с тем, что очень трудно заранее предсказать, какие изменения могут произойти в облаках в связи с климатическими сдвигами. Столь же трудно предсказать, как повлияют на обмен теплом и водяными парами между океаном и атмосферой изменения в географическом распределении морского льда. Пространственное разрешение такой модели очень широкое, и поэтому она не позволяет выявлять региональные климатические колебания.

Поскольку математическое моделирование не может полностью отразить причины и следствия возможных климатических изменений, то расчетные данные следует тщательно оценивать и проверять, изучая состояние климата в прошлые времена, и особенно в периоды потепления. Такое исследование совсем недавно провел сотрудник Боннского университета Г. Флон. Основываясь на результатах своего анализа, он рассчитал возможные изменения средней температуры и уровня атмосферных осадков в различных географических широтах в случае, если концентрация углекислого газа в атмосфере достигнет $560 - 680 \text{ млн}^{-1}$ (примерно вдвое выше уровня, который был сто лет назад) при одновременном увеличении содержания других газов, поглощающих инфракрасное излучение (см. нижнюю иллюстрацию на с. 11).

Анализ ретроспективных данных, проведенный Флоном, показал, что в зонах около 40°с.ш. и 10°ю.ш. уровень атмосферных осадков существенно снижался, а температура (следовательно, и испарение) повышалась. В то же время осадки могли бы быть более обильными в районах от 10 до 20°с.ш. , а также севернее 50°с.ш. и южнее 30°ю.ш. Эти изменения сильно повлияли бы на распределение водных ресурсов земного шара. Например, в бассейне реки Колорадо в США основной район речного стока расположен примерно на

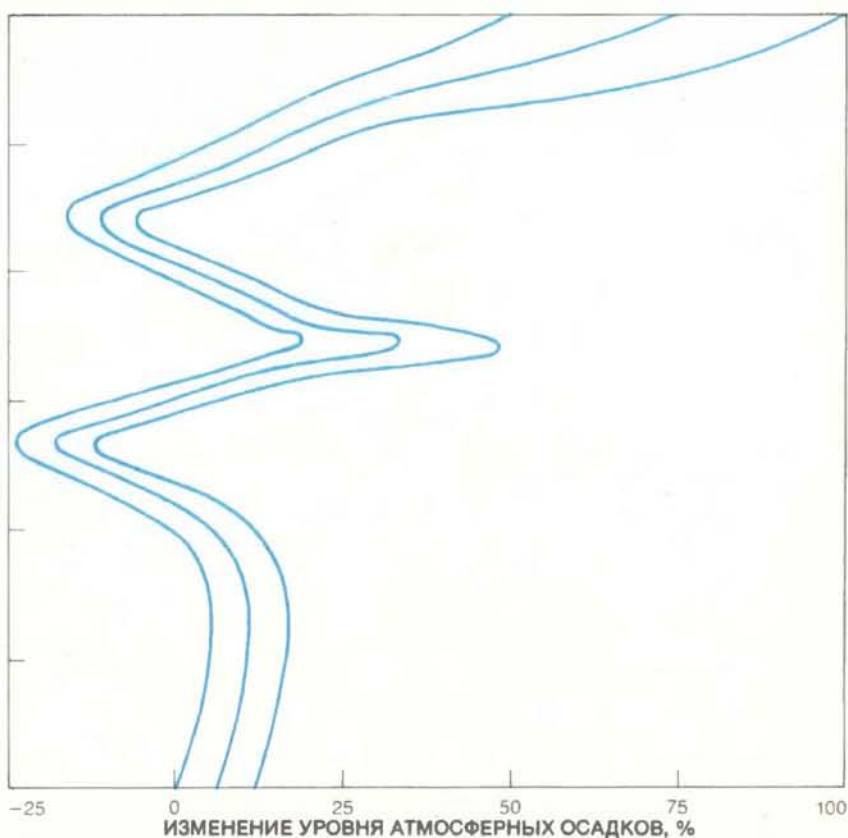
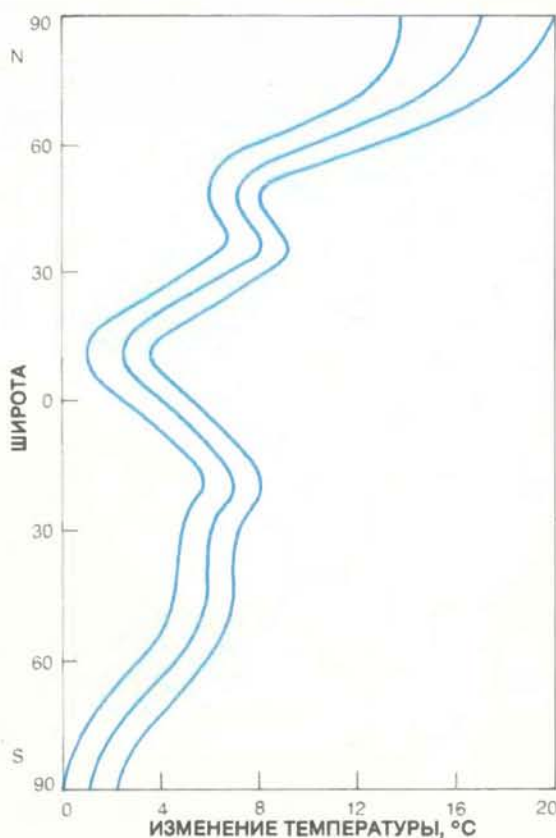


РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ШИРОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ содержания углекислого газа в атмосфере для широт, где барометрическое давление равно 700 (чёрная кривая) и 900 мбар (голубая кривая). Точки нанесены по экспериментальным данным, полученным в различное время с 1958 по 1979 г. на широтах от мыса Барроу на Аляске до Южного полюса. Данные представлены в частицах на миллион и лежат выше и ниже средней годовой концентрации, зафиксированной на горе Мауна-Лоа. Самые большие значения получены севернее 40°с.ш. , где больше всего сжигается ископаемых видов топлива.



ТЕНДЕНЦИЯ К ПОТЕПЛЕНИЮ, которая, по крайней мере отчасти, возникла из-за увеличения количества углекислого газа в атмосфере. Ее проявление прослеживается по зарегистрированным колебаниям температуры воздуха за период с 1880 по 1980 г. (синие кривые). По расчетным данным (черные кривые) температура на земном шаре повысится на

2,8° С, если содержание углекислого газа в атмосфере удвоится. Различные варианты этой модели учитывают влияние только углекислого газа (а), совместное влияние углекислого газа и вулканической пыли (б), а также влияние этих факторов и гипотетическое колебание солнечного свечения, равное 0,2% (в).



КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ вследствие увеличения содержания углекислого газа в атмосфере до $560\text{--}680\text{ млн}^{-1}$ (что примерно вдвое выше уровня, наблюдавшегося сто лет назад). Расчеты проведены Г. Флоном (Боннский универси-

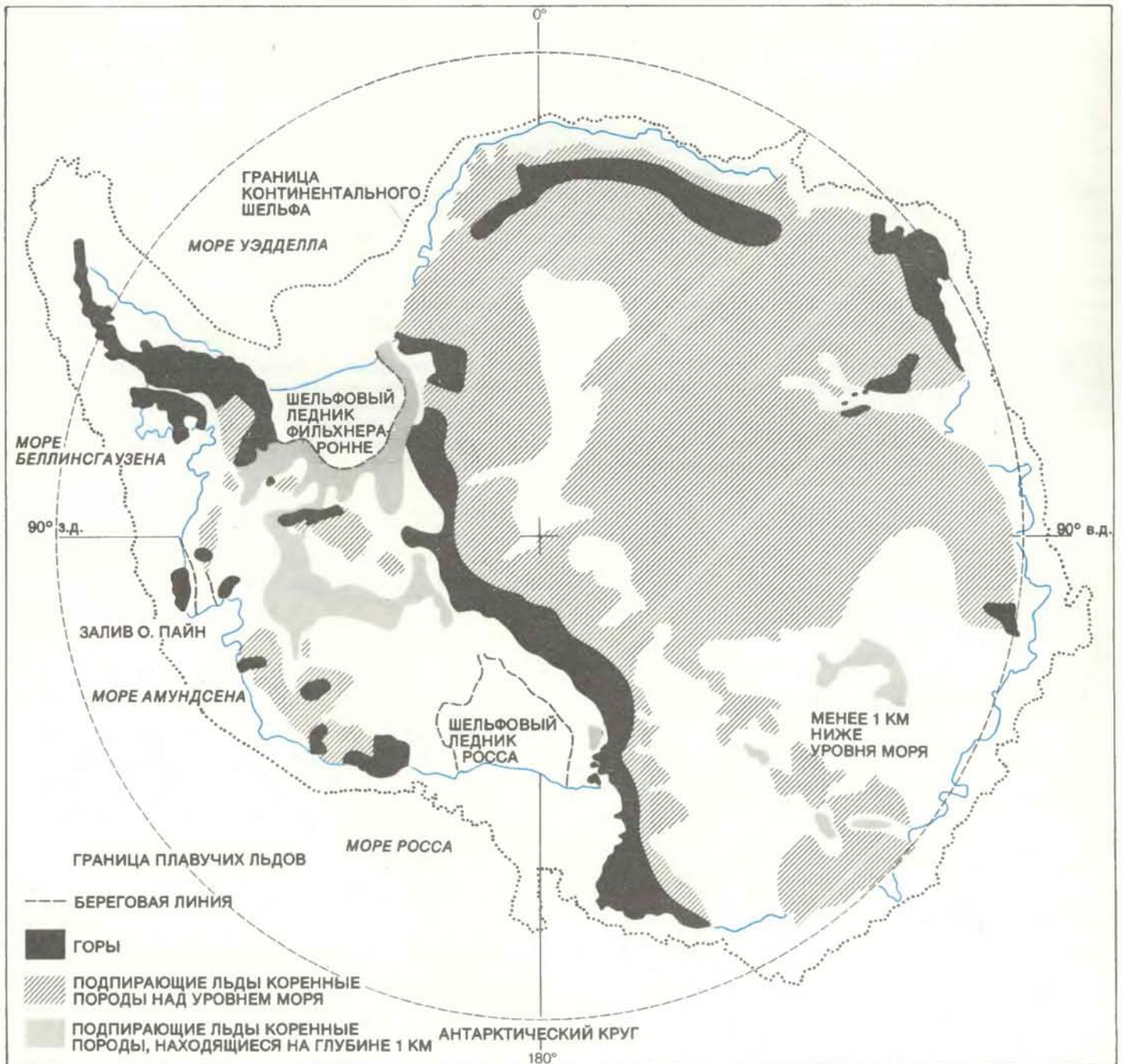
тет). Слева график изменения температуры, а справа — атмосферных осадков в зависимости от широты. Три кривые на каждом графике соответствуют различным допущениям.

40° с.ш. На этой территории не только уменьшились бы атмосферные осадки, но из-за повышения температуры увеличилось бы испарение. В настоящее время около 85% выпадающих здесь атмосферных осадков испаряется и лишь 15% уносится вместе с водами реки Колорадо. При повышении температуры воздуха на несколько градусов Цельсия и понижении уровня атмосферных осадков на 10 — 15% средний сток реки Колорадо может умень-

шиться на 50%, а то и больше. Даже в нынешних условиях, когда сток Колорадо подпирается большими водохранилищами, ее вод едва хватает, чтобы полностью удовлетворить потребности орошаемого земледелия.

В других регионах земного шара весьма вероятны большие изменения в запасах поверхностных и грунтовых вод. Среднегодовой расход воды североафриканских рек Нигера, Чари, Сенегала, Вольты и Голубого Нила мо-

жет значительно увеличиться, поскольку бассейны этих рек, возможно, будут получать на 10 — 20% больше влаги за счет атмосферных осадков, а температура поверхности Земли в то же время может повыситься лишь незначительно. На многих других реках расход воды может существенно снизиться. Это вполне вероятно для рек Хуанхе в Китае, Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи, протекающих по одной из важнейших сельскохозяйственных зон СССР, для речной



ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИДА. Показана западная часть материка. Она играет важную роль в рассматриваемой проблеме, так как при возможном глобальном потеплении, вызванном увеличением содержания углекислого газа в атмосфере, ее ледниковый покров может растопиться. Часть континентального льда покоится на коренных породах, лежащих над уровнем моря, другая часть ледникового покрова лежит на

впадинах ниже уровня моря. Большая часть шельфовых ледников Росса и Фильхнера-Ронне плавучие, но в отдельных местах они «подпираются» подводными массивами пород, поднимающимися до нижнего основания ледниковой массы. Таяние надводных льдов могло бы повысить уровень Мирового океана на 6 м.

системы Тигра и Евфрата в Турции, Сирии и Ираке, Замбези в Зимбабве и Замбии, а также в Бразилии для реки Сан-Франсиску. Некоторого снижения стока запасов грунтовых вод можно ожидать на реке Конго в Африке, Роне и По в Западной Европе, Дунае в Восточной Европе, Янцзы в Китае и Рио-Гранде в Соединенных Штатах Америки. Многие из этих рек являются основой для интенсивного и высокопродуктивного орошаемого земледелия, и поэтому прогнозируемое уменьшение расхода воды в них может иметь весьма пагубные последствия. В то же время значительное увеличение стока воды на реках Меконг и Брахмапутра может привести к частым и разрушительным наводнениям в обширных районах в Таиланде, Лаосе, Кампучии, Вьетнаме, Индии и Бангладеш.

Влияние атмосферного углекислого газа на урожай при богарном земледелии весьма многообразно, и оценить его гораздо сложнее, чем при орошаемом земледелии. Диоксид углерода играет важную роль в жизнедеятельности растений: он является одним из сырьевых материалов, из которых при фотосинтезе образуется органическое вещество. С. Уиттвер, работающий в Мичиганском университете, и Н. Розенберг, сотрудник Небрасского университета в г. Линкольне, основываясь на результатах опытов, проведенных в парниках и на полях, указывают, что повышенная концентрация CO_2 в воздухе способствует фотосинтезу у растений и вызывает их ускоренный рост. При прочих равных условиях урожай таких культур, как рис, пшеница, люцерна и соя, получают выше, если в атмосфере содержится большее количество углекислого газа.

Вероятно, важно и то, что многие растения частично закрывают свои устьица или поры листьев, если в окружающей среде слишком высокий процент углекислого газа, и вследствие этого сокращается транспирация воды. В результате в условиях предельно малого уровня атмосферных осадков кукуруза, сахарный тростник, сорго и уже названные культуры, вероятно, меньше пострадают от «водного стресса», если содержание CO_2 в атмосфере будет повышенным. В высоких широтах с увеличением температуры, обусловленным большим содержанием в атмосфере углекислого газа, период вегетации растений может удлиняться, и это позволит расширить зону неорошаемого (богарного) земледелия.

В последнее время широко обсуждается еще одно возможное последствие потепления климата на планете, а именно разрушение ледяного покрова Западной Антарктиды. Многие гляциологи считают, что этот ледниковый покров малоустойчив, поскольку боль-

шая его часть лежит ниже уровня моря. Объем ледяной массы, находящейся над уровнем моря, составляет примерно 2 млн. куб. км. Если бы всю эту массу льда вынесло в океан, уровень моря поднялся бы на пять-шесть метров, и тогда погруженными на морское дно оказались бы многие приморские районы с крупными городами и сельскохозяйственными угодьями в Голландии, Бангладеш и на юге США, а также заселенные районы в дельтах рек по всему миру. Половина штата Флорида оказалась бы затопленной морскими водами.

Такие изменения на карте мира могут показаться самым страшным возможным последствием потепления климата. Однако как в социальном, так и в экономическом отношении люди, возможно, сумели бы приспособиться к новым условиям относительно легко, по крайней мере в крупных городах, если, конечно, эти изменения происходили бы достаточно медленно. За исключением исторических памятников, которые сохраняются в первоизданном виде, в больших городах все время идет какая-то перестройка, даже безо всякой угрозы изменения прибрежных линий. У городских зданий есть период «полужизни» — отрезок времени, после которого половина зданий, воздвигнутых в определенном году в прошлом, либо сносится, либо перестраивается. Этот период, по-видимому, колеблется от 50 до 100 лет. Таким образом, разрушительные последствия климатических изменений будут в большой степени зависеть от того, насколько быстро они будут происходить.

КАК УЖЕ отмечалось, изменения климата вследствие повышенного содержания углекислого газа в атмосфере станут заметными тогда, когда его уровень превысит вдвое уровень, наблюдавшийся в середине прошлого века. Когда же это может произойти? Ответ на этот вопрос зависит от двух факторов: скорости сжигания ископаемых видов топлива в будущем и изменения массы углекислого газа в воздухе, обусловленного различными видами человеческой деятельности.

Эта постоянно поступающая в атмосферу масса CO_2 называется взвешенной (в воздухе) фракцией. Двукратное увеличение количества углекислого газа в атмосфере по сравнению с вероятным уровнем его в XIX в. произойдет тогда, когда в атмосферу после 1980 г. будет выброшено дополнительно 500 Гт углерода. Если масса взвешенной фракции останется такой же, какой она была на протяжении последних двадцати лет, то для удвоения количества атмосферного углекислого газа масса поступающего в атмосферу углерода должна быть 1000 — 1250 Гт, т.е. в 200 раз больше того количества,

которое ежегодно поступает в воздух в течение последних нескольких лет. Однако в связи с непрерывным ростом численности населения на земном шаре темпы использования энергии в мире неизбежно будут расти. Численность населения развитых стран Европы и Северной Америки, СССР и Японии увеличивается медленно. В этих регионах потребление энергии на душу населения можно было бы существенно сократить, если прибегнуть к ряду разумных мер по ее экономии. Но 70% человечества проживает в развивающихся странах, и население там по-прежнему растет очень быстро. В будущем, чтобы народы этих стран сумели избавиться от нищеты, им потребуется гораздо большее количество энергии на душу населения, чем это имеет место сейчас.

Даже умеренные темпы экономического прогресса в развивающихся странах вызовут по меньшей мере увеличение мирового потребления энергии на 2 — 3% в год, а это значит, что существующая тенденция к повышению доли CO_2 в атмосфере сохранится. Начиная с 1973 г. общий объем потребления угля, нефти и природного газа ежегодно повышается на 2,25%. До нефтяного кризиса в 1973 г. этот показатель был выше 4%. Если и впредь большую часть энергии будут получать от ископаемых видов топлива, а доля энергии от биосферы будет незначительной, то к 2050 г. выбросы углерода в атмосферу достигнут 20 — 40 Гт в год. При этих условиях содержание углекислого газа в атмосфере вдвое больше, чем в прошлом веке, станет примерно в середине следующего столетия.

Поскольку в будущем другие источники энергии смогут частично заменить ископаемые виды топлива (а когда-то такая замена будет полной), сейчас можно сделать лишь грубую оценку количества ископаемых видов топлива, которое будет потребляться в грядущие годы. Однако совершенно ясно, что современный уровень использования ископаемого топлива, когда почти две трети массы углекислого газа поступает в атмосферу от сжигания нефти и природного газа, не может сохраняться вечно, так как их запасы не безграничны. При сегодняшней структуре использования различных видов топлива и темпах роста их потребления большая часть запасов нефти и природного газа будет истощена к 2050 г., а объем добычи угля останется примерно тем же. Таким образом, проблема загрязнения воздуха углекислым газом почти полностью будет определяться потреблением угля.

Почти 90% мировых запасов угля находится в СССР, Китае и США. Поэтому в будущем увеличение содержания углекислого газа в атмосфере за счет сжигания угля в основном будет опре-

деляться объемами добычи и использования этого вида топлива в трех указанных странах.

Что же касается той доли диоксида углерода, которая остается в атмосфере, ее в конечном счете можно научиться определять с помощью аналитических моделей, которые учитывали бы круговорот углерода и циркуляцию океанических вод. Ни у кого не вызывает сомнений, что большие объемы углекислого газа сохраняются в атмосфере в результате сведения лесных массивов. Дело в том, что на единицу площади лесная биомасса поглощает в 10 — 20 раз больше углерода, чем биомасса засеянных полей или пастбищ. В то же время выращивание лесов на заброшенных пахотных землях, а также планомерные лесные посадки и улучшение лесоводства в Китае, Европе и Северной Америке в какой-то степени должны компенсировать утрату лесных массивов в различных странах.

В настоящее время данные об изменениях в содержании углекислого газа в атмосфере можно получать своевременно и постоянно, поскольку в масштабах всего мира налажена служба контроля над живой биомассой и органическим содержанием почв. Для этих целей используются искусственные спутники Земли и наземные исследовательские станции. Именно такие исследования проводятся сейчас Дж. Вудвеллом и его коллегами, сотрудниками Лаборатории морской биологии в Вудс-Холе. Однако обработка полученных данных — задача чрезвычайно трудная. По данным Вудвелла, ежегодное увеличение количества углерода в атмосфере за счет сведения лесов, составляет примерно 1 — 2 Гт.

На основе весьма ограниченных данных, имеющихся в нашем распоряжении, можно сделать вывод, что в результате всех видов человеческой деятельности за последние двадцать лет в атмосфере осталось 40 — 50% объема углекислого газа. Однако нельзя утверждать, что и в будущем масса взвешенной фракции CO_2 останется такой же. На величину этой фракции влияет несколько факторов. По мере повышения содержания углекислого газа в атмосфере, по-видимому, увеличится и буферный эффект, что снизит скорость переноса углерода из воздуха в океан. В то же время, если скорость притока углерода в атмосферу уменьшится, как это было в последние несколько лет, то время поглощения CO_2 океанами будет больше, а, следовательно, большее количество газа сможет раствориться в более глубоких слоях океана.

Вполне возможно, что в ближайшие десятилетия сведение лесов под сельскохозяйственные угодья станет менее интенсивным, поскольку резервы пригодных для обработки земель уже почти исчерпаны, а улучшенные приемы

агротехники обеспечивают получение повышенных урожаев с культивированных земель. Кроме того, с увеличением количества углекислого газа в атмосфере фотосинтез в растениях может усилиться и, следовательно, выход биомассы увеличится, по крайней мере в некоторых регионах. Совместное действие этих и других факторов может привести к тому, что значительная масса углерода будет переходить из атмосферы в биосферу. В 1977 г. автор совместно с У. Мунком разработали довольно примитивную модель, в которой была сделана попытка учесть все эти факторы. Как показали расчеты, задерживающаяся в атмосфере доля углекислого газа, образуемого в результате различных видов деятельности человека, остается почти постоянной и составляет 40 — 50% общего его объема. Это соотношение будет сохраняться до тех пор, пока потребление ископаемых видов топлива не достигнет предела. Можно ожидать, что предел этот наступит примерно в начале XXII в.

ПОДВОДИТ ИТОГ сказанному, можно сделать вывод, что проблема загрязнения атмосферы углекислым газом во многом не определена и в ней еще немало неизученных вопросов. Действительно, относительно надежных данных, которыми мы располагаем не так уж много — это результаты непосредственных измерений количества углекислого газа в атмосфере, в частности полученных на исследовательских станциях на горе Мауна-Лоа и Южном полюсе, где наблюдения ведутся почти уже 20 лет, а также некоторые достаточно достоверные данные, полученные по программам ООН, об объемах ежегодного потребления ископаемых видов топлива в промышленно развитых странах. Но и этих сведений вполне достаточно, чтобы понять необходимость дополнительных усилий для получения новых данных, без которых более основательное изучение вероятных последствий непрерывного увеличения объема углекислого газа в атмосфере невозможно.

Как показал накопленный опыт, на планирование и осуществление программ по развитию водных ресурсов в бассейнах крупных рек может потребоваться несколько десятилетий. Сейчас самое время подумать о том, как избежать неблагоприятных последствий возможных климатических изменений, которые могут произойти в результате планируемого использования водных ресурсов, или даже употребить их себе на пользу. Для этого, как представляется, необходимо предпринять следующие меры: 1) изменить законодательство о водных ресурсах, предусмотрев в нем возможность перебрасывать сток из одной реки в другую, скажем из

бассейна р. Колумбия в бассейн р. Колорадо; 2) повысить эффективность водопользования для нужд орошения; 3) наладить очистку и рециркуляцию отработанных сточных вод и городских канализационных стоков; 4) ограничить размеры орошаемых площадей; 5) повысить урожайность сельскохозяйственных культур в расчете на единицу объем воды, используемой для полива; 6) повысить интенсивность рециркуляции воды в водоемах.

В современном сельском хозяйстве активно используются достижения науки и техники. Благодаря этому сельскохозяйственные культуры можно легко приспособить к различным климатическим условиям. Американский ученый Розенберг приводит для примера красную озимую пшеницу, которая выращивается в различных климатических зонах, от Северной Дакоты до северных районов Техаса, где температура и уровень атмосферных осадков далеко не одинаковы. А всего несколько десятилетий назад эту пшеницу выращивали только в восточных районах штата Небраска. Можно провести специальные исследования и путем сравнительного анализа выявить культуры, которые смогли бы лучше произрастать в местах, где в результате возросшего содержания углекислого газа в атмосфере ожидаются изменения климата.

На основании изучения ископаемых кораллов установлено, что уровень моря в последний межледниковый период (около 120 тыс. лет назад) был примерно на 6 м выше, чем сейчас. Коралловые рифы, которые образовались, когда уровень моря был высоким, впоследствии, когда вода отступала, превращались в атоллы с террасами. Неожиданный подъем уровня моря, возможно, был связан с разрушением ледового покрова Западной Антарктиды. Для получения достоверной информации необходимо исследовать ее современный ледниковый покров. С помощью бурения можно было бы вскрыть годичные пласты льда, и, как предполагается, на глубине, соответствующей какому-то времени, примерно равному 120 тыс. лет, удалось бы обнаружить характерную неоднородность их структуры. Выявив природу нарушения непрерывности ледовых пластов, мы бы смогли понять последовательность событий в природе.

Если ледниковый покров действительно распался во время последнего межледникового периода, то можно было бы попытаться научно установить скорость разрушения древнего льда Антарктики. Это было бы чрезвычайно важно для науки. Если таяние льда происходило быстро, то поверхностный слой воды, слабо насыщенный солью, мог просуществовать до

статочно долго, чтобы оставшиеся от него следы можно было обнаружить с помощью приборов. Пресные и морские воды отличаются содержанием в них определенных изотопов кислорода, которое можно было бы измерить в окаменелых коралловых террасах.

Не меньший научный интерес представляет и динамика выводных ледников. В настоящее время ледовые шельфы в Западной Антарктиде отрывают от основного ледникового покрова огромные айсберги, движущиеся в сторону моря со скоростью около 1 км в год. Ежегодно почти 500 куб. км льда осаждается в море с береговой линии протяженностью 1200 км. Исключая влияние других факторов, в результате этого явления уровень моря должен был бы подниматься на 1,5 мм в год. Именно это и наблюдается, судя по данным измерений среднего годового уровня моря во многих странах мира.

По модели, разработанной Т. Хьюзом, Дж. Дентоном и Дж. Фастухом, сотрудниками Мейнского университета в г. Ороно, совместно с Дж. Мерсером из Университета шт. Огайо, сток шельфовых ледников в Западной Антарктиде может предположительно ускориться до 20 км в год. Если это произойдет, то уровень моря будет повышаться примерно на 3 см в год, или на 3 м за столетие. Такой интенсивный подъем уровня моря может серьезно отразиться на прибрежных районах. Но многие гляциологи считают, что столь высокая скорость движения ледников маловероятна, хотя и возможна. Движение шельфовых ледников можно было бы контролировать с искусственных спутников.

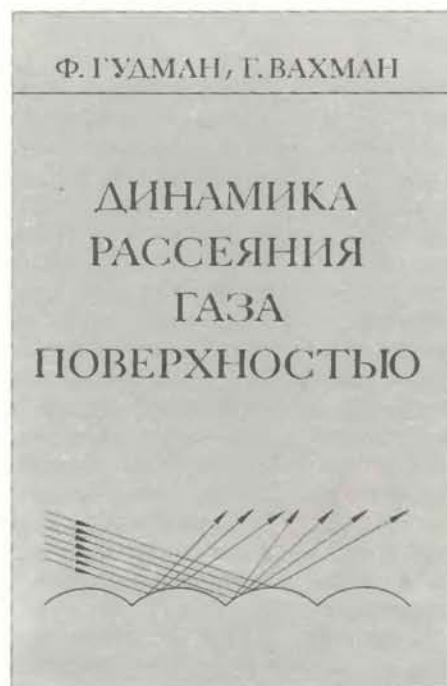
Человечество накопило достаточный опыт и научилось реагировать на внезапные и относительно кратковременные природные катаклизмы, такие, как сильные ураганы, наводнения, засухи, извержения вулканов, землетрясения и лесные пожары. Однако те изменения, которые могут произойти в результате повышения содержания углекислого газа в атмосфере, будут проявляться не внезапно и кратковременно. Они будут происходить постепенно и выражаться в различных сдвигах в окружающей нас природной среде. Большинство людей даже не почувствуют эти ежегодно повторяющиеся изменения, ибо какие-то колебания в климате происходят каждый год. Было бы разумно уже сейчас задуматься о возможных климатических изменениях и мерах, с помощью которых человечество сумело бы избежать неблагоприятных последствий таких изменений или по крайней мере уменьшить их, а если можно, то и обратить себе на пользу те явления, которые могут оказаться благоприятными.

Издательство МИР предлагает:

Ф. Гудман, Г. Вахман

ДИНАМИКА РАССЕЯНИЯ ГАЗА ПОВЕРХНОСТЬЮ

Перевод с английского



Введение в методы исследования рассеяния газов поверхностями — одного из наиболее актуальных и перспективных направлений механики разреженных газов. В монографии описывается экспериментальная методика молекулярных пучков, излагаются классическая и квантовая теория рассеяния на кристаллической решетке, систематизируются результаты, полученные за последние пятнадцать лет.

Книга рассчитана на математиков-прикладников и инженеров различных специальностей (по аэродинамике и космонавтике, химической и вакуумной технологии, атомной и химической физике); она может быть использована как пособие для студен-

тов и аспирантов соответствующих специальностей.

Монография включает следующие разделы: 1. Введение. 2. Элементарная кинетическая теория газов вблизи поверхности. 3. Потенциалы и взаимодействия и режимы взаимодействия. 4. Упрощенные модели решетки для динамики атомов поверхности твердого тела: классическая теория рассеяния газа поверхностью. 5. Молекулярные пучки. 6. Неупругое рассеяние; структурный режим. 7. Квантовая теория рассеяния газа поверхностью. 8. Квантовомеханические явления при рассеянии. 9. Коэффициент аккомодации энергии. Дополнение. Классические представления в задаче взаимодействия газа с поверхностями.

1980, 27 л. Цена 4 р. 10 к.



Колебания атомных ядер

Ядра атомов могут вибрировать, пульсировать и даже «дышать». Изучая согласованное движение частиц в ядре, можно многое узнать о силах, действующих между ними. К настоящему времени экспериментально обнаружено шесть типов ядерных колебаний

ДЖОРДЖ Ф. БЕРТЧ

КОЛЕБЛЮЩИЕСЯ системы — от простейшего маятника до осциллирующего электромагнитного поля световой волны — давно занимают особое место в разных областях физики. Типы колебаний и их частот помогают разобраться в природе сил, действующих в изучаемой системе. На заре XX в. такой анализ оказался особенно важным для понимания структуры атома. Позднее были открыты разнообразные колебания ядра атома. Их изучение стало основным источником информации о структуре ядра и взаимодействиях составляющих его частиц.

Ядро состоит из протонов и нейтронов, которые имеют общее название — нуклоны. Квантовомеханическое описание положения нуклонов и их движения основано на использовании так называемой волновой функции. Для стабильных ядер, находящихся в естественных (природных) условиях, волновая функция не изменяется во времени. Однако действие внешних сил вызывает внутреннее возбуждение ядра. В случае простейших возбуждений, которые называют гигантскими колебаниями, или гигантскими резонансами, все нуклоны колеблются когерентно (согласованно) и общая картина движения получается простой. Можно провести аналогию между различием когерентного и некогерентного движений нуклонов в возбужденном ядре и различием между согласованным движением жидкости в чашке чая, по которой постукивают, и хаотическим тепловым движением молекул в горячем чае. При когерентном движении возникает следующая картина: подобно жидкости, плещущейся в чашке, распределение нуклонов в колеблющемся ядре циклически изменяется. В колеблющемся теле движение отдельных частиц может быть согласовано по-разному; существуют характерные типы этого общего движения, которые называют колебательными модами.

К настоящему времени экспериментально обнаружено шесть гигантских колебательных мод ядра (в основном в течение нескольких последних лет), ко-

торые можно подразделить на два класса. К первому классу относятся моды, которые существуют и у других тел сферической формы, таких, например, как капля воды или земной шар. Перечислим сферические колебательные моды ядра в порядке их открытия: гигантская дипольная, гигантская квадрупольная, гигантская монополюсная и гигантская октупольная. Эти названия заимствованы из названий электрических полей разной пространственной сложности. Например, протоны в ядре, совершающем квадрупольные колебания, генерируют осциллирующее электрическое поле, которое похоже на поле, создаваемое четырьмя полюсами (точечными зарядами).

ВТОРОЙ класс ядерных колебаний связан с ориентацией спинов нуклонов. Протоны и нейтроны, подобно электронам и многим другим частицам, вращаются вокруг собственной оси. С этим вращением связан внутренний момент количества движения частиц, который называют спином. В невозбужденном ядре ось спина данного нуклона фиксирована относительно его волновой функции и ориентации спинов других нуклонов. Во время спиновых колебаний некоторые нуклонные спины слегка отклоняются и спиновые оси начинают прецессировать — совершать круговое движение вокруг своего первоначального направления. Прецессия нейтронных спинов относительно протонных может происходить по-разному, поэтому существуют разные спин-колебательные моды. Например, спины нейтронов могут отклониться в ту же сторону, что и спины протонов, или в противоположную. В результате согласованной прецессии нуклонов ядро приобретает результирующий спин и результирующий магнитный момент, который будет осциллировать с частотой прецессии. К настоящему времени экспериментально обнаружены два типа колебаний такого рода: гигантский резонанс Гамова — Теллера и гигантский магнитный дипольный резонанс.

Чтобы понять природу ядерных ко-

лебаний, необходимо знать силы, действующие между нуклонами, и законы механики, управляющие движением нуклонов под действием этих сил. Сложность проблем, возникающих при изучении многочастичных ядерных систем, давно заставила физиков прибегнуть к помощи упрощенных моделей. Считается, что нуклоны в ядре движутся под действием одной обобщенной силы, которая приближенно описывает взаимодействие данного нуклона со всеми остальными нуклонами. Экспериментальное изучение колебательных мод позволяет проверить справедливость таких моделей. Для подтверждения моделей с теоретической точки зрения необходимо более глубокое рассмотрение на основе квантовой теории.

Тело совершает колебание определенного типа с характерной частотой, которую называют резонансной. Резонансная частота в некоторой степени зависит от внутренних сил, препятствующих движению колеблющихся частиц. Капля воды и твердая сфера, совершающие колебание одного типа, имеют разные резонансные частоты. Твердое тело сильно сопротивляется внешнему воздействию и поэтому имеет высокую частоту колебаний. А жидкая капля после возмущения принимает сферическую форму только благодаря силам, обусловленным поверхностным натяжением. Эти силы довольно слабые, что приводит к низкой частоте колебаний.

В одной из моделей ядра — модели жидкой капли — силы, действующие между нуклонами, уподобляются силам, действующим между молекулами жидкости с низкой вязкостью. В другой модели — оболочечной модели ядра — предполагается, что они похожи на силы, действующие между частицами в упругом твердом теле. Резонансные частоты ядерных колебательных мод были вычислены на основе модели жидкой капли и других простых моделей задолго до того, как ядерные колебания удалось экспериментально наблюдать и измерить их частоты. Оказалось, что ни одна мо-

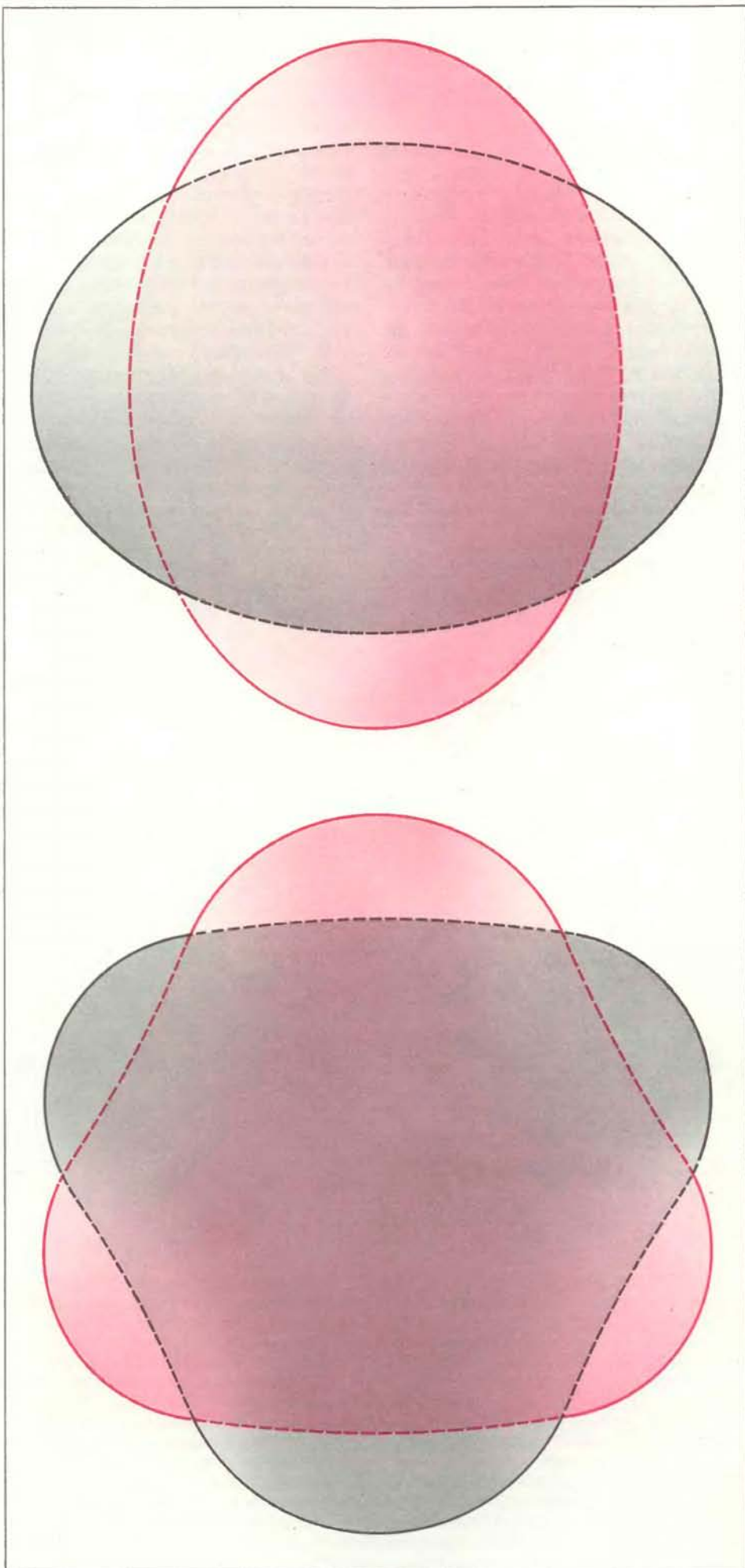
дель не смогла точно предсказать резонансные частоты всех колебательных мод. Ядро может вести себя и подобно жидкости, и подобно упругому твердому телу. В целом реакция ядра на внешнее воздействие похожа на реакцию одного из типов неклассических жидкостей — как упругое тело они реагируют на удар, на быстрое воздействие, но растекаются, подобно жидкости, при продолжительном возмущении.

Наиболее точное описание ядерных колебаний дает учитывающая зависимость от времени теория среднего поля, которая основана на квантовой механике. В теории среднего поля силы, действующие на нуклоны ядра, вычисляются из квантовомеханического описания движения самих нуклонов, в то время как в более простых моделях вводятся различные предположения о связи между силами и движением частиц. На первый взгляд эти подходы кажутся совершенно различными, однако с помощью квантовой теории во многих случаях можно показать справедливость предположений простых моделей.

ЯДЕРНЫЕ колебания возбуждаются при бомбардировке ядра фотонами (квантами электромагнитного излучения) высокой энергии или другими частицами. Колебания регистрируют, наблюдая поглощение или дифракцию этих частиц на ядрах. Возбуждение и обнаружение гигантской дипольной моды не требуют особых усилий. Однако в случае остальных мод оказалось довольно трудно найти способ возбуждения колебаний данного типа. Около 30 лет прошло с момента открытия гигантских дипольных колебаний до открытия других гигантских мод.

Первое и простейшее условие возбуждения ядерных колебаний состоит в том, что энергия, передаваемая при этом ядру, должна быть равна энергии колебаний. Ядро колеблется с исключительно высокой частотой; энергия колебаний равна частоте, умноженной на постоянную Планка, так что и энергия получается сравнительно большой.

КОЛЕБАНИЯ ФОРМЫ ЯДРА, при которых сферическое ядро деформируется, приобретая эллипсоидальную форму или форму груши, похожи на колебания макроскопического тела, например капли воды. В обоих случаях колебание представляет собой когерентные осцилляции составляющих тело частиц, что создает картину движения тела как целого. Колебания играют важную роль в проверке моделей структуры ядра. Предсказания разных моделей относительно частот и других характеристик ядерных колебаний оказываются различными; иногда ядро ведет себя как твердое тело, а иногда — как вязкая жидкость.



Типичная частота колебаний — $5 \cdot 10^{21}$ Гц — соответствует энергии 20 МэВ. Энергия фотона или других частиц, которые возбуждают ядерные колебания, должна быть по крайней мере такой же высокой.

В случае гигантского дипольного резонанса ограничение на энергию бомбардирующих частиц оказалось единственным. Выяснилось, что гигантские дипольные колебания можно возбудить путем бомбардировки ядер фотонами с энергией, равной энергии этой колебательной моды. Открытие гигантского дипольного резонанса зависело только от того, есть ли источники моноэнергетических фотонов высокой энергии (гамма-квантов). Поэтому обнаружение этой моды последовало сразу же за созданием таких источников (источников тормозного излу-

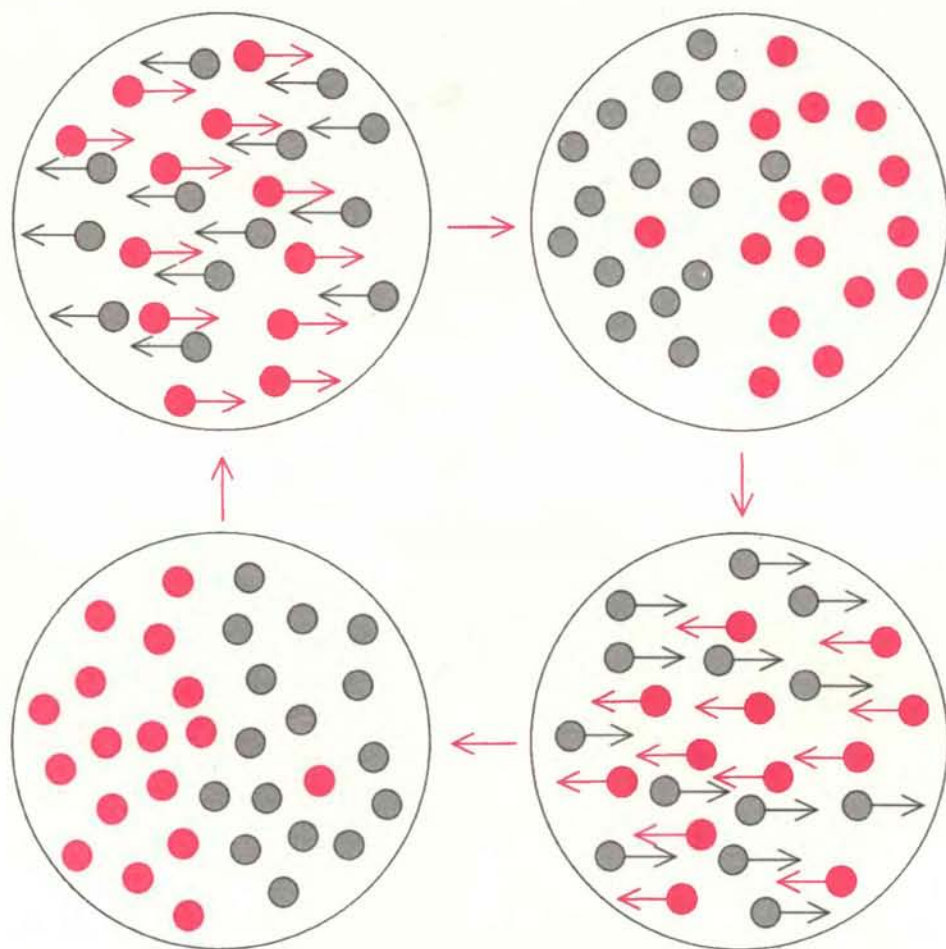
чения от электронных ускорителей) в середине 40-х годов.

Нетрудно понять, как гамма-излучение возбуждает дипольные колебания. С фотоном связано осциллирующее электрическое поле. Хотя длина волны гамма-излучения меньше, чем других видов электромагнитного излучения (таких, например, как видимый свет), она велика по сравнению с диаметром ядра. Поэтому электрическое поле падающих гамма-квантов приблизительно однородно для всего ядра. Это поле действует на положительно заряженные протоны, оттягивая их от нейтронов. Нейтроны не имеют электрического заряда, так что непосредственно на них поле не действует. Но так как центр масс ядра должен оставаться в покое, нейтроны движутся в противоположном направлении. Восстанавли-

вающей силой для колебания является сила притяжения, действующая между протонами и нейтронами, или сильное взаимодействие, удерживающее частицы в ядре. Сильное взаимодействие не зависит от электрического заряда.

Гигантский дипольный резонанс не только сравнительно легко возбудить, но и относительно легко обнаружить. Фотоны, возбуждающие колебания, поглощаются ядром. Это явление представляет собой один из типов резонанса и возникает в любой колеблющейся системе, возбуждаемой внешней силой. В качестве простого и всем известного примера резонанса можно привести пение человека в душе. Когда частота голоса совпадает с естественной частотой колебаний массы воздуха в душе, амплитуда колебаний становится очень большой. Звук усиливается, степень совпадения частот воспринимается по резонансному тону. В таких случаях большая амплитуда вызывает возрастающее поглощение энергии. Точно так же, когда частота осцилляций электрического поля гамма-квантов совпадает с резонансной частотой дипольной моды, они поглощаются ядром.

Способность ядра поглощать падающие на него частицы количественно выражается через эффективное поперечное сечение (которое измеряется в единицах площади). Дипольный резонанс экспериментально обнаруживают по резкому возрастанию поглощающей способности мишени при некотором значении энергии фотонов. При этом говорят, что возрастает эффективное поперечное сечение поглощения ядра, как если бы оно вдруг увеличилось в размерах и стало захватывать больше фотонов. Но в действительности изменяются не размеры ядра, а его поглощающая способность. Реакция тела на воздействие электромагнитных сил зависит от его электрического заряда, поэтому по эффективному поперечному сечению колеблющегося ядра можно определить, что в колебании участвуют все его протоны, т.е. дипольное колебание является действительно гигантским колебанием.



ГИГАНТСКИЕ ДИПОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ, обнаруженные экспериментально в конце 40-х годов, возбуждаются при бомбардировке ядер фотонами высокой энергии. Все протоны ядра (выделены цветом) ускоряются электрическим полем фотонов в одном направлении. На нейтроны (серый цвет) поле не действует, но они начинают двигаться в направлении, противоположном протонам, чтобы центр масс ядра остался в покое и выполнялся закон сохранения импульса. Восстанавливающей силой, которая в конце концов изменяет движение протонов и нейтронов на обратное, является сильное ядерное взаимодействие, удерживающее нуклоны вместе. Частоту колебаний можно легко рассчитать, используя простую модель. Достаточно знать инерционность нуклонов, восстанавливающую силу и законы классической механики. Инерционность пропорциональна числу нуклонов, т.е. объему ядра. Восстанавливающая сила пропорциональна объему ядра и смещению нуклонов. Зависимость этих переменных от объема ядра показывает, что частота колебания должна изменяться обратно пропорционально радиусу ядра. Экспериментальные данные для большого числа ядер подтверждают этот вывод. На рисунке амплитуда колебания сильно увеличена.

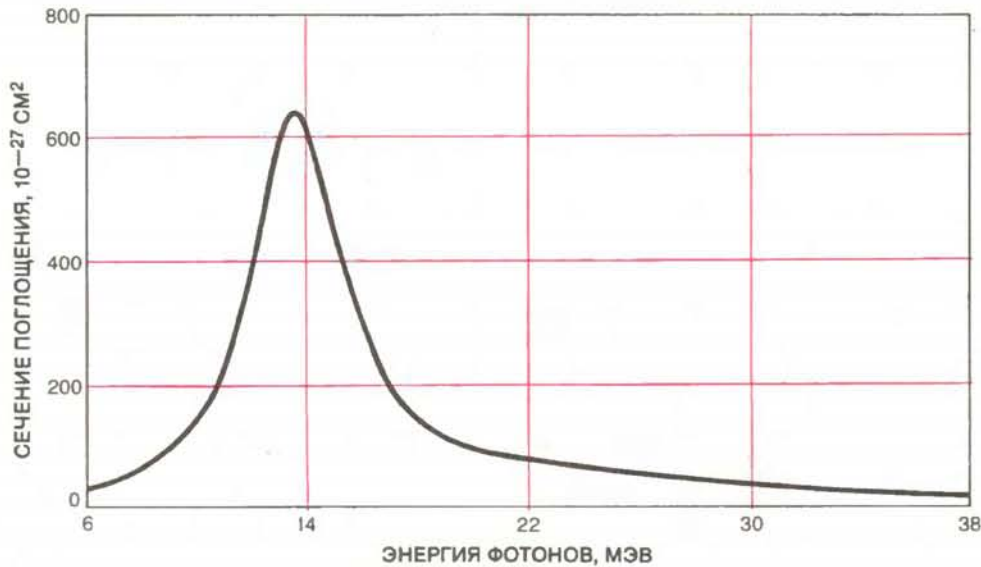
К СЛЕДУЮЩЕМУ из перечисленных выше типов колебаний относится гигантская квадрупольная мода. Квадрупольные колебания в отличие от дипольных являются колебаниями формы, т.е. изменяется как распределение нуклонов, так и форма ядра. Форма ядра искажается: из сферической-симметричной она становится эллипсоидальной и затем, снова через сферическую форму, переходит в эллипсоидальную, но уже по-другому ориентированную. Такое колебание можно вызвать, сжимая ядерную поверхность вдоль одной оси и растягивая ее вдоль другой оси, перпендикулярной первой.

Чтобы возбудить колебания формы, необходимо не только передать ядру определенную энергию, но и распределить ее так, чтобы нуклоны начали двигаться в разных направлениях. Хотя колебательная энергия квадрупольной моды находится в интервале 10 — 20 МэВ (гамма-кванты могут иметь такую энергию), гамма-кванты не возбуждают квадрупольную моду, так как не выполняется второе условие. Гамма-кванты взаимодействуют с ядром посредством электромагнитных сил; они могут ускорять только протоны, причем из-за своей длины волны — только в одном направлении.

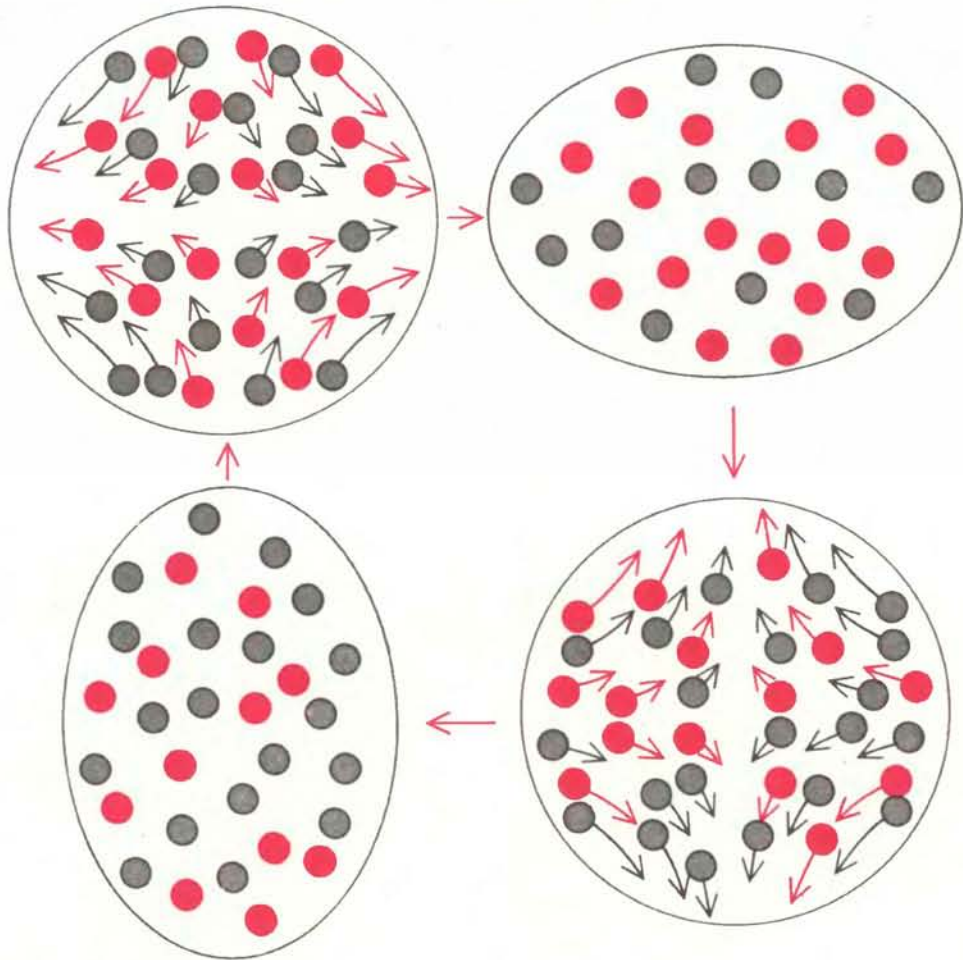
Одним из решений этой проблемы является использование для возбуждения колебаний неупругого рассеяния частиц на ядре, а не процесса полного поглощения. Согласно представлениям классической физики, частица, которая ударяется о большой предмет и отскакивает, может вызвать его вибрацию. Подобное явление может существовать и в квантовомеханической системе. В качестве бомбардирующих частиц для возбуждения ядер могут служить электроны, протоны и более массивные ядерные частицы, например α -частицы (ядра атома гелия-4).

Протоны или α -частицы удобны для возбуждения ядер по нескольким причинам. Главным в их взаимодействии с ядром является сильное ядерное взаимодействие, которое зарядово-симметрично, т.е. одинаково для протонов и нейтронов. Зарядовая симметрия облегчает возбуждение колебаний, подобных квадрупольным, в которых протоны и нейтроны участвуют вместе. Колебания, при которых протоны движутся в сторону, противоположную движению нейтронов (например, дипольные колебания), не возбуждаются зарядово-симметричными силами. Таким образом, чтобы наблюдать квадрупольную моду в условиях, когда дипольная не мешает, лучше использовать сильнодействующие бомбардирующие частицы типа α -частиц, а не электроны, которые взаимодействуют с электрическим полем и могут возбудить оба типа колебаний.

Еще одно преимущество ядерных бомбардирующих частиц состоит в том, что с их помощью можно выборочно возбуждать разные типы колебаний формы. Быстрый протон, пролетающий мимо ядра, сообщает мгновенный импульс ближайшим нуклонам мишени, и они начинают двигаться вслед за ним. По сравнению с размерами ядра область действия ядерных межнуклонных сил мала, поэтому возникает вопрос: как при этом может осуществляться когерентное колебание всего ядра? Чтобы понять причину селективного возбуждения колебаний ядра при рассеянии частиц, необходимо иметь представление об их волновой



ПИК В СЕЧЕНИИ ПОГЛОЩЕНИЯ для ядер свинца доказывает, что они испытывают дипольные колебания. Сечение резко возрастает, когда частота фотонов совпадает с частотой колебаний. Это явление называется резонансным поглощением. Резонанс в ядре свинца возбуждается при энергии фотонов 14 млн. электронвольт (МэВ), что эквивалентно частоте колебаний $3 \cdot 10^{21}$ Гц.



ГИГАНТСКИЕ КВАДРУПОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ можно возбудить, бомбардируя ядра частицами, которые взаимодействуют с протонами и нейтронами одинаково. Как и для дипольной моды, частоту квадрупольных колебаний можно вычислить, зная инерционность системы, восстанавливающую силу и законы классической механики. Инерционность пропорциональна объему ядра, но как описать восстанавливающую силу, не совсем ясно. Восстанавливающая сила, аналогичная силе поверхностного натяжения колеблющейся капли воды, пропорциональна площади поверхности ядра. Если же восстанавливающая сила аналогична энергии сжатия или сопротивления деформации, как у вибрирующего твердого тела, она пропорциональна объему ядра. Экспериментальные данные показывают, что частота квадрупольных колебаний обратно пропорциональна радиусу ядра; это подтверждает второе предположение.

природе. Волновая природа частиц является одной из основ квантовой механики. Протон, пролетающий мимо ядра, можно представить как волну, окружающую ядро. Эта волна так же, как любая другая, подчиняется законам дифракции.

Картина дифракции зависит от характера взаимодействия волны с ядром. Так, световая волна, падающая на черную сферу, образует дифракционную картину, состоящую из колец в центре геометрической тени. Для ядерных бомбардирующих частиц и мишеней дифракционная картина определяется несколькими факторами. Чтобы дифракционная картина была ярко выраженной, волна должна поглощаться во внутренней области ядра. Это означает, что, когда бомбардирующая частица проникает в ядро, она должна взаимодействовать с ним настолько сильно, чтобы не вылетать обратно. Положение колец на дифракционной картине определяется размером ядра, длиной волны бомбардирующей частицы и типом возбуждаемых колебаний.

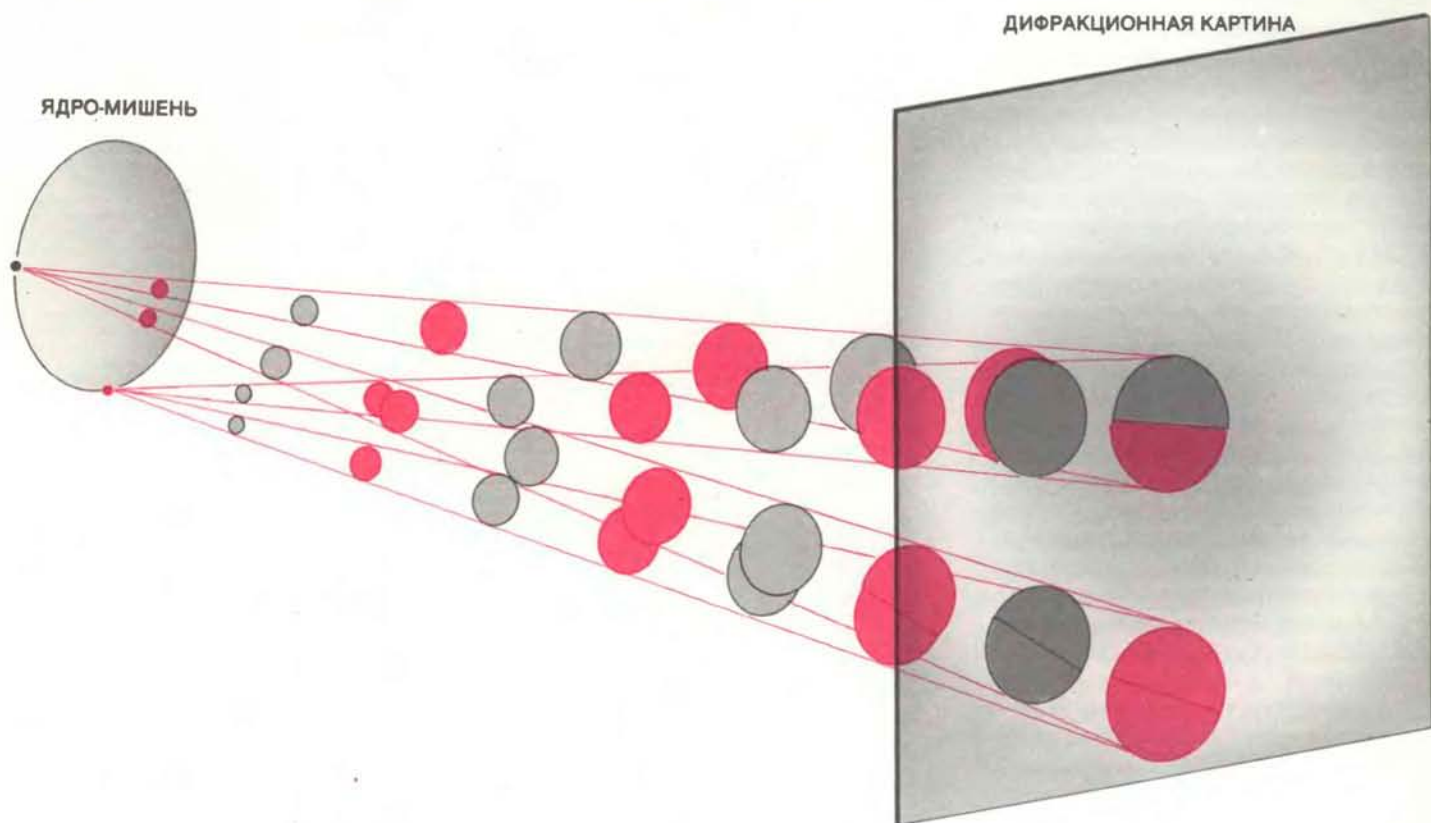
Взаимодействие волны с нуклонами

на поверхности ядра изменяет форму волны. После взаимодействия каждая маленькая область поверхности становится источником маленькой вторичной расходящейся волны. Фаза вторичной волны зависит от характера движения породившего ее участка ядерной поверхности. Вторичные волны от участков, движущихся наружу, имеют одинаковую фазу, противоположную фазе вторичных волн, излучаемых участками поверхности, движущимися внутрь ядра. Так как вторичные волны распространяются от поверхности ядра во внешнее пространство, они перекрываются и интерферируют. Какой будет интерференция волн в данной точке — конструктивной или деструктивной, — зависит от соотношения фаз разных вторичных волн, приходящих в эту точку.

Как возникает дифракционная картина, можно понять, рассмотрев плоскость, расположенную за мишенью перпендикулярно оси пучка бомбардирующих частиц. Если фаза волны не изменилась при прохождении мимо ядра, то фазы вторичных волн, достигших некоторого места на плоскости, будут

полностью определяться расстоянием до него от точки дифракции. Особенно важно, что все вторичные волны, идущие к центру плоскости вдоль оси пучка, в тени ядра, должны пройти одно и то же расстояние и прийти в фазе. В результате конструктивной интерференции появляется яркое пятно (область большой амплитуды волны) в центре плоскости.

Когда волна возбуждает квадрупольное колебание, фазы не остаются прежними. Напротив, вторичные волны, испускаемые растягивающимися областями ядра, с самого начала находятся в противофазе с вторичными волнами от сжимающихся областей. В результате интерференция в центре плоскости получается деструктивной. Но на плоскости есть точки, расстояния до которых от растягивающихся областей отличаются от расстояний до сжимающихся областей ядра ровно на половину длины волны. Вторичные волны приходят в эти точки в фазе и интерферируют конструктивно. Поскольку оси «вдавливающихся» и «выпучивающихся» областей ядра могут иметь любую ориентацию, самая силь-



КАРТИНА ДИФРАКЦИОННЫХ КОЛЕЦ, образованная частицами, которые рассеялись на ядрах мишени, соответствует возбуждению квадрупольных ядерных колебаний. В терминах квантовой механики бомбардирующая частица описывается как плоская волна, искаженная взаимодействием с поверхностью ядра. Взаимодействие волны с нуклонами в направлении вдоль одной оси притягивающее, и в этом направлении поверхность ядра растягивается. В перпендикулярном направлении взаимодействие отталкивательное и поверхность ядра вдавливается. Одиночная плоская волна вызывает появление большого числа маленьких сфериче-

ских волн, которые интерферируют. Волны, которые порождены «вдавливающимися» областями поверхности, находятся в противофазе с волнами от «выпучивающихся» областей. (На рисунке различие фаз изображено разными цветами.) Картина, получающаяся в результате интерференции волн, определяется разностью фаз. Волны, приходящие в любую точку на оси пучка, находятся в противофазе и погашают одна другую. Но вне оси пучка есть точки, в которые волны приходят в фазе и где их интерференция происходит конструктивно.

ная дифракция наблюдается в кольце, центр которого совпадает с осью пучка.

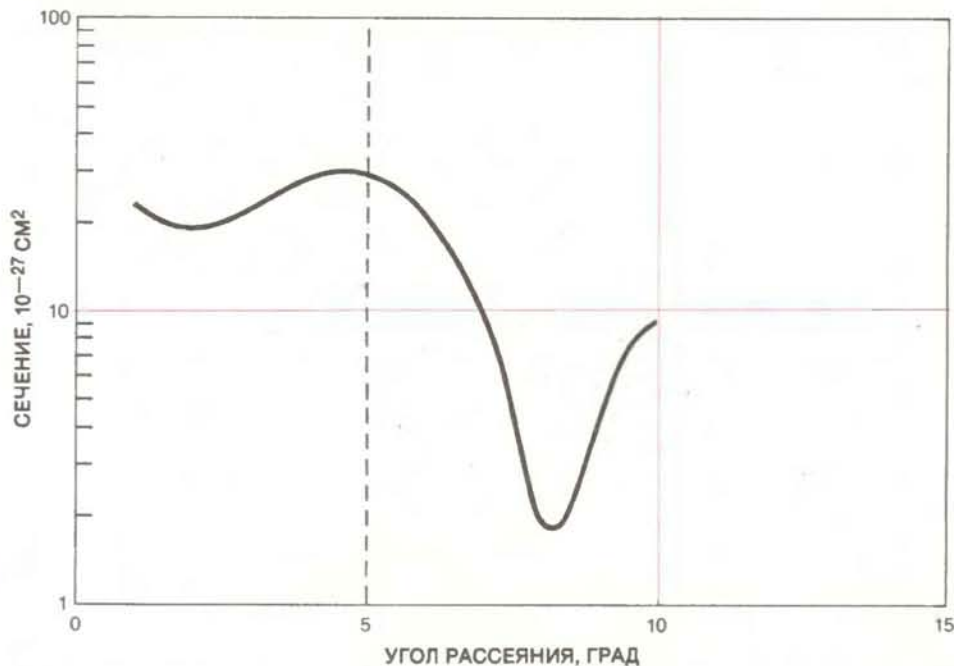
Амплитуда волновой функции частицы в любой точке пространства определяет вероятность обнаружения частицы в этой точке. Следовательно, бомбардирующие частицы с наибольшей вероятностью рассеиваются в области с конструктивной интерференцией, где амплитуда волновой функции наибольшая.

Как и поглощение, неупругое рассеяние можно измерять, используя эффективное поперечное сечение. Даже в отсутствие колебательного резонанса некоторые частицы, бомбардирующие мишень, рассеиваются неупруго. При этом число частиц, рассеянных в данном направлении, медленно изменяется в зависимости от угла между направлением рассеяния и осью пучка. Квадрупольные колебания проявляются в резком возрастании числа частиц, неупругорассеянных в определенном направлении.

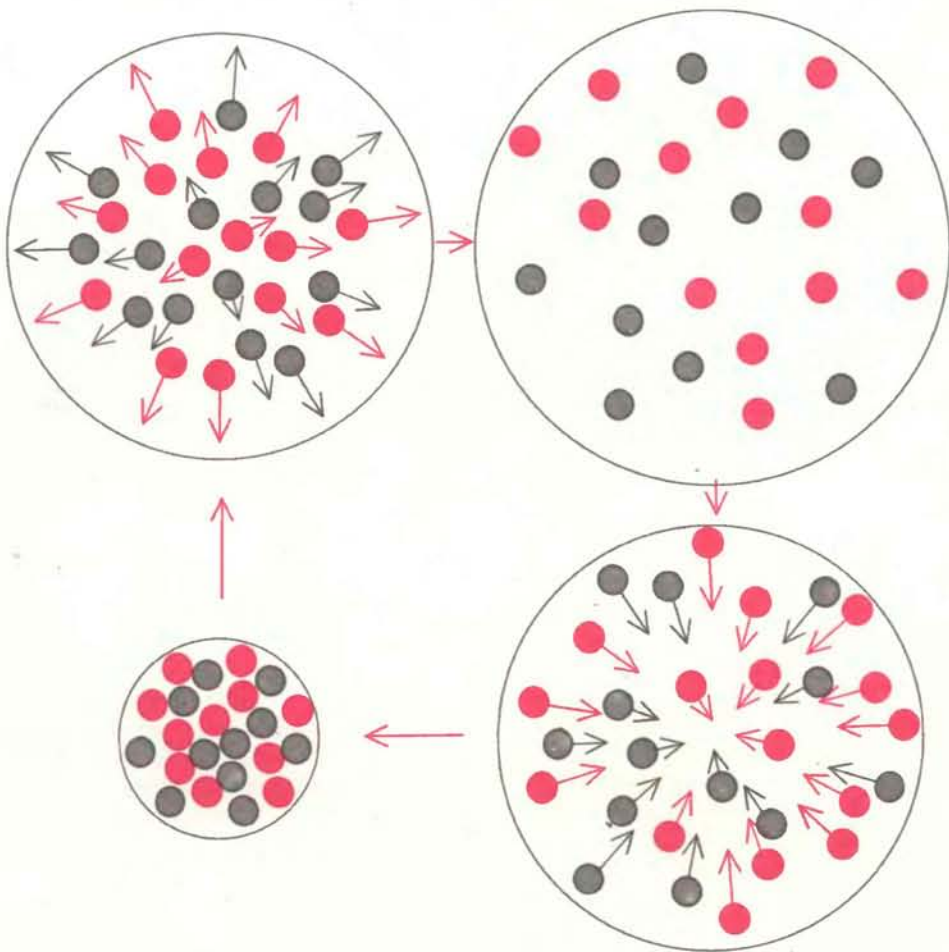
Чтобы рассчитать величину поперечного сечения в зависимости от угла рассеяния, взаимодействие волн с ядром описывают с помощью феноменологической оптической модели. Для точного определения поперечного сечения численно решают соответствующее волновое уравнение. В случае возбуждения квадрупольной моды поперечное сечение достигает максимума при значении угла, которое зависит от размера ядра и длины волны бомбардирующей частицы. Например, для ядер свинца-208, облучаемых α -частицами с энергией 100 МэВ, главный дифракционный пик находится под углом 5° к оси пучка.

ТРЕТЬЯ ядерная колебательная мода, которая уже наблюдалась экспериментально, — гигантский монополюсный резонанс — возбуждается и обнаруживается во многом так же, как и гигантский квадрупольный резонанс. Монополюсные колебания — это «дыхательная» мода: нуклоны движутся в фазе к центру ядра и от центра, так что ядро попеременно расширяется и сжимается. Ясно, что лучший способ вызвать такое движение — одинаково сжать со всех сторон поверхность сферы или, наоборот, растянуть ее по радиусу.

Такие идеальные условия для возбуждения монополюсного колебания нельзя получить с помощью неупругого рассеяния. Когда бомбардирующая частица сталкивается с ядром, она теряет большую часть своей энергии и ядро переходит в высоковозбужденное состояние. Только если бомбардирующая частица слегка касается поверхности ядра, взаимодействие оказывается достаточно слабым, чтобы возбудить простое колебательное движение. Па-



ПРОЦЕНТ ЧАСТИЦ, рассеивающихся под определенным углом к оси пучка, резко возрастает, когда возбуждаются квадрупольные колебания. Изменение сечения в зависимости от угла воспроизводит дифракционную картину, связанную с возбуждением квадрупольной моды. В данном случае мишень, состоящая из изотопа самария-144, бомбардируется α -частицами с энергией 96 МэВ. Предпочтительное возбуждение квадрупольных колебаний происходит, когда угол рассеяния составляет 5° к оси пучка.



ГИГАНТСКИЕ МОНОПОЛЮСНЫЕ КОЛЕБАНИЯ называют также «дыхательной» модой. В модели, основанной на классической механике, восстанавливающей силой является сопротивление ядерного вещества сжатию. Наблюдаемая частота монополюсных колебаний дает коэффициент сжимаемости ядерного вещества.

дающая волна взаимодействует с областью ядерной поверхности, которая имеет форму кольца вокруг оси пучка. Как и для квадрупольного возбуждения, взаимодействие приводит к возникновению большого числа вторичных волн, испускаемых каждой маленькой областью ядерной поверхности. Вторичные волны интерферируют, так как они распространяются наружу от поверхности сферы. Поскольку монополюсное возбуждение полностью симметрично, вторичные волны имеют одинаковую фазу. Следовательно, в точки на оси пучка, из которых расстояние до всех маленьких областей на краю сферы одинаково, вторичные волны приходят в фазе и интерференция в этом случае происходит конструктивно.

Дифракционная картина от частиц, возбуждающих монополюсные колебания, представляет собой яркое пятно с центром на оси пучка, окруженное слабыми по интенсивности кольцами. Другими словами, монополюсные колебания характеризуются максимумом в сечении рассеяния при нулевом угле к оси пучка. Картина во многом такая же, как при рассеянии частиц на ядре, которое не колеблется. Главным образом по этой причине монополюсные колебания было труднее обнаружить

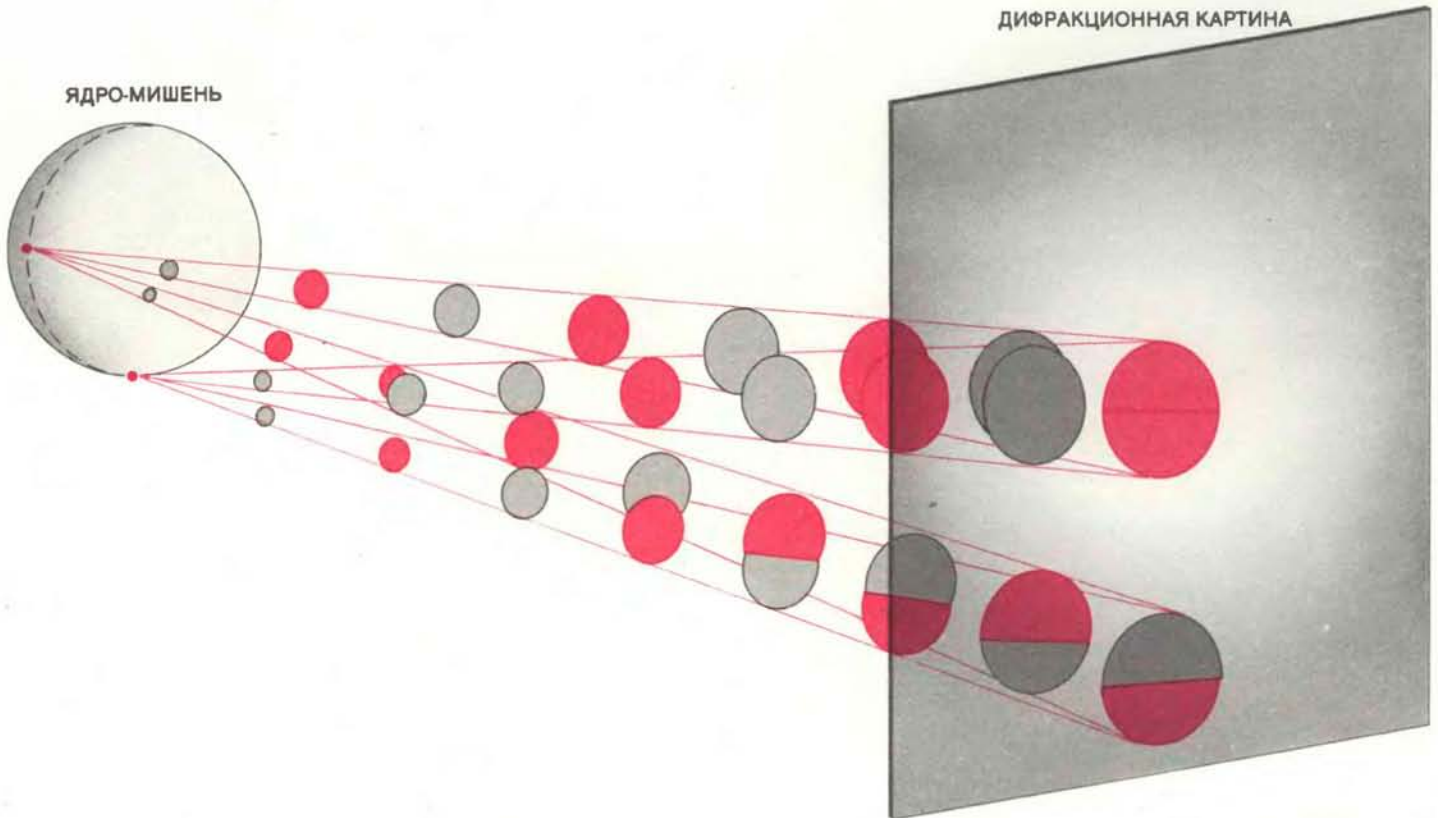
экспериментально, чем квадрупольные. Очень сложно отделить частицы, которые неупруго рассеялись и летят вдоль оси пучка, от частиц, которые прошли через мишень, не взаимодействуя с ядрами. Единственный способ различить эти неупругорассеянные частицы и частицы пучка — это измерить зависимость неупругого рассеяния от энергии.

ТЕПЕРЬ можно вернуться к вопросу о том, почему потребовалось столько времени, чтобы получить экспериментальные доказательства существования квадрупольных и монополюсных колебаний. Грубые предсказания для частот этих колебательных мод были сделаны на основе теоретических моделей ядра за несколько лет до того, как колебания наблюдали в лаборатории. Поэтому физики-экспериментаторы знали заранее, как вести поиск. Им не хватало только оборудования достаточной мощности и чувствительности в сочетании с ускорителями, которые могли бы разогнать бомбардирующие частицы до нужных энергий.

Хотя энергия квадрупольной и монополюсной мод лежит в интервале от 10 до 25 МэВ, энергия бомбардирующих частиц должна быть в несколько раз

больше. Важную роль в решении вопроса о том, могут ли бомбардирующие частицы возбудить ядерные колебания, играет их скорость. Скорость частицы данной массы зависит от ее энергии. Для возбуждения гигантских колебаний потому необходимы частицы высоких энергий, что частицы с низкими энергиями (а значит, и с малыми скоростями) долго взаимодействуют с мишенью и из-за этого начинают более сложные процессы возбуждения. Медленные бомбардирующие частицы могут возбудить колебания, состоящие из нескольких основных мод, или возбудить более сложное движение в ядре, обменявшись с ним нуклонами. Эти процессы не приводят к возникновению дифракционной картины, но дают вклад в фоновое сечение, которое нужно вычесть из экспериментальных данных, прежде чем анализировать колебательные моды.

Высокие энергии бомбардирующих частиц необходимы и по другой причине. Простая дифракционная картина получается только в том случае, если длина волны (а следовательно, и энергия) частицы, возбуждающей ядро, в процессе возбуждения меняется незначительно. Частица, которая возбуждает ядерное колебание, отдает ядру количество энергии, равное энергии этого



ДИФРАКЦИОННАЯ КАРТИНА, связанная с возбуждением монополюсных колебаний, представляет собой пятно на оси пучка. Оно известно под названием пятна Пуассона. В XIX в. С. Д. Пуассон показал математически, что если свет представляет собой волны, то в тени сферы должно быть маленькое яркое пятно. Пуассон выдвинул этот аргумент как доказательство, что свет не может иметь волновой приро-

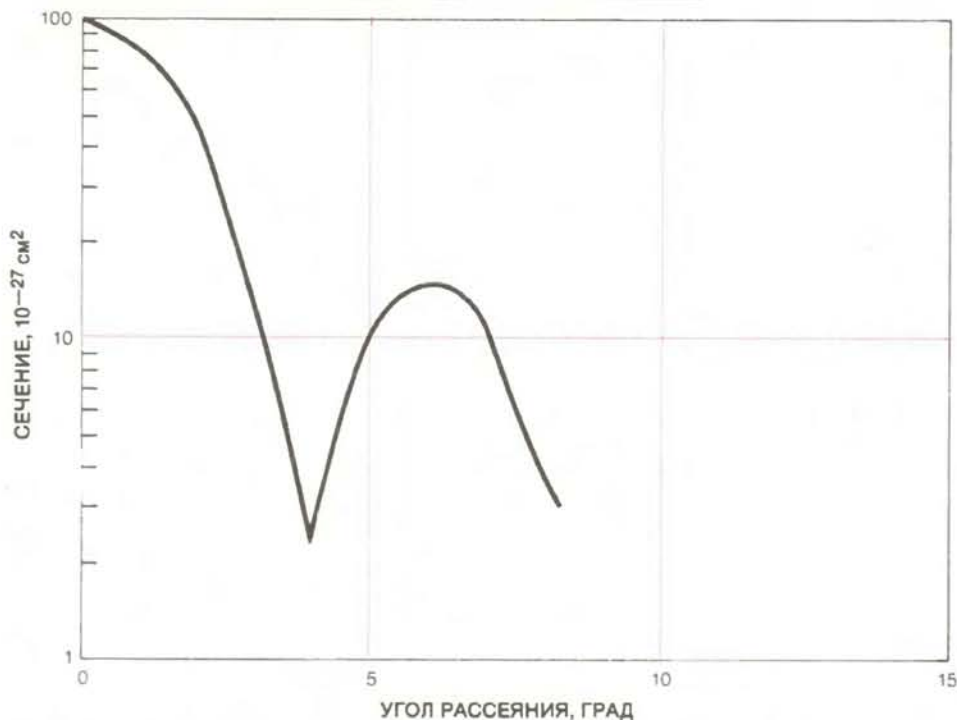
ды, потому что в то время подобных дифракционных картин не наблюдали. Пятно Пуассона образуется при дифракции на диске или сфере, поверхность которых одинаково поглощает свет. Частицы, которые одинаково взаимодействуют со всей поверхностью ядра (именно такие частицы возбуждают монополюсные колебания), дифрагируют, образуя такое же пятно.

колебания. Чем выше начальная энергия частицы, тем незначительнее при этом изменение длины волны. Однако при малых изменениях энергии весьма трудно экспериментально выделить дифрагировавшие частицы из намного большего числа тех частиц, которые не взаимодействовали с ядрами мишени.

Открытие квадрупольных и монополюльных колебаний в 70-х годах произошло благодаря созданию установок, в которых частицы разного сорта ускоряются до энергий выше 50 МэВ, и чувствительных магнитных спектрометров (спектрографов), способных разделять частицы, энергии которых мало различаются. Как только эти устройства стали доступны, одно за другим появились сообщения об обнаружении ядерных колебаний. Гигантские квадрупольные колебания впервые наблюдались в экспериментах по неупругому рассеянию электронов, выполненных в Дармштадте (ФРГ) Р. Питханом и Т. Уолчером, и — с помощью неупругого рассеяния протонов — Ф. Бертрандом и М. Льюисом в Национальной лаборатории в Ок-Ридже (США). Гигантские квадрупольные колебания теперь известны практически для всех типов ядер; их частота меняется обратно пропорционально радиусу ядра, а энергия находится в интервале от 10 до 20 МэВ.

Первые указания на обнаружение «дыхательной» моды были получены Надин Марти и ее коллегами в Институте ядерной физики Парижского университета в Орсе при рассеянии дейтронов. Дифракционный пик при углах рассеяния вперед, который определенно доказывает возбуждение именно монополюльной моды, впервые наблюдался при рассеянии α -частиц в 1977 г. группой ученых из Техасского университета сельского хозяйства и техники, руководимой Д. Янгбладом. Как и у квадрупольной моды, частота монополюльной моды уменьшается при увеличении размера ядра; ее энергия находится в интервале от 15 до 25 МэВ, что несколько больше, чем для квадрупольных колебаний. Гигантские октупольные колебания были обнаружены в 1980 г. в экспериментах по рассеянию протонов с энергией 800 МэВ в Лос-Аламосской научной лаборатории. Октупольная мода имеет энергию, изменяющуюся от 20 МэВ в тяжелых ядрах до 30 МэВ в более легких.

Интересна история теоретических исследований ядерных колебаний и взаимного влияния теории и эксперимента. Теоретические расчеты предсказали ядерные явления, о которых не было экспериментальных данных, и дали физикам некоторые представления о том, где и что искать. Результаты экспериментальных поисков в свою очередь показали, в чем были ошибки упрощенных теоретических моделей ядерных



СЕЧЕНИЕ РАССЕЯНИЯ для ядра, совершающего монополюльные колебания, имеет пик на оси пучка (при угле 0°). График изображает угловое распределение α -частиц, неупругорассеянных ядрами свинца. Монополюльные колебания были обнаружены на семь лет позже, чем квадрупольные, главным образом из-за трудностей при отделении частиц, рассеянных вдоль оси падающего пучка, от частиц, прошедших сквозь мишень без взаимодействия с ядрами.

колебаний, и помогли заложить фундамент более совершенных моделей, основанных на более точных предположениях.

ЧАСТОТА колебаний тела зависит от двух его свойств: инерционности составляющих его частиц (которая определяет, насколько быстро они реагируют на воздействие силы) и восстанавливающей силы (которая препятствует смещению частиц). Чем больше инерционность, тем медленнее колеблется тело, а чем больше восстанавливающая сила, тем выше частота колебаний. Более точно это соотношение выглядит так: квадрат частоты колебаний прямо пропорционален восстанавливающей силе и обратно пропорционален инерционности.

В 1944 г. советский физик А. Б. Мигдал, применив эти простые механические законы к ядру, предсказал частоту дипольных колебаний. Довольно легко построить правдоподобную модель для вычисления инерционности ядра, совершающего дипольные колебания. Если предположить, что во время колебаний все нуклоны движутся с одинаковой скоростью (хотя протоны и нейтроны в разных направлениях), то инерционность ядра будет равна его полной массе. Сложнее обстоит дело с описанием восстанавливающей силы, и именно при этом обычно вносятся упрощения в теоретических моделях. В случае дипольной моды восстанавли-

вающей силой служит сильное притяжение между протонами и нейтронами. Эту силу для колеблющегося ядра можно вычислить на основании данных об энергии связи разных ядер. Ядра, в которых число протонов и нейтронов приблизительно одинаково, имеют самую большую энергию связи (если не учитывать влияние электрического заряда протонов). Модель протон-нейтронного взаимодействия построена так, чтобы описать эти систематические изменения энергии связи ядер в зависимости от их состава. Эта же модель была использована для вычисления восстанавливающей силы, действующей на нуклоны ядра, совершающего дипольные колебания.

Измеренная частота дипольных колебаний прекрасно согласуется с частотой, предсказанной Мигдалом. Но сейчас известно, что для того, чтобы точно рассчитать восстанавливающую силу в случае дипольных колебаний, недостаточно учесть только потенциальную энергию разделенных протонов и нейтронов. Кроме того, инерционная масса ядра не складывается просто из инерционных масс свободных нуклонов. Она чуть меньше той, что предположил Мигдал, поскольку при квантовомеханическом описании протоны и нейтроны оказываются не единственными частицами, присутствующими в ядре. В нем имеются также π -мезоны, или пионы, которые переносят сильное взаимодействие между нуклонами. Пи-

оны намного легче нуклонов, и поэтому они уменьшают среднюю инерционную массу. Но для дипольных колебаний эти расхождения невелики, и предсказания, основанные на расчетах энергии связи, в основном правильны.

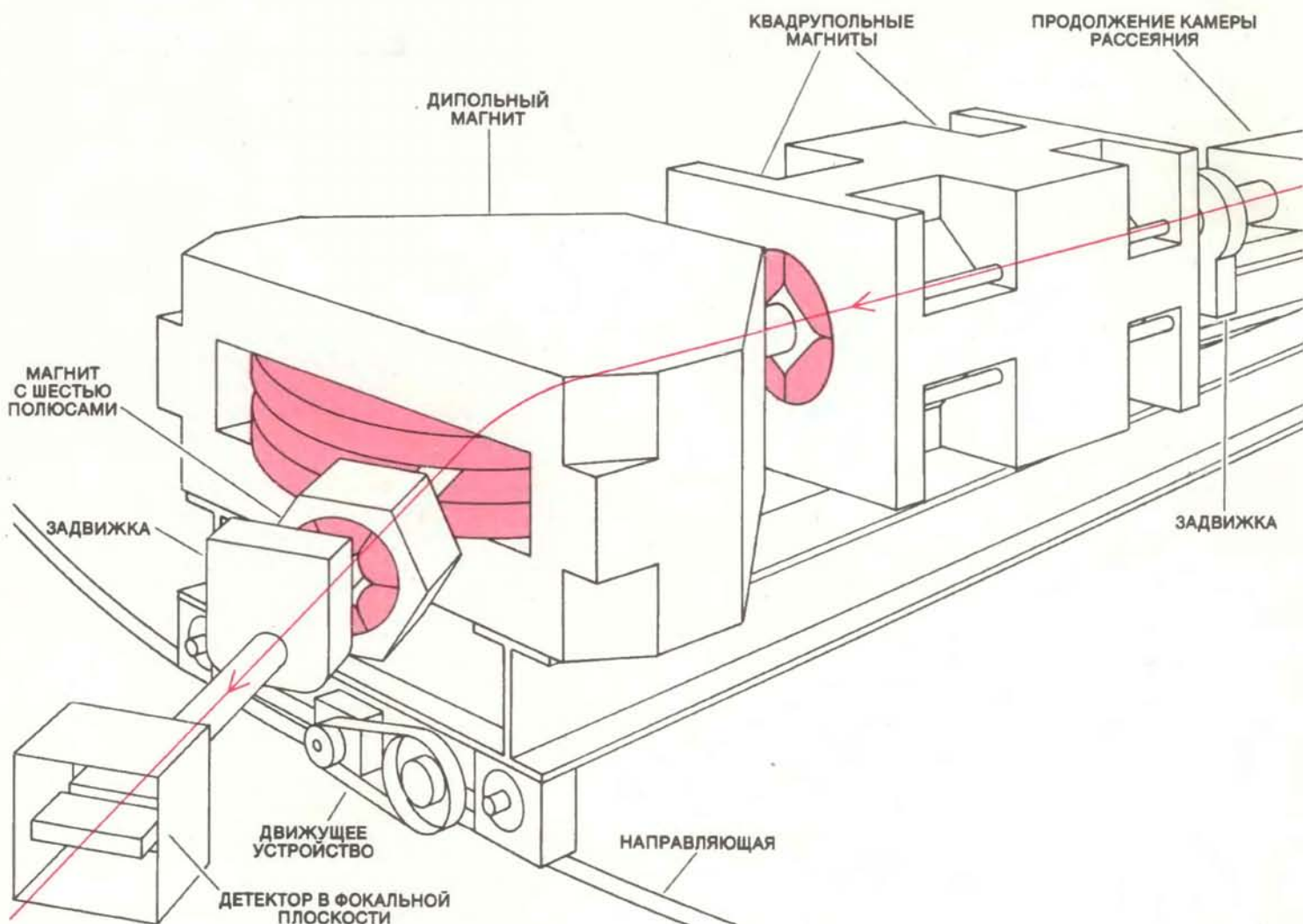
Другая модель ядра — модель жидкой капли — была предложена Нильсом Бором в 1936 г. Бор заметил, что нуклон, находящийся во внутренней области ядра, окружен другими нуклонами со всех сторон и они «тянут» его во все стороны одинаково, так что результирующая сила равна нулю. В то же время у нуклона на поверхности ядра все его соседи находятся по одну сторону и «тянут» его к центру. Этот эффект для поверхностных нуклонов

аналогичен поверхностному натяжению у капли воды. В обоих случаях возникающая сила стремится придать системе сферическую форму.

Частоты колебаний жидкой капли были вычислены Рэлеем в конце прошлого века. В 1952 г. О. Бор (сын Н. Бора) и Б. Моттelson предположили, что модель жидкой капли можно использовать для описания ядерных колебаний типа квадрупольных, когда форма ядра периодически меняется от сферической к деформированной. Для таких колебаний основной восстанавливающей силой должно быть поверхностное натяжение. Поскольку поверхностное натяжение у ядра слабое, Бор и Моттelson пришли к выводу, что

частота квадрупольной моды должна быть низкой. Квадрупольные колебания формы с низкими частотами были обнаружены, но оказалось, что в них участвует всего лишь несколько нуклонов, как правило, меньше 10% их общего числа. Гигантские квадрупольные колебания имеют гораздо более высокую частоту.

Проблема с моделью жидкой капли заключается в том, что нуклоны в ядре движутся вовсе не так свободно, как молекулы в капле жидкости. Нуклоны должны подчиняться принципу исключения Паули, который гласит, что два нуклона не могут иметь точно совпадающие квантовомеханические состояния движения. Из-за этого два протона

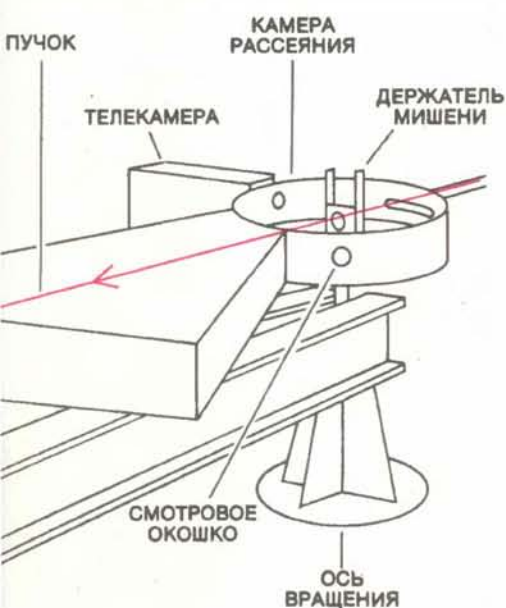


МАГНИТНЫЙ СПЕКТРОГРАФ, усовершенствованный вариант масс-спектрометра, отделяет частицы, которые отдали ядру определенное количество энергии, возбуждив его колебания, от других частиц пучка. Пучок частиц из ускорителя направляется на мишень, представляющую собой тонкую фольгу из исследуемого вещества, установленную в камере рассеяния спектрографа. После взаимодействия с мишенью частицы рассортировываются по энергии диполь-

ным магнитом, который вынуждает их двигаться по круговым траекториям. Частицы больших энергий летят в магнитном поле по более широким дугам, чем частицы низких энергий. Только частицы определенной энергии проходят через магнит в детектор. Квадрупольные магниты фокусируют пучок. Магнит с шестью полюсами исправляет aberrацию фокусировки. В изображенном здесь спектрографе (Мичиганский университет) детектор представляет собой

или два нейтрона, имеющие одинаковую ориентацию спинов, должны двигаться в ядре по разным орбитам и их движение в некоторой степени ограничено.

Чтобы правильно учесть квантовые эффекты, необходима гораздо более тщательно разработанная теория, о которой я расскажу ниже. Эта теория дает довольно простые и весьма неожиданные результаты для гигантских колебаний. Так, она утверждает, что жесткость ядра делает его отклик на внешнее воздействие более похожим на отклик твердого тела, а не жидкости. Восстанавливающая сила для квадрупольных колебаний определяется постоянной упругости ядерной среды.



Для постоянной упругости можно получить оценки с помощью квантовой теории; она пропорциональна кинетической энергии нуклонов на их орбитах. Такие же физические принципы определяют силы, действующие между атомами в твердом теле. Если два атома сблизить друг с другом, возникает сила отталкивания, источником которой, как можно проследить, является возрастающая кинетическая энергия электронов, которая в свою очередь связана с ограничениями принципа Паули. Но ядерное вещество гораздо жестче обычного, потому что нуклоны в ядре имеют намного большую кинетическую энергию, чем электроны в атоме. Зная постоянную упругости ядерного вещества, рассчитанную с помощью квантовой теории, можно вычислить частоту квадрупольных колебаний по формуле для упругих колебаний сферы (которая была получена более ста лет назад английским физиком А. Лавом).

Огромная жесткость ядерного вещества однозначно указывает, что ядерные квадрупольные колебания должны иметь высокую частоту. Как же тогда понять похожее на них квадрупольное движение, в котором участвует лишь небольшая часть нуклонов ядра? Если возмущение, возбуждающее ядерные колебания, достаточно медленное, то относительно легко перевести несколько нуклонов на пустые орбиты с близкой энергией. Принцип Паули не запрещает такой переход, и ядро в этом случае ведет себя подобно жидкости. Но когда с ядром сталкивается частица, имеющая большую скорость, у него нет времени на внутреннюю перестройку и возбуждаются гигантские колебания.

Частоту монополярных колебаний также можно вычислить с помощью простой модели, в которой рассматриваются только инерционность нуклонов и главная восстанавливающая сила. В данном случае восстанавливающая сила возникает из-за сопротивления ядерного вещества сжатию. (При «дыхательном» движении в процессе монополярного колебания плотность ядерного вещества то увеличивается, то уменьшается.) «Дыхательная» модель была предложена задолго до того, как были выполнены квантовые расчеты для монополярных колебаний. Позже теория среднего поля подтвердила правильность использования сил, основанных на сжимаемости ядерного вещества. Однако надежно вычислить коэффициент сжимаемости или измерить его каким-либо другим образом невозможно. Только наблюдение монополярных колебаний ядра обеспечивает непосредственную информацию о сжимаемости ядерного вещества. Тем замечательнее, что значение коэффициента, полученное из «дыхательной» модели и наблюдаемой частоты моно-

полярных колебаний, получило подтверждение в совершенно другой области физики.

Когда массивная звезда заканчивает свою жизнь, нарушается баланс сжимающих ее гравитационных сил и направленного наружу давления горячих газов, рождающихся в ядерных реакциях. Звезда начинает коллапсировать. Гравитация сжимает середину звезды до плотности ядерного вещества, и в этот момент его огромное сопротивление сжатию начинает противодействовать гравитационному коллапсу. В зависимости от сжимаемости ядерного вещества (наряду с другими причинами) коллапс может продолжаться вплоть до образования черной дыры или может быть остановлен движущейся наружу ударной волной, которая срывает внешние слои звездной оболочки во время взрыва сверхновой. В центре взрыва остается плотная нейтронная звезда. Максимальная масса такой звезды непосредственно зависит от коэффициента сжимаемости. Массы известных нейтронных звезд и коэффициент сжимаемости, вычисленный на основе данных о монополярных колебаниях ядер, хорошо согласуются.

Точная теория ядерной структуры (в противоположность моделям) должна детально определять силы, действующие на каждый нуклон со стороны всех других нуклонов. В ядре среднего размера, например в кислороде-16, следует принимать во внимание 120 двухнуклонных связей. Согласно квантовой механике, все возможные конфигурации нуклонов надо рассматривать одновременно и каждой конфигурации следует приписать некоторую амплитуду в квантовом волновом уравнении. При описании невозбужденного ядра относительные амплитуды не зависят от времени, но при колебаниях они, конечно, будут изменяться во времени. В любом случае описать систему таким способом математически невозможно. Оболочечная модель ядра предлагает упрощенное описание. Это приближенная модель, которая тем не менее принимает во внимание большую часть квантовых эффектов и оказывается достаточно точной при объяснении многих ядерных свойств. В оболочечной модели не вычисляются все взаимодействия отдельных нуклонов друг с другом, а определяется одночастичный потенциал, или среднее силовое поле, которое описывает общее действие всех частиц на любую данную частицу. Квантовое волновое уравнение решается последовательно для каждой частицы в этом общем потенциале.

При этом возникает проблема выбора подходящего потенциала. Отправной точкой является распределение частиц в невозбужденном ядре; суммируя по-

многопроволочную газовую ионизационную камеру. Выбитые из атомов электроны притягиваются к ближайшим точкам на ряде параллельных проволок в камере детектора. Ток, индуцированный в проволоках, регистрируют и определяют положение частицы.

ля, связанные с каждым отдельным нуклоном, получают приближенный общий потенциал. Следующий шаг — изменение волновых функций отдельных частиц в соответствии с определенным ранее потенциалом. Последовательными приближениями находят потенциал и набор волновых функций частиц, которые взаимно согласованы. Этот метод был предложен Д. Хартри* для описания движения электронов в атоме и оказался очень полезным в ядерной физике; он лежит в основе оболочечной модели ядра. В обычной оболочечной модели зависимость от времени не рассматривается, но ее легко можно ввести в потенциал среднего поля для того, чтобы описывать колебания.

Теория среднего поля с зависимостью от времени была впервые использована для описания ядерных колеба-

* В развитие метода, предложенного Д. Хартри, существенный вклад внес советский физик-теоретик академик В. А. Фок. Именно метод Хартри — Фока широко используется в атомной и ядерной физике. — *Прим. перев.*

ний в 60-х годах. Изменение потенциала, вызванное внешней силой, вычисляется на основе изменений в распределении нуклонов в течение колебательного цикла. Для достижения точного описания поля снова используется повторяющаяся процедура. Потенциал, действующий на нуклоны, вычисляют, исходя из их собственного движения. Окончательный результат для поля в свою очередь служит для уточнения начальных волновых функций, которые задают новый приближенный потенциал. В конечном счете находят набор волновых функций, который позволяет рассчитать как распределение частиц, так и потенциальное поле для последовательных моментов колебательного цикла. Для колебаний малой амплитуды эту процедуру можно упростить.

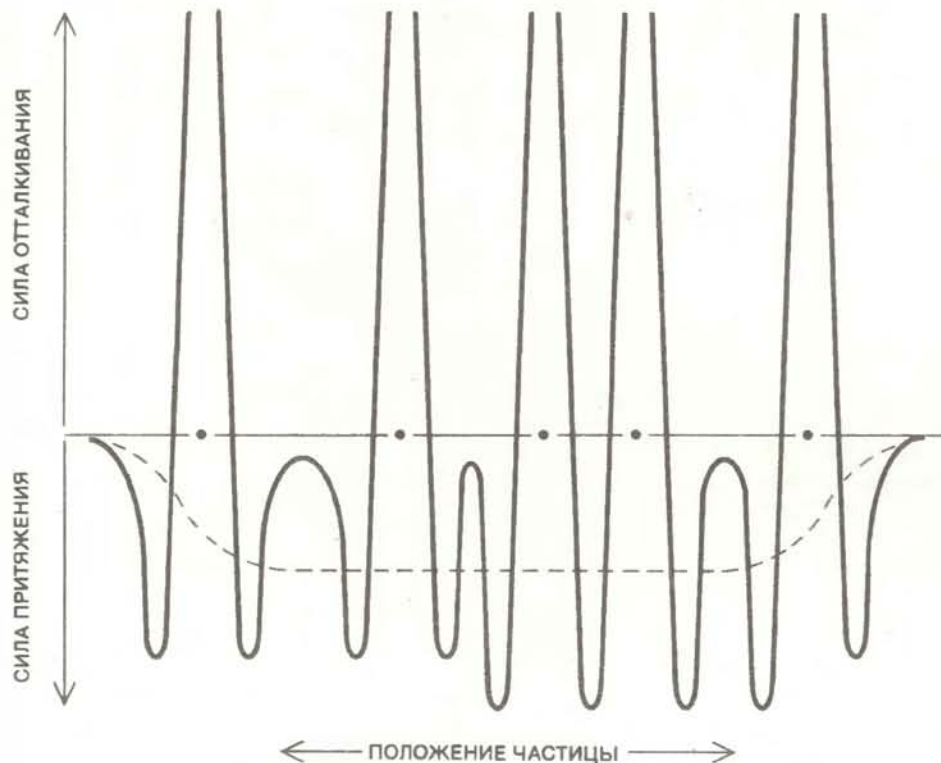
В течение последних 10 лет теоретическое изучение колебаний атомных ядер проводилось на основе теории среднего поля, а не упрощенных ядерных моделей. В 1952 г. Моттelson предсказал частоту квадрупольных колебаний на основе модели жидкой кап-

ли. Как я уже указывал, предсказанная частота оказалась слишком низкой. В 1969 г. Моттelson вычислил частоту таких же колебаний на основе теории среднего поля. Квадрупольные колебания были обнаружены экспериментально только в 1971 г.; их частота совпала со вторым предсказанием.

ДИПОЛЬНЫЕ, квадрупольные и м-нополюсные колебания искажают геометрическую форму ядра и имеют очевидную аналогию с колебаниями обычных макроскопических тел. Спиновые колебания совершенно другого типа. Спин — квантовое свойство частиц, и в этом случае нельзя найти аналогию с макроскопическими системами. Спиновые колебания отличаются от колебаний формы тем, что при них протонное распределение нуклонов может оставаться неизменным и во времени изменяется только ориентация спинов. Когда движение в пространстве «заморожено», ограничения из-за принципа Паули проявляются сильнее и в спиновых колебаниях участвует лишь несколько нуклонов. В возбужденном ядре почти все спины связаны в пары; при возбуждении спины некоторых нуклонов отклоняются от первоначального направления и начинают прецессировать. Возбудить прецессию спинов и обнаружить ее экспериментально можно несколькими способами. Со спином нуклона связан магнитный момент, который может взаимодействовать с электромагнитным полем. Следовательно, поглощение фотонов и рассеяние электронов являются подходящими способами изучения спиновых свойств ядер.

Есть и другие поля, которые взаимодействуют с нуклонными спинами. Одно из них — поле π -мезонов. Когда пион поглощается нуклоном, он изменяет ориентацию спина. Каждый нуклон окружен пионным полем, так что бомбардирующий нуклон также может вызвать спиновые колебания. Со спином взаимодействует и слабое поле, которое переносится недавно обнаруженной W -частицей. Слабое поле ответственно за β -распад — один из процессов, играющих главную роль в образовании стабильных элементов. При β -распаде протон превращается в нейтрон (и наоборот); при этом обычно спин превращающейся частицы переориентируется.

Одним из лучших экспериментальных способов изучения спиновых колебаний является неупругое рассеяние на ядерной мишени протонов высокой энергии. Пионное поле протона взаимодействует с нуклонами мишени и определяет основные черты взаимодействия. Если пион, которым обмениваются бомбардирующая частица и мишень, нейтрален, их заряды не изменяются и столкновение происходит как



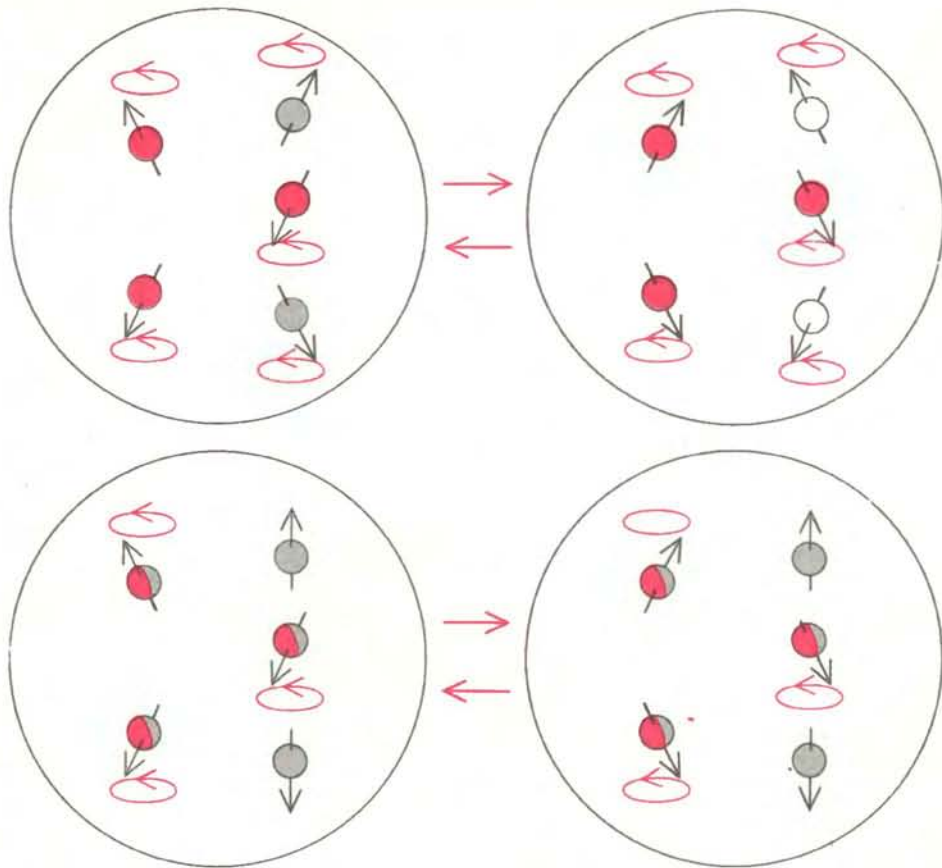
КВАНТОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, которую называют моделью среднего поля, лучше объясняет ядерные колебания, чем модели, основанные на представлениях классической механики. Сила, действующая на какой-то нуклон ядра со стороны всех других нуклонов, сильно флуктуирует. Вычислить путь нуклона в таком поле невозможно — оно не только очень сложно, но и очень быстро изменяется во времени, поскольку движутся нуклоны, которые его создают. Модель среднего поля упрощает задачу, постулируя, что поле изменяется медленно; оно представляет собой среднее всех флуктуаций реального поля. Приближенное среднее поле вычисляют, исходя из движения частиц. Затем снова рассчитывают движение частиц в новом, улучшенном поле. Так последовательными приближениями получают изменяющееся поле, которое соответствует изменяющемуся распределению нуклонов в колеблющемся ядре. Изображенное на рисунке поле соответствует одномерному ряду нуклонов; в действительности распределение, конечно, трехмерно.

обычное неупругое рассеяние. Возможен также обмен заряженным пионом. В этом случае меняется и заряд частицы, и заряд мишени. Бомбардирующий протон превращается в нейтрон, а в мишени один из нейтронов превращается в протон. Несмотря на обмен зарядом, угловое распределение частиц рассеянного пучка определяют те же дифракционные эффекты. Простейшее из возможных спиновых колебаний, однородное по всей поверхности ядра, дает дифракционную картину с пиком при угле 0° , точно такую же, как гигантские монополюсные колебания.

Зарядово-обменные спиновые колебания называют гигантским резонансом Гамова — Теллера (это связано с тем, что β -переход с переворотом спина был впервые объяснен Г. Гамовым и Э. Теллером). Гигантский резонанс Гамова — Теллера первым наблюдал в 1976 г. Р. Доэринг (в то время аспирант Мичиганского университета). Энергия протонного пучка была довольно низкой, и направленный вперед пик почти невозможно было выделить на фоне нейтронов, возникающих за счет сложных взаимодействий с мишенью. Позднее в экспериментах, выполненных на циклотроне Университета шт. Индиана с пучками протонов более высоких энергий, получили дифракционную картину, в которой фон был сильно снижен, что позволило точнее измерить характеристики колебаний; их энергия находится в интервале от 10 до 15 МэВ.

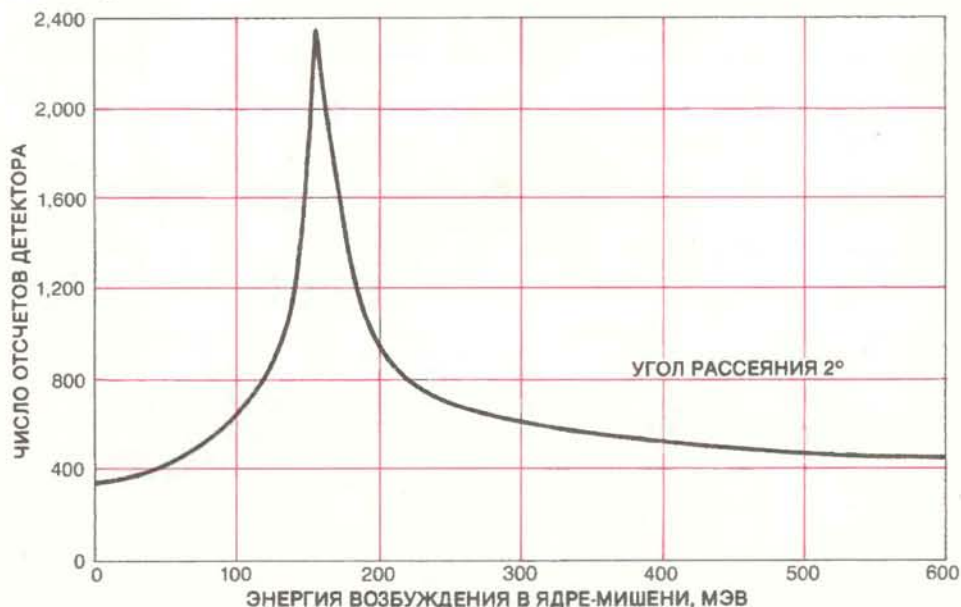
Измеренные энергии спиновых колебаний следует сравнить с теоретическими предсказаниями, чтобы проверить, правильно ли мы понимаем спиновые взаимодействия. Классических моделей для спиновых колебаний нет, но можно использовать теорию среднего поля. Предсказания хорошо согласуются с измерениями, так что теоретические представления о спиновых взаимодействиях, основанные на пионных полях нуклонов в ядре, в общем правильны. Помимо теоретических соображений на существование резонанса Гамова — Теллера давно указывали косвенные экспериментальные данные. Вероятности переходов при β -распаде в целом оказываются намного меньше, чем это следует из оболочечной модели, т.е. число спинов, прецессирующих с низкой частотой, мало. Отсюда можно заключить, что спиновые взаимодействия вызывают высокочастотную прецессию — гигантские колебания.

Последний тип колебаний, о котором я расскажу, — это магнитный дипольный резонанс, во многом похожий на резонанс Гамова — Теллера. Основное различие состоит в том, что при магнитных колебаниях число протонов и нейтронов не меняется, просто спин протона отклоняется в сторону,



- ПРОТОН
- НЕЙТРОН
- ПРОТОН, ПРЕВРАТИВШИЙСЯ В НЕЙТРОН

ГИГАНТСКИЕ СПИНОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ представляют собой согласованную прецессию нуклонных спинов. При гигантском магнитном дипольном резонансе (*вверху*) протоны и нейтроны отклоняются в противоположных направлениях, их спины прецессируют в противофазе. В результате согласованной прецессии части нуклонов ядро приобретает результирующий спин и магнитный момент. При резонансе Гамова — Теллера (*внизу*) протон превращается в нейтрон.



СЕЧЕНИЕ РАССЕЯНИЯ при возбуждении гигантских спиновых колебаний во многом похоже на сечение для гигантских монополюсных колебаний; оно имеет пик под углом к оси пучка, близким к нулю. Различие состоит в том, что бомбардирующий протон при возбуждении колебания обменялся зарядом с нейтроном ядра-мишени и рассеянная частица теперь нейтрон, а не протон. В данном случае протоны с энергией 160 МэВ возбуждают гигантские спиновые колебания ядер свинца, а рассеянный пучок состоит из нейтронов с энергией 146 МэВ. Так как нейтроны не имеют заряда, их легко отделить от протонов и вести измерения в направлении пучка. Вместо энергии определяют их скорость, измерив время пролета до детектора, расположенного на расстоянии 100 м от мишени.

противоположную спину нейтрона. Так как магнитные моменты протонов и нейтронов имеют противоположные знаки, общий магнитный момент при такой конфигурации достигает максимального значения. Как это следует и из названия колебаний, картина магнитного поля получается двухполюсной.

Сравнительно несложно изучать свойства магнитных возбуждений легких ядер, потому что структура магнитных колебаний очень проста, когда система состоит из малого числа нуклонов. В зависимости от ядра и степени объединения нуклонов в пары можно наблюдать ярко выраженные магнитные колебания. Но до самого недавнего времени очень мало было известно о магнитных возбуждениях тяжелых ядер, несмотря на длительный поиск магнитного дипольного резонанса. Это положение изменилось в 1981 г., когда магнитный дипольный резонанс был обнаружен в ядре циркония-90 с помощью неупругого рассеяния протонов. Эксперимент был выполнен в Орэс с протонами, имевшими энергию 200 МэВ. Спектрограф, который использовался в эксперименте, мог регистрировать неупругорассеянные частицы под углом 2° к оси пучка. Энергия возбуждения магнитного дипольного резонанса изменяется от 8 МэВ в тяжелых ядрах до 15 МэВ в легких.

Одно из интересных свойств резонанса Гамова — Теллера и магнитного дипольного резонанса в тяжелых ядрах заключается в том, что в них участвует только треть предполагаемого числа нуклонов. Это одна из причин, по которым было так трудно обнаружить магнитный дипольный резонанс. Ослабление спиновых колебаний заставило физиков-ядерщиков изучать ядерные колебания на более глубоком уровне. Протоны и нейтроны не считаются больше элементарными частицами — они представляют собой составные объекты, образованные фундаментальными частицами, которые называют кварками. Любые изменения, затрагивающие нуклонный спин, влекут за собой некоторые изменения в движении кварков. Спины кварков взаимодействуют гораздо сильнее, чем спины нуклонов, и у системы появляется стремление прерываться с очень высокой частотой. Поэтому предполагаемое число спинов, колеблющихся с низкой частотой, уменьшается.

Ослабление колебаний Гамова — Теллера имеет далеко идущие следствия для астрофизики, в частности для теории сверхновых звезд. Во время коллапса звезды ядра в ее сердцевине испытывают обратный β -распад, при котором протон, электрон и антинейтрино, соединяясь, образуют нейтрон. Количество энергии, которое может

пойти на сбрасывание внешних слоев звездного вещества, оказывается пропорциональным числу ядер, которые участвуют в этом процессе. Поскольку такие ядра нельзя изучить в лаборатории, приходится полагаться на теорию спиновых колебаний в поисках правильного понимания взрывов звезд.

Модели и теория среднего поля успешно объяснили частоты ядерных колебаний, но они пока не объяснили другого их важного свойства — затухания колебаний, уменьшения их амплитуды и окончательного исчезновения. Экспериментально затухание проявляется как уширение резонансного пика при измерении частоты колебания. Зная ширину резонанса (порядка 4 МэВ для типичных дипольных и квадрупольных колебаний), можно вычислить, что ядро совершает около трех полных циклов колебаний, прежде чем движение затухнет полностью.

Механизм, который приводит к затуханию, пока плохо понят. Столкновения нуклонов должны быстро подавить коллективное движение, но принцип Паули несколько ограничивает вероятности таких столкновений. Если бы столкновения были частыми, теория среднего поля не была бы столь эффективной. Другая возможность заключается в том, что вибрационное движение связано с более сложными видами движения в ядре. Однако теория среднего поля не учитывает сложное, несогласованное движение нуклонов, которое проявляется как фон при измерении сечений рассеяния. Вопрос о затухании вибрационного движения и поиски теоретических моделей, которые могут рассматривать более сложные ядерные движения, находятся сейчас в числе наиболее активно разрабатываемых проблем современной физики.

Издательство МИР предлагает:

АНОРГАНИКУМ

В 2-х томах, 4-х частях

Перевод с немецкого

Под. ред. Л. Кольдлица

Книга из серии учебных лабораторных руководств типа «Органикум» (М.: Мир, 1979) и «Аналитикум» (в русском издании «Руководство по аналитической химии». — М.: Мир, 1975), выдержавшая в ГДР 11 изданий. В книге объединены теоретические основы исследования неорганических веществ и лабораторный практикум. Такое объединение позволяет излагать практическую химию с позиций физической химии как основы, необходимой для понимания любых химических процессов. Этим же достигается более тесная взаимосвязь практики с теоретическими положениями.

Для студентов и преподавателей высших и средних химических и химико-технологических учебных заведений.

1984, 75 л. Цена 5 р. 20 к. за комплект.

ЦЕНТР ГАЛАКТИКИ

Перевод с английского

Основными структурными элементами Вселенной являются галактики — гигантские звездные системы, нередко имеющие сложное строение, включающее ветви и во многом загадочные ядра, расположенные в центре. Поэтому всестороннее изучение центральных областей нашей собственной Галактики имеет большое научное значение. В коллективной монографии собран богатейший материал исследований центра Галактики, полученный при наблюдениях во всем диапазоне электромагнитных волн посредством мощных инструментов в том числе вынесенных в космос.

Для астрономов, физиков — наблюдателей, экспериментаторов, теоретиков, а также лиц, планирующих и осуществляющих космические эксперименты, и будет интересна студентам старших курсов соответствующих специальностей.

1984, 28 л. Цена 4 р. 50 к.



Наука и общество

Генная вакцина против малярии

МОНОКЛОНАЛЬНЫЕ антитела и клонирование рекомбинантных ДНК — вот те два новых мощных метода молекулярной биологии, которые сделали принципиально возможной разработку вакцины против малярии. Ее производство и проверка начнутся, вероятно, только через несколько лет. Отчасти это объясняется трениями между фирмой, которая должна производить вакцину, и международным агентством, участвовавшим в финансировании исследований.

После второй мировой войны появились ДДТ и новые специфические препараты против малярийного плазмодия и была надежда заставить малярию отступить. Некоторого успеха удалось достичь, но ненадолго. Сейчас заболеваемость малярией и смертность от нее вновь возросли. Опрыскивание анофелегенных водоемов и обеспечение лекарствами застопорились в отсталых районах земного шара, особенно в тропической Африке, а ведь там малярия является эндемичным заболеванием и каждый год уносит жизни миллионов детей.

Идеальным оружием была бы вакцина против малярии, но плазмодий оказался для иммунологов крепким орешком. У людей малярию вызывают четыре вида плазмодия, и каждому из них свойствен свой набор антигенов. Антигены варьируют и в пределах одного и того же вида. Мало того, плазмодий проявляет разные наборы антигенов на разных морфологических стадиях своего сложного жизненного цикла со сменой хозяев. С укусом комара в организм жертвы попадают спорозоиты; они поражают клетки печени, где делятся с образованием множества мелких мерозоитов. Мерозоит проникает в красную кровяную клетку, растет и развивается, проходя ряд стадий, и наконец делится на 12 — 24 новых мерозоита. Клетка разрывается, и они выходят в кровотоки с тем, чтобы проникнуть в другие клетки. Часть мерозоитов развивается в гаметоциты, которые с кровью могут попасть в другого комара, когда он кусает носителя плазмодия. В новой жертве начинается новый цикл развития плазмодия; так болезнь распространяется.

Ослабленных или убитых паразитов нельзя использовать в качестве активного начала вакцины по причине многообразия форм паразита и непостоянства его антигенов. Последнее время многие пытаются разработать вакцину на основе такого антигена, который бы играл в инфекции важную роль и, значит, не был бы изменчив. Вот уже не-

сколько лет в этом направлении ведут исследования Рут и Виктор Нюссенцвейг из Медицинской школы Нью-Йоркского университета и их коллеги. Из спорозоитов, вызывающих различные виды малярии у человека и животных, они выделили поверхностный белок, который нужен для инфекции. Его состав по существу одинаков у всех видов плазмодия. Путем слияния клеток, продуцирующих специфические антитела, с клетками опухоли миеломы были получены клетки гибридомы, секретирующей моноклональные антитела против поверхностного белка спорозонта. Если ввести эти антитела шимпанзе, они создадут пассивный иммунитет, стало быть, вполне вероятно, что поверхностный белок спорозонтов может выступать как эффективный антиген.

Для проверки вакцины требуется довольно много белка спорозонтов. Чтобы получить такое количество белка, нужно отпрепарировать миллионы слюнных желез комаров, затем выделить из них спорозонты и, наконец, выделить и очистить поверхностный белок. Альтернативный подход состоит в том, что, выявив ген, кодирующий белок, можно ввести его в клетки *Escherichia coli* и таким образом получить бактерии, производящие белок. Именно это и сделали Дж. Годсон и его ученики Дж. Эллис и Л. Озаки (Нью-Йоркский университет)

Метод Годсона, который он подробно описал в статье, опубликованной в журнале «Nature», основан на использовании моноклональных антител, полученных Рут и Виктором Нюссенцвейг. Из комаров, зараженных *Plasmodium knowlesi*, который вызывает малярию у обезьян, Годсон экстрагировал матричную РНК. На этой РНК синтезировали ДНК, которую затем разрезали на множество коротких фрагментов и каждый фрагмент встроили в плазмиду. Плазмиды служат переносчиками генетических элементов при клонировании генов. Каждую плазмиду ввели в клетку *E. coli*. Чтобы выявить бактерии, синтезирующие поверхностный белок *P. knowlesi* и, следовательно, несущие в плазмиде соответствующий ген, Годсон обработал каждую колонию бактерий моноклональными антителами к этому белку. После того как он нашел такие бактерии, осталось размножить их плазмиду и показать, что она действительно несет ген нужного белка. Наконец, синтезированный бактериями белок инъецировали обезьянам, и у них возник иммунитет к малярии.

При наличии гена белка *P. knowlesi*, нетрудно было бы получить ген аналогичного белка другого вида плазмодия,

P. falciparum (который вызывает летальную форму малярии у человека), поскольку эти гены должны быть очень похожи. Такая работа ведется сейчас в Нью-Йоркском университете. Университет оформил патент и ведет переговоры о продаже лицензии фирме Genentech, Inc., которая специализируется на технологиях рекомбинантных ДНК и должна будет разрабатывать, проверять, производить и продавать вакцину. Весь доход университета от этой сделки пойдет на финансирование исследований по тропической медицине.

Однако лицензионное положение должно еще получить одобрение тех общественных организаций, которые участвовали в субсидировании исследований. Одна из них — Всемирная организация здравоохранения — оспаривает предоставление Genentech исключительного права на продажу, без которого фирма не соглашается разрабатывать вакцину. Вероятно, ВОЗ беспокоит не столько финансовые аспекты соглашения, сколько то, что Genentech, получив все права на вакцину, может не выпустить ее на рынок. Опасения не напрасны: к сожалению, довольно часто лекарства, исключительно важные для развивающихся стран, недоступны им из-за того, что в развитых странах для этих лекарств нет прибыльного рынка.

Издательство
МИР
предлагает:

**МИКРОКОМПЬЮТЕРНЫЕ
МЕДИЦИНСКИЕ
СИСТЕМЫ.**

**Проектирование
и применения**

Под редакцией У. Томпкинса
Перевод с английского

Одна из первых монографий, посвященных проектированию автоматизированных медицинских систем на основе микро-ЭВМ. Рассматриваются принципы создания и эксплуатации таких систем, особое внимание уделяется методам фильтрации биомедицинских сигналов. На многочисленных примерах демонстрируется использование систем в клинических исследованиях.

1983, 37 л. Цена 4 р.



Микротельца живой клетки

Субклеточные органеллы на первый взгляд похожи между собой. На самом деле в клетках есть несколько разных типов органелл, для каждого из которых характерен свой набор ферментов, выполняющих разнообразные функции в обмене веществ

КРИСТИАН ДЕ ДЮВ

В НАЧАЛЕ 50-х годов в Королевском институте (Стокгольм, Швеция), в лаборатории одного из пионеров электронной микроскопии, Фритьофа Шёстранда, студент-дипломник И. Родин (сейчас он работает в Медицинском колледже Университета Южной Флориды) занимался изучением почечных клеток мышей. Ему удалось увидеть в них до тех пор никому не известные небольшие органеллы около 0,5 мкм в диаметре, тонкозернистое внутреннее содержимое которых ограничивала однослойная мембрана. Необычный вид этих образований поразил молодого исследователя, и, ничего не зная ни об их строении, ни о свойствах, чтобы как-то осмысленно назвать новый тип органелл, Родин назвал их просто микротельцами. Вскоре сходные по строению органеллы были обнаружены в клетках печени; у многих из них центральная часть имела более плотное, квазикристаллическое строение. Природа и функциональная роль таинственных микротельцев долгое время оставались загадочными.

Известно, что основа морфологии — в химии клеток. В общем и целом органеллы одного типа обычно содержат одинаковые ферменты. Точно так же каждому ферменту свойственна некоторая характерная локализация в клетке, например он находится только в тех или иных органеллах. Поэтому то, что для цитолога есть определенный тип частиц, которые он видит на микрофотографиях клетки, биохимику предстает как кривая распределения фермента по клеточным фракциям, получаемым при высокоскоростном центрифугировании. Можно было предположить, что по этой причине для изучения микротельцев лучше всего подойдут именно методы биохимии. Так и случилось, но к пониманию природы этих необычных органелл ученые пришли неожиданным, отчасти окольным путем (будет ли это еще одним уроком тем, кто ратует за «целенаправленные» научные исследования?).

В СЕРЕДИНЕ 50-х годов в Католическом университете в Лувене мои коллеги и я с увлечением ставили опыты (кстати, поводом для них послужило одно случайное наблюдение), пытаясь что-нибудь узнать о недавно открытых внутриклеточных органеллах — лизосомах (см. «The Lysosome» by Christian de Duve, Scientific American, May, 1963). С помощью нового приема фракционирования клеток нам удалось выяснить, что в печени крыс фермент кислая фосфатаза встречается только в составе особого рода частиц, по размеру промежуточных между митохондриями и так называемыми микросомами. (В те времена были известны лишь эти два типа цитоплазматических органелл; митохондрии — это «энергетические станции» клетки, а микросомы, которые тогда тоже считались органеллами, — это фрагменты некоторых внутриклеточных мембранных систем.)

Применив наш новый метод для изучения ферментов, которые другие исследователи находили в митохондриях и микросомах, мы обнаружили, что некоторые кислые гидролазы (они расщепляют разнообразные вещества клетком в кислой среде) на заключительных стадиях фракционирования оказывались в той же фракции, что и кислая фосфатаза. Такая взаимосвязь этих ферментов привела нас к представлению о лизосомах — органеллах, содержащих ферменты, разрушающие поступающие с пищей либо инородные вещества, а в определенных обстоятельствах — и компоненты самой клетки.

Вскоре, впрочем, выяснилось, что сходным образом в клетке распределены ферменты, участвующие в реакциях окисления, например уратоксидаза (или уриказа, как ее раньше называли). Этот фермент окисляет ураты (т.е. соли мочевой кислоты) с образованием аллантаина и углекислого газа. Мы занялись изучением этого фермента, прочитав статью А. Новикова (сейчас он работает в Медицинском колледже им. Альберта Эйнштейна). В ней говори-

лось, что при дифференциальном центрифугировании уратоксидаза ведет себя так же, как кислая фосфатаза. В наших опытах при фракционировании ткани печени этим методом оба фермента также вели себя сходно. Суть дифференциального центрифугирования в том, что скорость осаждения разных компонентов клеток неодинакова. Строго говоря, из этого вовсе не следовало, что уратоксидаза и кислая фосфатаза находятся в одних и тех же частицах, потому что даже разные частицы могут оказаться в одной фракции, если у них одинаковый коэффициент седиментации, который зависит от размера, формы и плотности частицы.

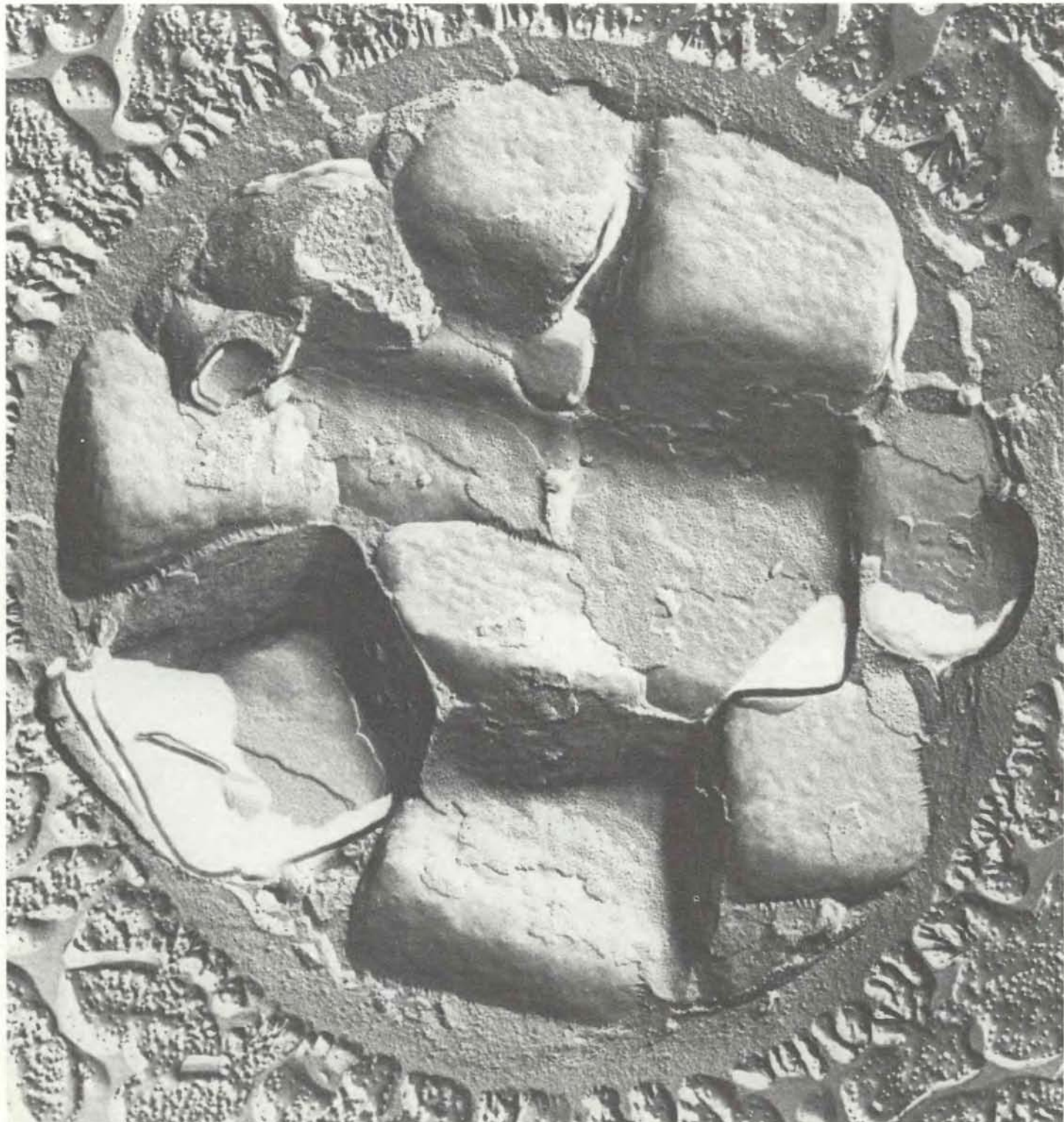
У нас были основания думать, что дело обстоит именно так. Во-первых, в опытах с уратоксидазой (в отличие от кислой фосфатазы и других кислых гидролаз лизосом) не наблюдался эффект, который мы называли структурно обусловленной латентностью. Он заключается в том, что некоторые из связанных с частицами ферментов не проявляют свою активность, если ее определять в условиях, обеспечивающих целостность структуры частиц. Впервые мы столкнулись с этим эффектом при изучении кислой фосфатазы и, пытаясь его объяснить, предположили, что «неактивный» фермент находится внутри частиц, за их мембранами, и поэтому не может взаимодействовать с находящимися вне частиц веществами-субстратами. Наши предположения, что уратоксидаза находится вовсе не в лизосомах, подтвердились, когда мы применили другой способ фракционирования — равновесное центрифугирование в градиенте плотности раствора. Компоненты клеток в этом случае распределяются в соответствии с их плотностью. Оказалось, что кислая фосфатаза и уратоксидаза седиментировали в градиенте плотности по-разному.

Окончательно мы убедились в этом после того, как мой коллега Р. Ватьо обнаружил, что если вводить крысам мягкий детергент Triton WR-1339, он накапливается в лизосомах клеток пе-

чени и других органов. В результате плотность лизосом сильно уменьшается, в то время как плотность частиц, содержащих уратоксидазу (и некоторые другие ферменты, которые при центрифугировании осаждаются вместе с ней), не меняется, что позволяет отделить эти частицы от лизосом и митохондрий с помощью центрифугиро-

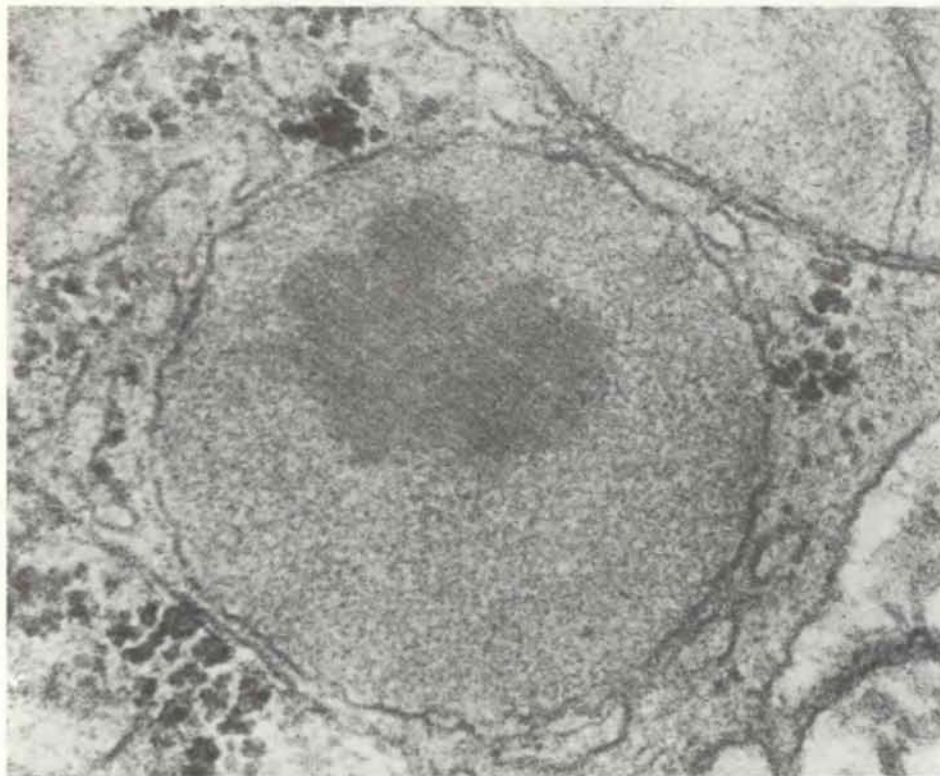
вания в градиенте плотности раствора сахарозы. В конечном счете моим коллегам П. Бодуэну и Г. Бофэ удалось выделить частицы (вначале мы назвали их урикосомами, отразив в этом термине биохимические данные), идентичные тем морфологическим образованиям, которые Родин и другие называли микротельцами.

ПОНЯТИЕ «микротельца» постепенно менялось по мере того, как мы исследовали новые ферменты и другие органы животных. Расширилась и география поисков: в 1962 г. я был приглашен работать в Рокфеллеровский институт медицинских исследований (теперь это уже университет) в Нью-Йорке. Я не порвал связей с Лувеном,

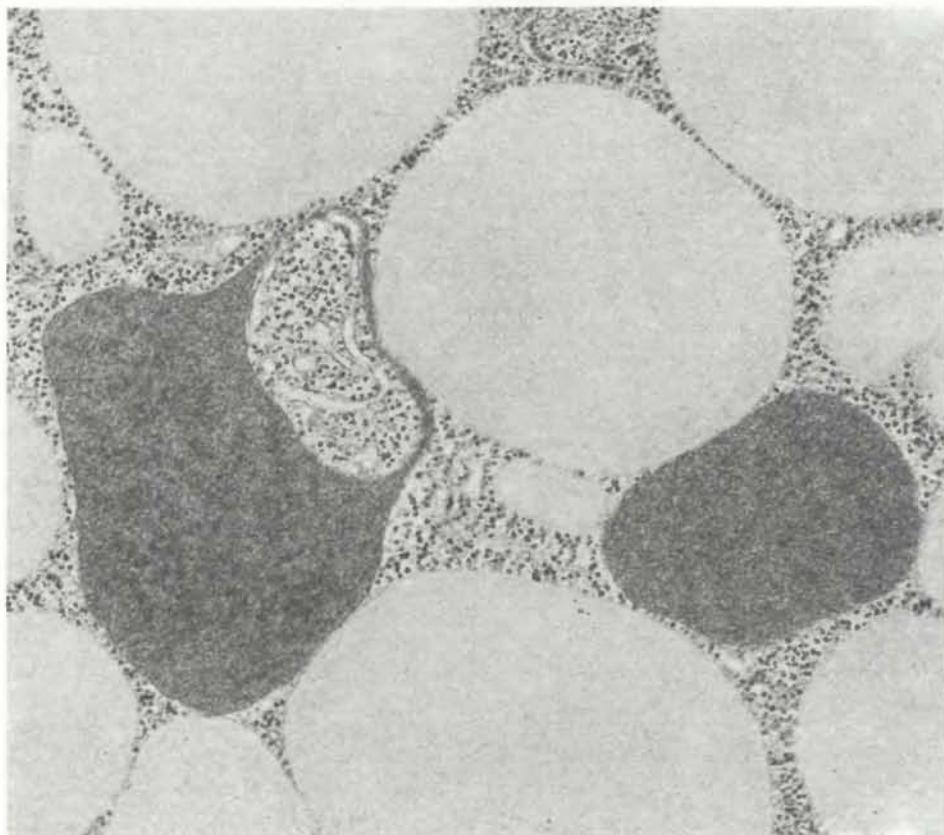


ПЕРОКСИСОМЫ в клетке дрожжей *Hansenula polymorpha*, которые выращивали в среде, где единственным источником углерода был метанол. Эти пероксисомы довольно необычны. Их обмен приспособлен к составу среды: они содержат ферменты алкогольоксидазу, которая окисляет метанол с образованием перекиси водорода, и каталазу, которая восстанавливает H_2O_2 до воды. Снимок сделан при по-

мощи электронного микроскопа М. Виниусом (Гронингский университет, Нидерланды). Предварительно клетки дрожжей заморозили, а потом сделали скол. Лед с поверхности скола испарили при низкой температуре, рельеф поверхности оттенили платиной и сделали углеродную реплику. На этом снимке — реплика с одной клетки. (Увеличение $\times 36\,000$.)



ПЕРОКСИСОМА ИЗ ПЕЧЕНИ КРЫСЫ. Однослойная мембрана окружает зернистый матрикс; в центре матрикс более плотный (квазикристаллический). Вверху справа видна часть митохондрии и срезы каналов эндоплазматического ретикулума. Электронная микрофотография сделана Элен Шио. (Увеличение $\times 115\ 000$.)



ДВЕ ГЛИОКСИСОМЫ с каплями жира вокруг в клетке проростка помидора. В одной из глиоксисом видно включение цитоплазмы. Глиоксисомы — это разновидность пероксисом; они содержат либо все, либо только некоторые ферменты глиоксилатного цикла. В глиоксисомах клеток проростков есть также ферменты β -окисления жирных кислот, «сырье» для которого находится в жировых каплях. Снимок сделан при помощи электронного микроскопа Э. Ньюкомбом и П. Грубером (Висконсинский университет, г. Мадисон). (Увеличение $\times 32\ 000$.)

но мне пришлось делить время между двумя лабораториями. Со временем сложился прямо-таки воздушный мост, и до сих пор продолжается обмен сотрудниками, идеями и методами, многие исследования ведутся совместно. Вначале Бодуэн обнаружил, что каталаза (этот фермент разлагает перекись водорода, H_2O_2), видимо, также связана с микротельцами печеночных клеток крысы, которые содержат уратоксидазу. О. Зелингер (в настоящее время он работает в Научно-исследовательском институте психиатрии Мичиганского университета) получил сходные результаты при изучении оксидазы D-аминокислот — этот фермент окисляет необычные аминокислоты, которые имеются в некоторых веществах микробного происхождения.

Приехав как-то в Нью-Йорк, Бодуэн начал работать вместе с венгерским исследователем М. Мюллером, который интересовался главным образом лизосомами простейших, и с одаренным студентом-дипломником, ныне покойным Б. Пуле. Это сотрудничество дало весьма ценные результаты. Было показано, что в почках млекопитающих, в которых микротельца ранее были обнаружены в ходе морфологических исследований, имеются частицы, с биохимической точки зрения очень похожие на микротельца клеток печени (в них не нашли только уратоксидазы). Сходные органеллы были найдены и в цитоплазме инфузории *Tetrahymena pyriformis*. Кроме каталазы и оксидазы D-аминокислот в этих микротельцах выявили оксидазу гидроксикислот (этот фермент действует на гликолат и лактат) и — правда, только в клетках почек — оксидазу L-аминокислот (она действует на обычные аминокислоты, из которых построены белки).

Из всех этих наблюдений следовало, что мы имеем дело с клеточными органеллами, широко распространенными в мире животных. Вырисовывался и путь к пониманию их роли в жизни клеток. Особенно важным нам казалось, что в этих частицах нового типа различные оксидазы, способные окислять самые разнообразные вещества, имели одно общее свойство: они восстанавливали кислород до перекиси водорода. Затем при участии каталазы H_2O_2 восстанавливалась с образованием воды. Суть восстановления вещества заключается в присоединении к нему электронов. В каталазной реакции донорами электронов могут быть такие небольшие молекулы, как метанол, этанол, нитрит-ион или муравьиная кислота, а если их нет — сама перекись водорода. Каталаза и оксидазы составляют, стало быть, своего рода примитивную дыхательную цепь, по которой электроны от метаболитов переносятся в конечном счете к кислороду с образованием воды. В отличие от главной дыхатель-

ной цепи митохондрий перенос электронов в ней происходит через перекись водорода. Здесь нет сопряжения с реакциями фосфорилирования и не образуется аденозинтрифосфат, основной носитель энергии в клетках.

В 1965 г. я предложил называть новые частицы пероксисомами, стремясь отразить тем самым особую роль перекиси водорода. Этот термин стал общепринятым, но вопрос о названии обсуждается и сегодня. Не будь этих споров, сама концепция, лежащая в основе термина «пероксисома», могла бы послужить ключом для понимания разнообразия микротельц у эукариот.

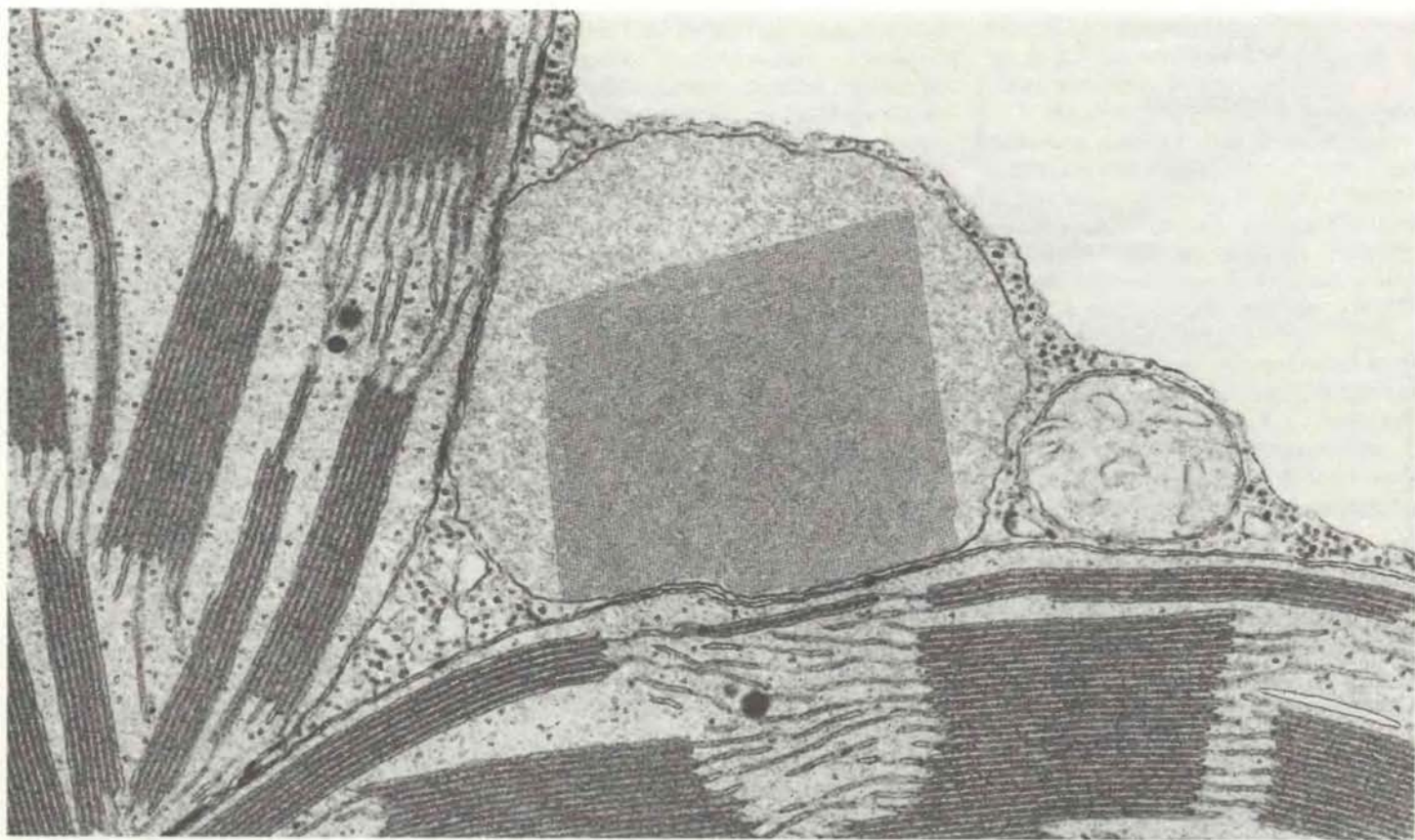
Эта концепция важна и для физиологии; наиболее ярко это показали Б. Чанс и его сотрудники в Джонсоновском исследовательском центре (шт. Филадельфия). При помощи чувствительных спектрофотометрических методов они оценили прочность связывания перекиси водорода с каталазой в переживающей интактной печени крысы. Оказалось, что печеночная каталаза при взаимодействии с перекисью водорода образует с ней ком-

плекс: при добавлении субстратов оксидаз количество H_2O_2 в среде увеличивается, при добавлении субстратов каталазы происходит диссоциация комплекса каталаза — H_2O_2 .

Краеугольный камень в концепции пероксисомы — центральная роль каталазы в превращениях перекиси водорода. Природа субстратов оксидаз, обеспечивающих ее образование, значения не имеет. И действительно, каталаза, видимо, присутствует в пероксисомах всех типов и часто является главным их компонентом. Так, в клетках печени крысы на ее долю приходится до 15% всего белка. Впрочем, нужно оговориться, что превращение перекиси водорода происходит не только в пероксисомах. При участии оксидаз она образуется и в цитозоле (цитозолем называют жидкое содержимое клеток), во внешней митохондриальной мембране, а может быть, и вообще по всей клетке. Помимо каталазы в большинстве разновидностей клеток есть по меньшей мере еще одна пероксидаза, т.е. фермент, способный разлагать перекись водорода. Ряд данных указывает, что и сама каталаза встречается не только в пероксисомах. Иногда в до-

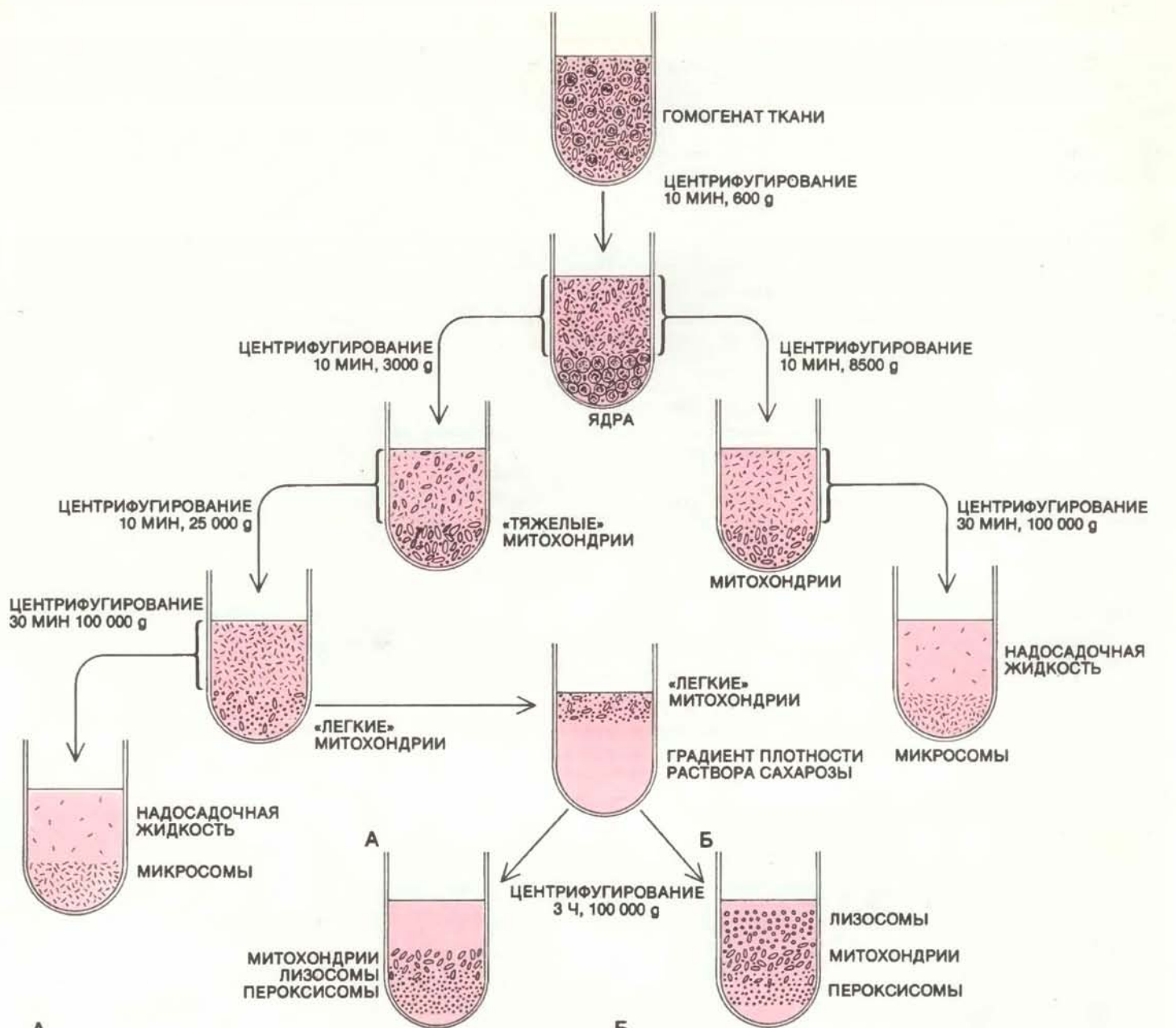
вольно высокой концентрации она присутствует и в цитозоле.

СЛЕДУЮЩАЯ глава в этой истории связана еще с одним «межконтинентальным» экспериментом. В 1957 г. в лаборатории покойного сэра Ханса Кребса в Оксфордском университете его ученик Х. Корнберг открыл глиоксилатный цикл. В тридцатых годах сам Кребс открыл цикл лимонной кислоты (или цикл трикарбоновых кислот), названный впоследствии в его честь циклом Кребса, — конечный универсальный путь окислительного обмена веществ. Глиоксилатный цикл, названный так по глиоксиловой кислоте — основному его промежуточному продукту, представляет собой вариант цикла Кребса. В цикле лимонной кислоты изоцитрат превращается в малат в четырех последовательных реакциях, в которых образуются две молекулы углекислого газа. В глиоксилатном цикле вместо этого протекают две другие реакции, т.е. получается, так сказать, метаболический шунт. В этих реакциях используется дополнительный ацетильный остаток, поставляемый ацетилкоэнзимом А (ацетил-CoA), и в ко-



ПЕРОКСИСОМА В КЛЕТКЕ ЛИСТА табака. Внутри этого крупного микротельца имеется специфическая структура — квазикристаллическое образование. По-видимому, это агрегат из молекул каталазы. Большое светлое пятно в верхнем правом углу снимка — это центральная вакуоль клетки. Пероксисома, зажатая между двумя хлоропластами, расположена в этой клетке рядом с митохондрией. Такое тесное соседство органелл трех типов неслучайно: оно

благоприятствует определенным последовательностям реакций обмена веществ. Гликолат, образующийся в хлоропластах, окисляется до глиоксилата в пероксисомах. Последующие реакции протекают в митохондриях, а затем действие снова переносится в пероксисомы. В результате в хлоропластах образуются углеводы. Электронная микрофотография получена Э. Ньюкомбом и Сью Э. Фредерик. (Увеличение $\times 58\,000$.)



ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕ применяют для фракционирования гомогенатов клеток. Во фракциях можно определить активность разнообразных ферментов и соотнести их таким способом с конкретными структурными элементами клетки. В ходе опыта гомогенат клеток центрифугируют со все возрастающей скоростью. Классическая методика фракционирования (справа) позволяла получать ядра, митохондрии, микросомы и надосадочную жидкость. Несколько лет назад мы модифицировали ее так, чтобы разделить фракцию митохондрий на субфракции (слева). «Легкую» субфракцию центрифугировали в градиенте плотности сахарозы до установления равновесия (в центре). В ре-

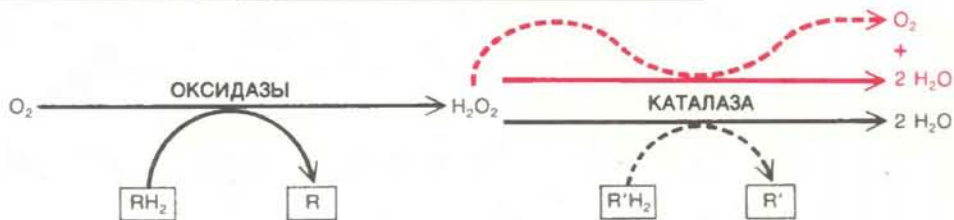
зультате в пробирке сформировались три слоя частиц, различающихся по плотности. В них определяли активность трех ферментов-маркеров (внизу): цитохромоксидазы (характерна для митохондрий), кислой фосфатазы (известно, что она есть в лизосомах) и уратоксидазы, свойственной частицам иного типа. При фракционировании нормальных клеток (А) пики на кривых активности ферментов, соответствующие слоям частиц, располагались близко друг к другу. Если же крысам вводили накапливающийся в лизосомах детергент, то плотность лизосом падала (Б) и они четко отделялись от частиц, содержащих уратоксидазу, т.е. от пероксисом.

нечном счете образуется сукцинат. Если за один оборот цикла Кребса одна ацетильная группа полностью окисляется до углекислого газа, то за один глиоксилатный цикл в результате конденсации двух ацетильных групп образуется одна молекула сукцината.

Одним из основных поставщиков ацетил-СоА в клетках являются реакции β -окисления жирных кислот. Образующийся в глиоксилатном цикле из ацетил-СоА сукцинат может превращаться в углеводы через цикл Кребса, фосфоенолпируват и обращенный гликолиз (глюкоконеогенез). Таким образом, глиоксилатный цикл участвует в новообразовании углеводов из жиров. В этом и заключаются его биологический смысл и важное значение для жизни клеток.

Открытие Корнберга привлекло в Оксфорд еще двух ученых, которые вскоре перенесли эти исследования в США. Один из них, Г. Биверс, переехал из Англии в Университет Пардю и там занялся исследованием механизмов, запускающих глиоксилатный цикл в прорастающих семенах клещевины. Такой путь обеспечения молодых проростков углеводами за счет запасов жиров в семенах типичен для всех масличных культур. Он действует до тех пор, пока не появятся первые зеленые листья и не начнется фотосинтез. Биверсу и его коллеге Р. Брайденбаху удалось обнаружить ферменты, катализирующие две реакции глиоксилатного шунта, и показать, что они локализованы в цитоплазматических частицах нового, необычного типа. В этих же частицах, как оказалось, содержатся и три других фермента глиоксилатного цикла, которые обычны для митохондрий, где они катализируют реакции цикла лимонной кислоты. Новые частицы удалось выделить методом центрифугирования в градиенте плотности раствора сахарозы; плотность их оказалась весьма высокой, как у пероксисом печени. Внешне частицы напоминали микротельца. Исходя из их биохимических свойств, Биверс назвал их глиоксисомами.

ИЗВЕСТНО, что биохимики животных и биохимики растений не очень-то склонны к сотрудничеству. Наверное, поэтому еще долгое время никто не обратил бы внимания на взаимосвязь между открытием глиоксисом и данными, полученными в нашей лаборатории, но, к счастью, это сделал бывший сотрудник Корнберга Дж. Хогг. В то время он работал в Королевском колледже Нью-Йоркского университета, но, заинтересовавшись глиоксилатным циклом у *Tetrahymena pyriformis*, приехал в Оксфорд. Как раз тогда в Оксфордской лаборатории мой коллега Мюллер занимался поисками лизосом у этих организмов. Он обра-



ПРИМИТИВНАЯ ДЫХАТЕЛЬНАЯ ЦЕПЬ пероксисом; основной интермедиат в ней — перекись водорода (H_2O_2). Одна из оксидаз окисляет субстрат (RH_2), передавая электроны кислороду. В результате образуется H_2O_2 , которую каталаза восстанавливает до воды. Необходимые для восстановления электроны поступают от низкомолекулярных субстратов ($R'H_2$) или, если нет иных доноров, от самой перекиси водорода (выделено цветом).

тился к Хоггу за советами по работе, а тот уговорил его расширить исследование и провести одновременно определение ферментов глиоксилатного цикла и цикла Кребса.

В результате их сотрудничества в пероксисомах *T. pyriformis* были открыты два фермента глиоксилатного цикла. В отличие от глиоксисом семян клещевины у этих простейших в пероксисомах нет тех трех ферментов глиоксилатного цикла, которые общие с циклом Кребса, — они содержатся только в митохондриях наряду с другими ферментами цикла трикарбоновых кислот.

Весной 1967 г. на ежегодном съезде Федерации американских биологов Брайденбах сделал доклад о первых результатах изучения глиоксисом из семян клещевины. Там же Мюллер выступил с сообщением о ферментах глиоксилатного цикла в пероксисомах *Tetrahymena*. Вскоре после съезда Биверс и его сотрудники показали, что в препаратах из семян клещевины есть и каталаза, и некоторые оксидазы (в их числе и уратоксидаза), образующие перекись водорода. Получалось, что глиоксисомы — это по сути дела то же самое, что пероксисомы.

Надо сказать, что глиоксисомами до сих пор предпочитают называть частицы, содержащие ферменты глиоксилатного цикла. Это приводит к некоторой путанице, так как не совсем ясно, где проходит грань между пероксисомами и глиоксисомами. Следует ли считать, что в глиоксисомах всегда есть полный набор ферментов глиоксилатного цикла, как в богатых жиром семенах, или же достаточно присутствия всего двух ферментов шунта, как у *T. pyriformis*? А как быть, если в частицах найдут всего один фермент из двух?

Впрочем, оставим пока в стороне проблемы номенклатуры: сама разница между глиоксисомами семян клещевины и пероксисомами *Tetrahymena* говорит нам о многом. В проростках семян глиоксисомы содержат полный глиоксилатный цикл, а митохондрии — полный набор ферментов цикла Кребса. Таким образом, три общих для этих

циклов фермента дублируются. Процессы новообразования углеводов и окисления четко разобщены, и в каждом из них используются независимые источники ацетил-СоА. У *Tetrahymena* митохондриям принадлежит ведущая роль, так как они полностью контролируют поступление изоцитрата в пероксисомы: процессы окисления преобладают и в образовании углеводов в пероксисомах могут принять участие только те молекулы изоцитрата, которые не попали в цикл Кребса и оказались вне митохондрий. Митохондрии определяют синтез углеводов даже в богатых маслом семенах. Только с их помощью сукцинат может превратиться в фосфоенолпируват, который должен вступить в глюконеогенез.

У высших животных эволюция обошлась с ферментами глиоксилатного цикла весьма сурово. Млекопитающие, в том числе человек, не могут синтезировать углеводы из обычных жирных кислот. Впрочем, недавно ферменты глиоксилатного цикла удалось обнаружить в цитоплазматических частицах эпителиальных клеток мочевого пузыря жабы. Похоже, что в тех же частицах есть каталаза, как и в глиоксисомах (пероксисомах) семян и *T. pyriformis*. Все это говорит в пользу гипотезы, согласно которой частицы этого типа и у животных, и у растений происходят от одного корня.

Продолжая настойчиво исследовать обмен веществ в глиоксисомах, Биверс и Т. Купер сделали замечательное открытие: оказалось, что в глиоксисомах проростков семян клещевины есть все ферменты, необходимые для образования ацетил-СоА из жирных кислот путем β -окисления. Раньше считалось, что β -окисление происходит только в митохондриях. Очевидно, что совмещение глиоксилатного цикла и реакций β -окисления жирных кислот повышает эффективность новообразования углеводов. Глиоксисомные ферменты β -окисления катализируют те же самые реакции, что и их аналоги в митохондриях, за одним лишь интересным исключением: в митохондриях цикл окисления начинается дегидрогеназа, постав-

ляющая электроны в цепь окислительного фосфорилирования, а в глиоксисомах — простая оксидаза, образующая перекись водорода. Напрашивается аналогия с пероксисомами.

Поразительно, что в течение десяти

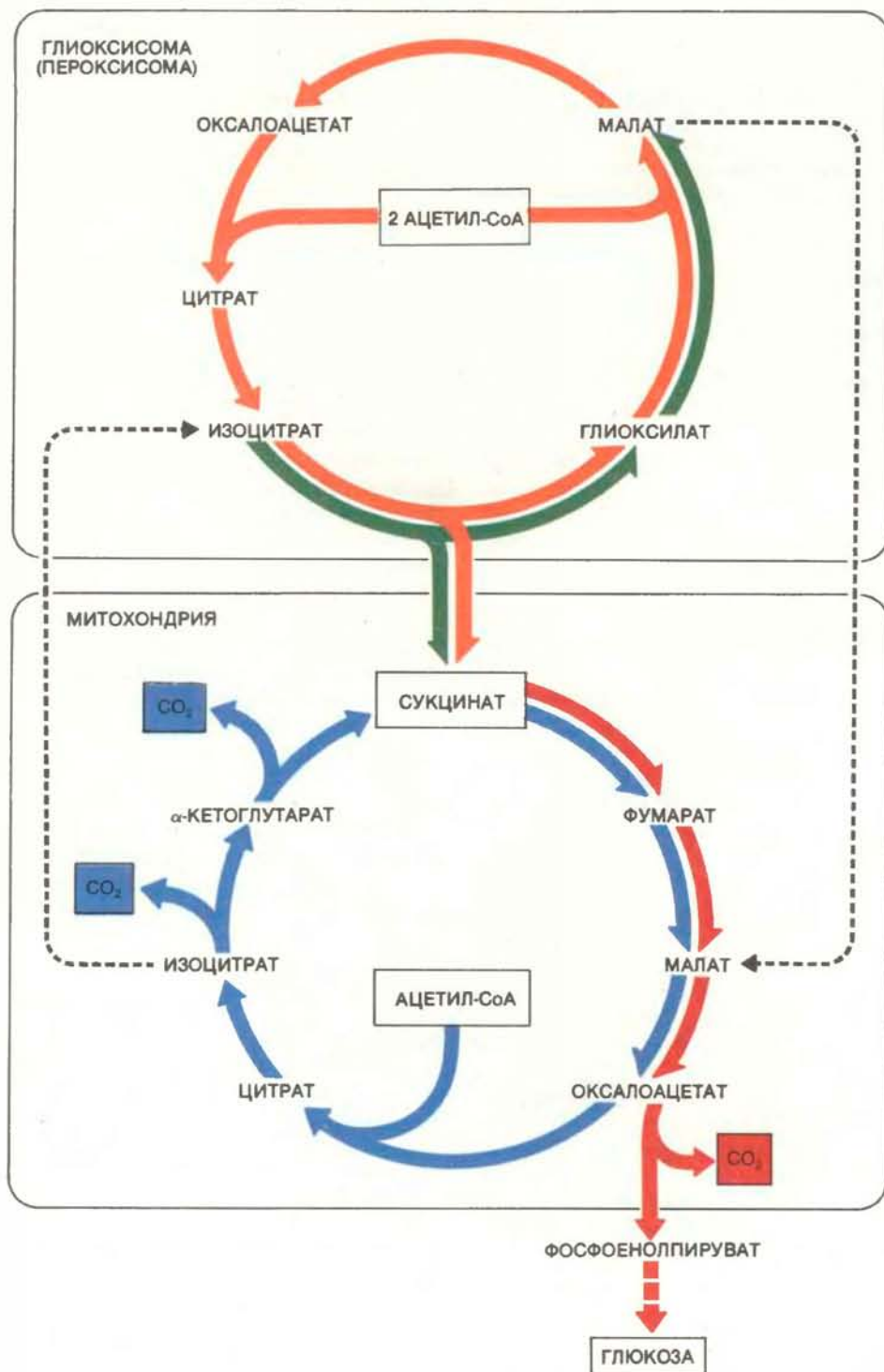
лет никто не замечал важности этих наблюдений, даже те ученые, которые были твердо уверены в общности эволюционных корней глиоксисом растений и пероксисом животных. Притом уже было известно, что клофибрат

(это вещество применяют в медицине для снижения содержания липидов в крови) вызывает быстрое накопление пероксисом в клетках печени крыс. Это обнаружили в лаборатории компании CIBA, Ltd. в Базеле еще в 1965 г. Данные об эффекте клофибрата вызвали большой интерес и были подтверждены также в других лабораториях. Другие лекарственные препараты, влияющие на содержание липидов в крови, иногда даже структурно не похожие на клофибрат, оказывали такое же действие. Вновь и вновь исследователи приходили к выводу, что пероксисомы играют важную роль в обмене липидов. И тем не менее долгое время этому не было прямых экспериментальных доказательств. Лишь в 1976 г. в Рокфеллеровском центре мой сотрудник П. Лазаров показал, что активность ферментов β -окисления жирных кислот в пероксисомах печени крысы увеличивается в десять и более раз при скормлении животным клофибрата.

Сообщение Лазарова вызвало волну подобных исследований в других лабораториях. Главные ферменты β -окисления из пероксисом были очищены и свойства их охарактеризованы. Это сделал Т. Хасимото, в то время сотрудник медицинского факультета Университета Синсю (Япония). Он показал, что пероксисомальные ферменты по химическим свойствам не имеют ничего общего с аналогичными ферментами митохондрий. Индукцию системы β -окисления в пероксисомах наблюдали в опытах со многими различными веществами, влияющими на липидный обмен. Так же действуют охлаждение животных и кормление их пищей с большим содержанием жиров; в этих случаях усиленное окисление жирных кислот — естественная физиологическая реакция.

ИТАК, выяснилось, что пероксисомы печени, играя в обмене веществ роль, противоположную глиоксисомам семян клеверины, по сути вполне аналогичны им. Эти исследования очень сблизили две науки — биохимию растений и биохимию животных, причем последняя в данном случае сыграла активную роль. В результате обмена идеями удалось узнать много нового и о фотодыхании — необычном процессе, в сути которого биохимики не могли разобраться несколько десятилетий.

Как следует из названия, фотодыхание — это процесс, проявляющийся в увеличении потребления кислорода в тканях зеленого растения под воздействием света; в хлоропластах, органеллах фотосинтеза, при этом образуется гликолат. Ключевым ферментом ассимиляции углерода в хлоропластах является рибулозодифосфат-карбоксилаза. Роль ее двойка. В отсутствие кис-



ГЛИОКСИЛАТНЫЙ ЦИКЛ (оранжевые стрелки) — это вариант цикла Кребса (синие стрелки), главного пути окислительного обмена веществ. В глиоксилатном цикле вместо четырех реакций цикла Кребса осуществляются две другие реакции (показано зеленым цветом), в результате чего образуется сукцинат. Сукцинат может быть превращен в глюкозу и другие углеводы (показано красным цветом). В глиоксисомах клеток проростков есть все ферменты глиоксилатного цикла, а в митохондриях — все ферменты цикла Кребса, и таким образом три фермента дублируются. У *Tetrahymena pyriformis* пероксисомы содержат только два фермента глиоксилатного пути — те, которые обеспечивают шунт. Изоцитрат поступает из митохондрий в пероксисомы. Там он превращается в малат и возвращается в митохондрии (пунктирные черные стрелки).

лорода этот фермент занимается только фиксацией углекислоты, превращая одну молекулу рибулозодифосфата и одну молекулу CO_2 в две молекулы 3-фосфоглицерата.

Кислород способен конкурировать с углекислым газом за центр связывания CO_2 на ферменте, и тогда часть рибулозодифосфата направляется по альтернативному пути окисления. В результате вместо двух молекул фосфоглицерата образуются одна молекула фосфогликолата и одна — фосфоглицерата.

Далее фосфогликолат при участии фосфатазы превращается в гликолат. В изолированных хлоропластах и у некоторых одноклеточных водорослей на свету в присутствии кислорода фосфогликолат — основной продукт обмена веществ. Чем более выражено фотодоыхание, тем меньше фотосинтетическая продуктивность растения, так что фотодоыхание немаловажно и с экономической точки зрения. Его интенсивность определяется относительным содержанием кислорода и углекислого газа: чем больше парциальное давление кислорода, тем оно сильнее, а чем лучше растение связывает углекислоту, тем оно слабее. Такие тропические растения, как кукуруза, сахарный тростник и сорго, связывают CO_2 особенно эффективно.

Давно известно, что образовавшийся в хлоропластах при фотоокислении гликолат в дальнейшем при участии кислорода окисляется с образованием глиоксилата. Долгое время оставалось непонятным, где и как это происходит. Все прояснилось лишь с открытием в пероксисомах печени крыс сопутствующей каталазы оксидазы гидроксикислот, действующей на гликолат.

Под впечатлением этих наблюдений Н. Толберт в Мичиганском университете преисполнился решимости преодолеть многочисленные трудности, с которыми сталкиваются при гомогенизации и фракционировании листьев растений, и в итоге сумел доказать, что окисление гликолата происходит в пероксисомах клеток листа. Как и в случае других членов этого многоклеточного семейства, плотность пероксисом листьев оказалась высокой. По морфологическим признакам это были типичные микротельца.

Микротельца клеток зеленых листьев подробно исследовали Э. Ньюкомб и его сотрудники в Висконсинском университете (г. Мадисон). Диаметр этих органелл около 1,5 мкм. Часто они содержат плотные нуклеоиды, или кристаллические включения, в которых, видимо, и локализована каталаза.

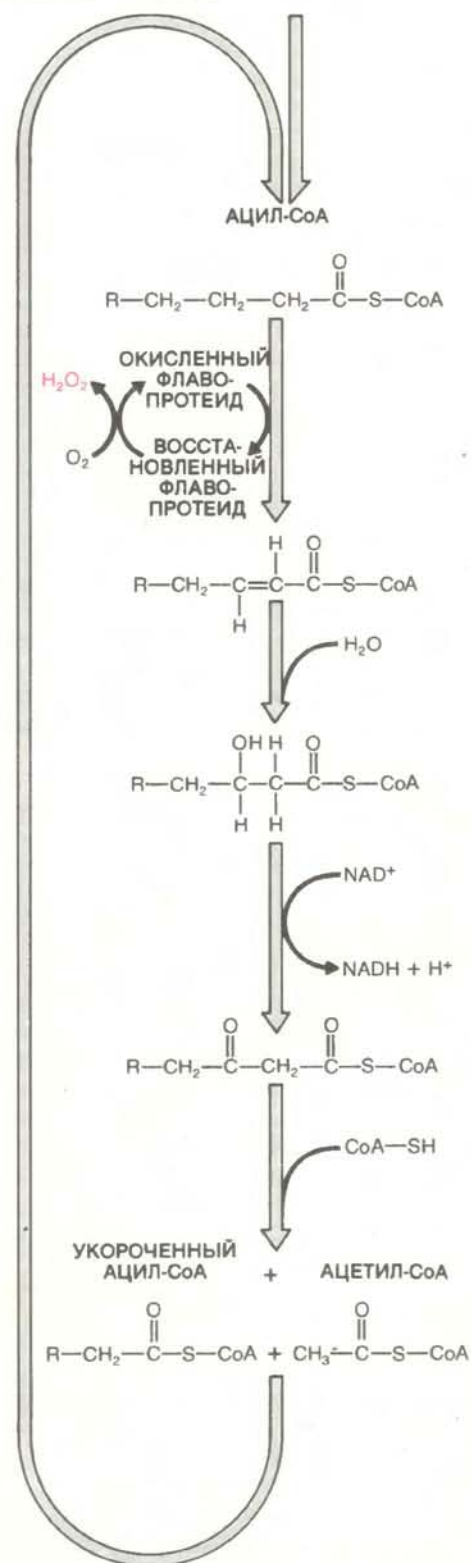
По мнению Толберта, образующийся в пероксисомах при окислении гликолата глиоксилат превращается в аминокислоту глицин под действием пероксисомального фермента транс-

аминазы. Далее действие переносится в митохондрии, где из двух молекул глицина путем их окисления образуется аминокислота серин и углекислый газ. Серин отправляется обратно в пероксисомы и превращается там в глицириновую кислоту, которая фосфорилируется и вступает в процессы синтеза углеводов в хлоропластах. Этот прихотливый метаболический путь находит отражение в морфологии клеток листьев: пероксисомы в них обычно располагаются между хлоропластами и митохондриями, в непосредственной близости к тем и другим.

В 1968 г. Шарлотта Эйверс (Университет Ратджерса) обнаружила в дрожжах *Saccharomyces cerevisiae* микротельца, содержащие ферменты, характерные для пероксисом и глиоксисом. Опыты с разновидностями дрожжей, способными расти в средах с необычными субстратами, позволили предположить, что адаптация к субстратам связана с изменениями метаболизма в пероксисомах.

Вслед за Эйверс С. Фукуи и его сотрудники (Университет г. Киото) заметили, что если дрожжи *Candida* выращивать в среде с алканами (углеводородами с длинной цепью), то в клетках становится очень много микротелец, содержащих каталазу. Помимо каталазы в них были найдены несколько оксидаз, полная система β -окисления жирных кислот, два фермента глиоксилатного шунта (трех других ферментов глиоксилатного цикла там не оказалось), а также ферменты, катализирующие дегидрирование некоторых высших спиртов и альдегидов. В митохондриях у *Candida* есть все ферменты цикла Кребса и дегидрогеназы, но нет системы β -окисления жирных кислот. Из этих наблюдений следовало, что в пероксисомах (при участии митохондрий, необходимых для осуществления полного глиоксилатного цикла) из высших многоатомных спиртов (производных алканов) образуются углеводы.

Еще более удивительную адаптацию обмена веществ наблюдали у дрожжей *Hansenula polymorpha*, если в среде единственным источником углерода был метанол. Клетки дрожжей оказывались буквально битком набиты большими микротельцами, которые из-за тесноты имели почти кубическую форму. Большую часть объема этих микротелец занимали крупные кристаллические включения, состоявшие из алкогольоксидазы. Этот фермент окисляет метанол до формальдегида с образованием перекиси водорода, которая разлагается каталазой. Что касается формальдегида, то в цитозоле клеток есть ферментная система, превращающая его в углеводы. Есть данные, что пероксисомы могут участвовать и в адап-



ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ превращаются в глиоксисомах проростков в ацетилкоэнзим А. Он вступает в глиоксилатный цикл и, стало быть, включается в синтез углеводов. β -Окисление жирных кислот начинается с образования ацилкоэнзима А, активированной формы жирной кислоты: углеводородная цепь — $(\text{CH}_2) - \text{R}$ присоединяется через CO группу к атому серы коэнзима А. В каждом цикле β -окисления молекула жирной кислоты становится на 2 углеродных атома короче и образуется 1 молекула ацетилкоэнзима А. В глиоксисомах (но не в митохондриях, где тоже происходит β -окисление), в первой реакции цикла образуется H_2O_2 .

тации дрожжей к другим субстратам, например к азотсодержащим соединениям (D-аминокислотам, уратам, холину или простым аминам).

У млекопитающих типичные микротельца можно увидеть в клетках лишь некоторых органов, например печени и почек. По сравнению с другими тканями в них отмечается и гораздо более высокая активность каталазы. Впрочем, практически во всех клетках всегда есть немного каталазы. Если в клетке нет типичных пероксисом, то фермент локализован, судя по всему, в небольших частицах (0,1—0,2 мкм в диаметре), связанных с мембранами клеток. Эти частицы имеют продолговатую, а иногда и змееобразную форму. Ф. Новиков, А. Новиков и их коллеги назвали частицы микропероксисомами.

Накапливается все больше указаний на то, что такие частицы содержат и оксидазы. Вполне возможно, что они на самом деле как-то функционально связаны с пероксисомами, хотя внешне и непохожи на «настоящие» микротельца.

КАК ВОЗНИКЛИ пероксисомы и глиоксисомы? Размножаются ли они самостоятельно, как митохондрии, которые присутствуют в половых клетках, растут, делятся и передаются потомству? Или, может быть, они ближе к первичным лизосомам, которые образуются из фрагментов аппарата Гольджи, в свою очередь формирующегося из эндоплазматического ретикулума — системы внутриклеточных каналов, образованных однослойными мембранами. Неоднократно появлялись сообщения о том, что между пе-

роксисомами и глиоксисомами, с одной стороны, и мембраной эндоплазматического ретикулума, с другой — есть непрерывный ряд переходных форм. Это согласуется с ранее замеченным фактом, что синтез каталазы происходит на «шероховатом» эндоплазматическом ретикулуме, т.е. на рибосомах, прикрепленных к мембранам ретикулума. Возникло предположение, что пероксисомы как бы отпочковываются от эндоплазматического ретикулума. Согласно этой гипотезе, белки пероксисом синтезируются на рибосомах, связанных с мембранами ретикулума, затем попадают в его каналы и переносятся по ним к пероксисомам.

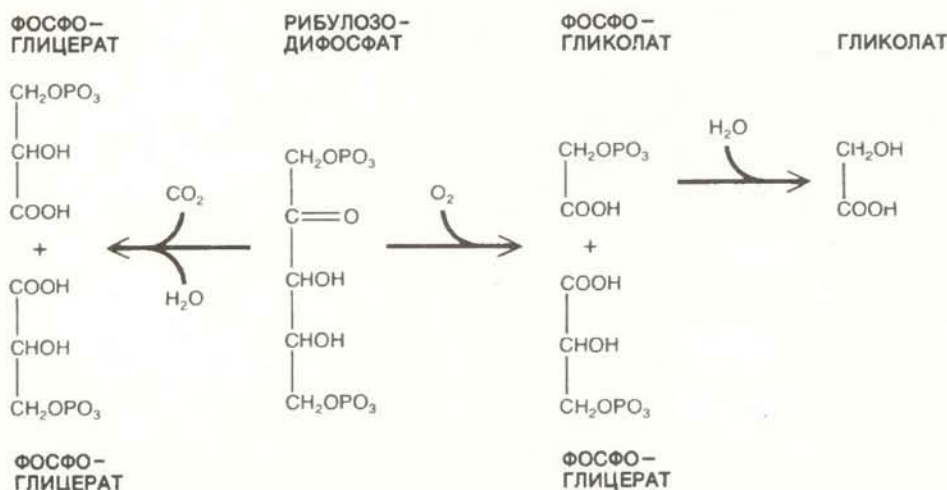
Проверкой этой гипотезы у нас в Рокфеллеровской лаборатории занимались Пул и Лазаров — и убедились, что она неверна. По их данным, белки матрикса пероксисом синтезируются на не связанных с мембранами рибосомах в цитозоле. К этому выводу они пришли, обнаружив, что если животным скармливать меченные радиоактивным изотопом аминокислоты, то в гомогенатах клеток печени меченые и, следовательно, новообразованные белки пероксисом выявляются только в растворимой фракции. После кратковременного (для каталазы менее 20 мин) пребывания в той части клетки, которую мы считаем (до тех пор, пока нет иных данных) цитозолем, белки не известным нам способом переносятся в пероксисомы. Сходные результаты в опытах с печенью крыс получили и другие исследователи. Изучение семян нескольких типов дало основания думать, что биогенез глиоксисом происходит так же, как и пероксисом.

Загадкой остается механизм перехода новообразованных белков сквозь мембрану пероксисом. Дело в том, что с рибосом шероховатого эндоплазматического ретикулума синтезируемый белок «сходит» прямо внутрь ограниченного мембраной канала ретикулума. При переносе белков из цитозоля сквозь мембрану в митохондрии молекулы белков-предшественников подвергаются процессингу, т.е. они становятся короче; возможно, сам акт протеолиза дает энергию, необходимую для переноса. В пероксисомах нет ни активных рибосом, способных «проталкивать» большие молекулы белков-ферментов сквозь мембрану, ни механизма протеолитической подгонки для их «перетаскивания», так что остается совершенно неясным, откуда клетка берет энергию для переноса белков в пероксисомы. Может быть, реализуется принцип самосборки? Можно себе представить, что белки присоединяются к рецепторам мембраны, переходят каким-то образом внутрь пероксисомы и включаются там в состав сложных комплексов, состоящих из многих белковых молекул. В пользу такого механизма говорят наблюдения: внутри пероксисом часто видны компактные образования, которые нередко имеют кристаллическое строение.

Хотя мы не знаем еще всех деталей механизма переноса белков, есть данные, что его можно воспроизвести *in vitro*. Если взять выделенные из пероксисом (или глиоксисом) новообразованные белки, меченные радиоактивными изотопами, и смешать их с этими частицами в пробирке, то через некоторое время часть белка проникает внутрь пероксисом (или соответственно глиоксисом). Это наблюдали В. Беккер (Висконсинский университет) в опытах с глиоксисомами проростков огурца и сотрудник Лазарова Ю. Фуджики в опытах с пероксисомами печени крысы.

ТО ОБСТОЯТЕЛЬСТВО, что белки попадают в матрикс пероксисом из цитозоля, вовсе не исключает возможности образования мембран этих частиц из эндоплазматического ретикулума и их тесной с ним связи. По мнению Лазарова, равновероятно, что мембранные белки пероксисом также синтезируются на не связанных с эндоплазматическим ретикулумом рибосомах, а затем встраиваются в мембраны уже существующих частиц. Ведь именно так ведут себя белки мембран митохондрий и даже некоторые белки эндоплазматического ретикулума.

По наблюдениям Новикова и других ученых, между эндоплазматическим ретикулумом и пероксисомами есть переходные формы, что как будто говорит в пользу первого предположения. Не будем, однако, забывать, что по чи-



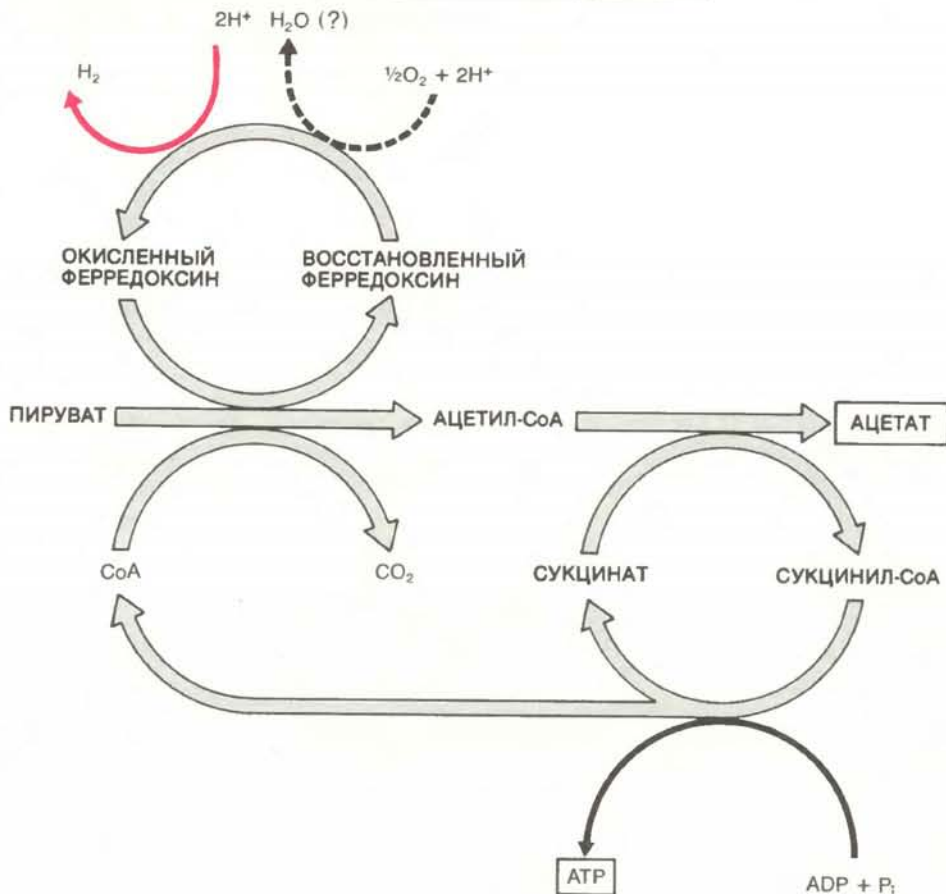
ФОТОДЫХАНИЕ в хлоропластах конкурирует с фотосинтезом. При фотосинтезе углекислый газ фиксируется в реакции образования двух молекул фосфоглицерата из молекулы рибулозодифосфата (слева). В присутствии кислорода часть рибулозодифосфата превращается в фосфоглицерат и фосфогликолат (в центре). Обе реакции осуществляет один и тот же фермент. Фосфогликолат гидролизует, и образуется гликолат, который направляется в пероксисомы. Там он окисляется до глиоксилата, а глиоксилат превращается в глицин. В митохондриях из двух молекул глицина образуется молекула серина и CO_2 . Серин возвращается в пероксисомы, где из него образуется глицириновая кислота. Это соединение затем принимает участие в образовании углеводов в хлоропластах.

сто морфологическим признакам точно идентифицировать эндоплазматический ретикулум совсем не просто. Чтобы определить, есть ли связь между пероксисомами и мембраной ретикулума, Элен Шио и Лазаров обработали клетки красителями, специфически связывающимися с компонентами пероксисом и эндоплазматического ретикулума. Но ни разу им не удалось обнаружить эти вещества между пероксисомами и ретикулумом; скорее всего, прямой связи нет, и, стало быть, вряд ли можно говорить о каких-либо переходных формах. Более того, Лазаров, Фуджика и их коллеги нашли, что по химическому составу мембран пероксисомы очень отличаются от эндоплазматического ретикулума.

В свете этих данных остается лишь предположить, что те контакты между пероксисомами и эндоплазматическим ретикулумом, которые многие наблюдали, на самом деле связывают пероксисомы с особым рода «пероксисомальным ретикулумом» (этот термин предложил Лазаров) или «компарментом микротелец» (термин К. Горгаса из Гейдельбергского университета). О его существовании, по крайней мере в некоторых типах клеток, говорят наблюдения португальских и немецких ученых, которые применили одновременно специфическое окрашивание и метод серийных срезов. С клетками печени такие опыты пока не ставились, но удивительная биохимическая однородность пероксисом и их склонность образовывать скопления давно уже наводили на мысль, что и в печени микротельца физически связаны. Выяснить, так ли это — задача будущих исследований.

Органеллы, по биохимическим признакам подобные пероксисомам и глиоксисомам, были найдены в самых разных клетках у всех организмов, за исключением бактерий. Всюду — будь то клетки растений, грибов, простейших, беспозвоночных или позвоночных животных — эти частицы так похожи, что их вполне можно считать «родственниками». Поэтому в дальнейшем для простоты я буду все такие частицы называть пероксисомами. Я исхожу при этом из того, что глиоксисомы, «зрелые» или формирующиеся, имеют много общего с пероксисомами, но обратное не всегда верно. А называть всех их микротельцами нельзя; далее мы увидим, что не все микротельца являются пероксисомами.

В РАЗНООБРАЗНЫХ тканях и органах пероксисомы содержат сходные наборы ферментов. Список ферментов пероксисом все время растет и сегодня включает более сорока наименований. Пероксисом, которые содержали бы все эти ферменты, до сих пор никто еще не находил. Целесообразно было



ГИДРОГЕНОСОМЫ — необычные микротельца *Trichomonas foetus*, в клетках которого нет митохондрий. Гидрогеносомы содержат ферменты, окисляющие пируват. При этом образуется аденозинтрифосфат (АТФ), носитель энергии в клетке. Электроны от пирувата переносятся на ферредоксин, который передает их кислороду, если он есть в среде (*пунктирная стрелка*); в конечном счете образуется вода. В отсутствие кислорода электроны передаются протонам (H⁺) и образуется молекулярный водород (*цветная стрелка*).

бы выяснить причины различий в «спектрах» ферментов. Либо в клетках нет соответствующих генов, либо не все они работают; вспомним в связи с этим, что образование многих ферментов в пероксисомах очень легко индуцировать.

При всем функциональном разнообразии у пероксисом есть два общих свойства. Во-первых, образующие перекись водорода оксидазы всегда встречаются вместе с каталазой (отсюда и сам термин «пероксисома»). В роли субстратов окисления могут выступать самые разные соединения, в том числе D- и L-аминокислоты, гидроксикислоты, жирные кислоты, спирты, амины и пурин, но никогда — главный переносчик электронов, восстановленный никотинамидадениндинуклеотид (NADH). Видимо, в пероксисомах электроны, попавшие в NAD (NAD — окисленная форма этого соединения), в обязательном порядке направляются в митохондрии, где используются в процессах окисления. Не «схваченные» NAD электроны могут передаваться в цитозоль, к какому-то потенциальному субстрату, например лактату или этанолу; тогда они смогут

попасть обратно в пероксисомы и использоваться там. Пока что никакого механизма, сопрягающего процесс окисления с запасанием энергии, в пероксисомах не найдено.

Вторая непреходящая функция пероксисом, своего рода лейтмотив их метаболизма, — это участие в синтезе углеводов. Я уже говорил о том, как он происходит в прорастающих семенах масличных культур, у *Tetrahymena*, в листьях растений при фотодыхании и в клетках дрожжей, растущих на алканах или метаноле. Помню, как поражены мы были несколько лет назад, когда узнали, что у млекопитающих пероксисомы встречаются главным образом в печени и в почках — ведь именно там в основном синтезируются углеводы. Правда, до сих пор никто не доказал, что в этих тканях пероксисомы действительно участвуют в образовании углеводов.

Поскольку пероксисомы найдены во всех больших группах эукариот, можно предположить, что они были и у примитивного одноклеточного организма, гипотетического общего предка эукариот. Простота организации и расточительность энергетики дыхательной

цепи пероксисом заставляют думать, что пероксисомы эволюционно древнее митохондрий.

ЕСЛИ у каких-то примитивных организмов, не имевших митохондрий, окислительными реакциями обмена веществ действительно ведали пероксисомы, то не исключено, что и теперь существуют такие клетки. Это предположение побудило Мюллера заняться поиском среди Protozoa организмов, в клетках которых есть пероксисомы, но нет митохондрий. Он остановился на трихомонадах. В их клетках много типичных микротелец, но нет митохондрий. Изучение этих простейших важ-

но и с медицинской точки зрения: трихомонады паразитируют в половых путях животных и человека и вызывают венерические заболевания.

Д. Линдмарк (сейчас он сотрудник Корнеллского университета) и Мюллер выделили и всесторонне изучили микротельца трихомонад. Однако вместо гипотетических потомков предковых пероксисом Мюллер обнаружил у трихомонад гидрогеносомы — органеллы, способные окислять пируват до ацетата и углекислоты. Этот процесс сопряжен там с синтезом АТФ. В аэробных условиях высвобождающиеся при окислении электроны передаются на кислород. В его отсутствие они пе-

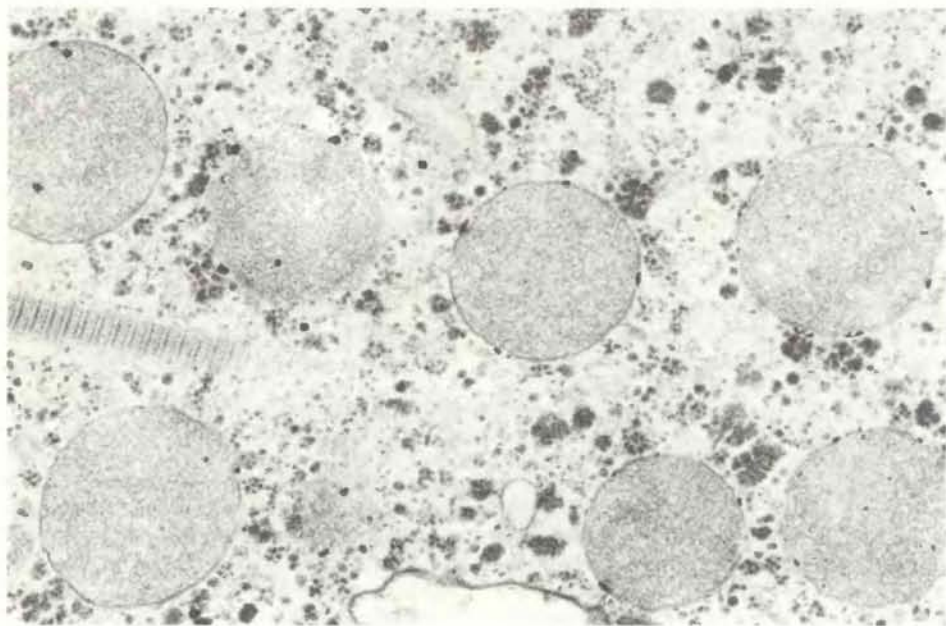
реходят к протонам (H^+), в результате чего образуется водород (H_2).

Водород в гидрогеносомах образуется благодаря тому, что в них есть и соответствующая гидрогеназа, и ферредоксин — белок с низким окислительно-восстановительным потенциалом, способный к переносу электронов. Он служит акцептором электронов, поступающих от фермента пируватдегидрогеназы. Кроме этого, благодаря ферредоксину в гидрогеносомах восстанавливаются некоторые производные нитроимидазола с небольшим окислительно-восстановительным потенциалом, превращаясь в очень токсичные соединения, что далеко не безразлично для клеток самих трихомонад. Поэтому нитроимидазолы стали применять для лечения вызываемых этими простейшими заболеваний. (Впрочем, естественный отбор тут же перешел в успешное контрнаступление, и Мюллер сейчас занят изучением новых патогенных штаммов трихомонад, не чувствительных к имеющимся лекарствам.)

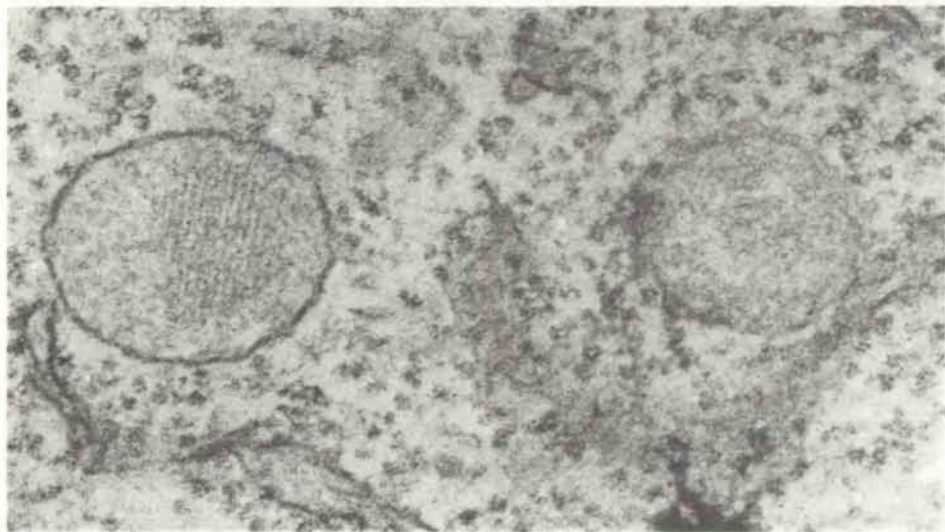
Итак (оставим пока в стороне теоретические проблемы биологии), открытие гидрогеносом взято на вооружение в той войне, которая ведется сейчас в США с наиболее распространенным венерическим заболеванием. В этой связи еще раз напомним тем, кто финансирует и планирует научные работы, что Мюллер и не помышлял о практическом применении результатов своих исследований; даже механизм образования водорода у трихомонад его поначалу вовсе не интересовал. Он закидывал удочку, надеясь выловить примитивные пероксисомы, а на крючок попались гидрогеносомы. Никакого биохимического подобия у этих двух типов частиц найдено не было. По-видимому, они не связаны общим происхождением.

Еще один (и, наверное, не последний) класс микротелец был недавно открыт Ф. Опердо в лаборатории П. Борста в Амстердамском университете. У новых частиц не только своеобразная морфология. Необычен и метаболизм: оказалось, что в них функционирует большой фрагмент цепи гликолиза, основного пути превращения глюкозы в низкомолекулярные соединения углерода. Эти необычные органеллы, которые назвали гликосомами, свойственны целому ряду простейших, паразитирующих в крови животных и человека, в том числе возбудителям известной сонной болезни, болезни Чагоса и различных лейшманиозов.

В клетках всех прочих животных, изученных в этом плане, ферменты гликолиза находятся в цитозоле вне связи с какими-либо структурами. Тем более интересно было обнаружить многие из них внутри ограниченной мембраной органелл. В аэробных усло-



ГИДРОГЕНОСОМЫ *Trichomonas vaginalis*. Большие плотные образования — это гликоген, депо глюкозы. Исчерченная полосками структура слева — скелетное образование, коста. Электронная микрофотография сделана Э. Шио. (Увеличение $\times 40\,000$.)



ГЛИКОСОМЫ по размеру обычно меньше других микротелец. Вот как они выглядят в клетках *Trypanosoma brucei* (этот паразит домашних животных распространен в Африке; его переносчик — муха цеце). Электронная микрофотография сделана П. Бодуэном. (Увеличение $\times 105\,000$.)

виях гликосомы обеспечивают клетки энергией, «работая в паре» с митохондриями, но они способны на это и сами по себе — в отсутствие кислорода или если окислительные реакции в митохондриях искусственно подавлены, например салицилгидроксамовой кислотой. Физико-химические свойства гликолитических ферментов гликосом необычны, хотя они катализируют в принципе те же реакции, что и цитозольные ферменты гликолиза. По этой причине в гликосомы легко прицелиться лекарственным препаратом, специфически поражающим именно гликосомальные ферменты, и таким образом можно уничтожать возбудителей опасных болезней, в клетках которых есть гликосомы. (Вот еще один пример практического использования достижений «чистой» науки: Оперло сейчас возглавляет отдел борьбы с тропическими болезнями в Международном институте клеточной и молекулярной патологии, который мы организовали в Брюсселе специально для того, чтобы оживить междисциплинарные контакты.) Гликосомы при всем их морфологическом сходстве с микротельцами животных и растений по биохимическим свойствам сильно отличаются от пероксисом и, видимо, не имеют с ними общих предковых форм.

СОГЛАСНО относительно простой и до сих пор популярной гипотезе о происхождении микротелец, они рассматриваются как производные главной системы внутренних мембран клетки. Как я уже отмечал, большая часть того, что нам известно о биогенезе пероксисом и глиоксисом (относительно гидрогеносом и гликосом сведений нет), говорит против этой гипотезы. Так, посттрансляционный перенос белков от рибосом через цитозоль в пероксисомы напоминает биогенез многих белков, которые закодированы в ДНК ядра, синтезируются в цитоплазме, а функционируют в митохондриях или же хлоропластах. Эти органеллы окружены двойной мембраной. Предполагается, что они происходят от эндосимбиотических организмов: когда-то небольшие бактериальные клетки, способные к окислительному фосфорилированию (будущие митохондрии) или к фотосинтезу (будущие хлоропласты), были захвачены более крупными клетками — примитивными предками нынешних эукариот. Впоследствии между «пленниками» и «захватчиками» установились симбиотические отношения, а со временем клетки-«пленники» превратились во внутриклеточные органеллы. Возникает вопрос: а не были ли когда-то эндосимбионтами и микротельца?

Основным доводом в пользу гипотезы об эндосимбиотическом происхождении хлоропластов и митохондрий

служит то, что в них есть собственный генетический материал — ДНК, в которой закодирована структура некоторых белков этих органелл, и собственный аппарат для его транскрипции и трансляции, т.е. биосинтеза белка. Несколькими годами назад появилось сообщение о присутствии похожего на ДНК компонента в гидрогеносомах, но Мюллер не смог подтвердить это наблюдение биохимическими тестами. Надежных данных о самостоятельной генетической системе в микротельцах нет. Считается, что на эндосимбиотическое происхождение митохондрий и хлоропластов указывает также двуслойное строение их мембран — наружная рассматривается как мембрана вакуоли, в которую первоначально была заключена бактерия-симбионт. Микротельца же (за исключением гидрогеносом) имеют всего одну мембрану.

Нельзя, впрочем, считать, что отсутствие независимого генома и двойной мембраны исключает возможность эндосимбиотического происхождения микротелец. Нелишне отметить, что 90% генетической информации о митохондриях и хлоропластах находится в ядре; можно думать, что органеллы, ставшие эндосимбионтами раньше хлоропластов и митохондрий, успели передать в ядро все свои гены. Что касается двуслойной мембраны, то клетка вовсе не обязательно окружает эндопаразит вакуолью, он может находиться непосредственно в цитоплазме. Гипотеза о происхождении микротелец путем симбиоза кажется весьма правдоподобной не только в свете данных по их биогенезу, о которых уже шла речь. В ее пользу говорит также и примитивный (так и хочется сказать — «бактериальный») характер метаболических процессов в микротельцах. Цепь гликолиза рассматривают как одну из древнейших ферментативных систем; считают, что гликолиз возник раньше фотосинтеза, когда в атмосфере практически не было кислорода. В гликосомах сохранился, видимо, наиболее примитивный вариант гликолиза. Быть может, и способность гидрогеносом восстанавливать протоны с образованием водорода — это тоже реликт эпохи анаэробнозиса. Нечто похожее есть до сих пор у *Clostridium* — анаэробных бактерий, к которым относятся, например, возбудители газовой гангрены. Что касается пероксисом, то их, вероятно, следует рассматривать как пример успешной адаптации органелл к появлению в атмосфере кислорода. Простой, не связанный с фосфорилированием механизм дыхания в пероксисомах, должно быть, возник раньше, чем более сложная, сопряженная с окислительным фосфорилированием дыхательная цепь, типичная для митохондрий и бак-

терий. В конечном счете пероксисомы, как и бактерии, выработали способность легко адаптироваться к разнообразным, необычным источникам питания.

Надо признать, что все эти рассуждения довольно легковесны. Когда речь заходит о событиях, отделенных от нас миллиардами лет, недостаток фактов приходится за неимением лучшего компенсировать богатством воображения. И все же гипотезу об эндосимбиотическом происхождении микротелец стоило здесь упомянуть: дело в том, что ее можно проверить. Если, например, определить последовательности аминокислот в белках микротелец (или нуклеотидные последовательности соответствующих им генов) и сравнить их с гомологичными молекулами разнообразных прокариотических и эукариотических клеток, то, основываясь на сходстве и различиях, можно будет делать какие-то выводы о происхождении микротелец. Такие исследования уже ведутся.

Издательство МИР предлагает:

Д. Кнут
ИСКУССТВО
ПРОГРАММИРОВАНИЯ
ДЛЯ ЭВМ
Том 3

Сортировка и поиск

Перевод с английского

Третий том известной монографии одного из крупнейших американских специалистов по программированию Д. Кнута (первый том вышел в издательстве «Мир» в 1976 г., второй — в 1977 г.) состоит из двух частей: «Сортировка» и «Поиск». В них подробно исследуются различные алгоритмы внутренней и внешней сортировки, изучаются методы поиска информации в таблицах на основе сравнения или преобразования ключей, даются оценки эффективности предлагаемых алгоритмов.

1978, 64,53 л. Цена 4 р. 80 к.



Производство свинины в современном мире

Сегодня свинина обеспечивает около 25% энергии и 9% белка, которые люди получают с продуктами животного происхождения. Новейшие достижения экономики в соединении с успехами биологических исследований поднимают свиноводство на новый уровень

УИЛСОН Г. ПОНД

В ТРАДИЦИОННОМ представлении свинья — это животное, которое роется в земле в поисках съестного, купается в грязи и кормится поюми, куда сваливают все пищевые отбросы фермерского хозяйства. Сегодня это далеко не так. Современное агропроизводство имеет дело с совершенно иной свиньей. Животное проводит всю свою короткую жизнь в помещении: сначала в отделении опороса, где оно появляется на свет и где его выкармливает мать, затем в питомнике для молодняка и в отделении выращивания и откорма, где его доводят до убойного веса. Рацион разрабатывают с помощью электронно-вычислительной машины; основу его составляют зерно и соевые бобы, к ним добавляют белок, микроэлементы и витамины. Если свинья не предназначена для разведения, она поступает на рынок уже в 5 — 6-месячном возрасте, достигнув веса 100 кг и больше, тогда как при рождении она весит всего около 1 кг. В 1980 г. на рынок США — одной из ведущих стран по производству свинины — поступило около 97 млн. свиней общей стоимостью 8,9 млрд. долл.

Остановимся кратко на терминах, которыми пользуются в свиноводстве. Все свиньи, как дикие, так и домашние, относятся к семейству Suidae (свиньи), которое входит в отряд Artiodactyla (парнокопытные) класса млекопитающих. В большинстве стран «свинья» — это общий термин для всех домашних животных этого вида независимо от возраста и веса*. Есть термины более узкие по смыслу. Многие, возможно, знают, что хряки — это некастрированные самцы, а боровы — кастрированные; что подсвинки — это девственные самки, а рожавшие самки называются свиноматками; что поро-

сят, недавно взятых у свиноматки, называют отъемышами.

Наша домашняя свинья происходит от европейской дикой свиньи (*Sus scrofa*), известной также как европейский дикий кабан. Дикие свиньи и сегодня встречаются во многих районах мира. Они живут группами (за исключением старых самцов, которые живут поодиночке) и ведут ночной образ жизни. Дикие свиньи всеядны — роют землю в поисках съедобных корней и клубней, собирают упавшие с деревьев фрукты и орехи, поедают различных насекомых, рептилий, птиц и мелких млекопитающих. Рост дикой свиньи достигает 90 см в холке, тело ее покрыто густой жесткой щетиной. Она быстро бегает и хорошо плавает.

Одомашнивание свиньи произошло очень давно. Например, есть данные, что домашних свиней жители теперешнего Ирака держали еще 6750 лет до н.э., а в Китае — 2900 лет до н.э. Вероятно, свинья привлекла внимание людей как домашнее животное потому, что, поедая пищевые отходы, она выполняла роль мусорщика и притом для ее кормления годился любой корм. В развивающихся странах эти факторы и сейчас сохраняют свое значение.

Свинью отличает исключительно высокая эффективность использования корма в смысле превращения его в мясо, и в этом — ее главная ценность для современного агропроизводства. Сегодня свинье, чтобы прибавить в весе 1 кг, нужно съесть 3 — 3,5 кг корма; еще 50 лет назад для этого требовалось 4 кг корма. По величине прироста энергетической ценности мяса в расчете на

каждую калорию полученного корма свинья превосходит и крупный рогатый скот, и овец, и домашнюю птицу.

При производстве свинины, так же как и говядины, баранины или птицы, фермер, конечно же, руководствуется прежде всего экономической выгодой. Он получает более высокую прибыль от продажи скота, выкормленного соевым зерном, чем если бы он продавал зерно для непосредственного использования потребителем.

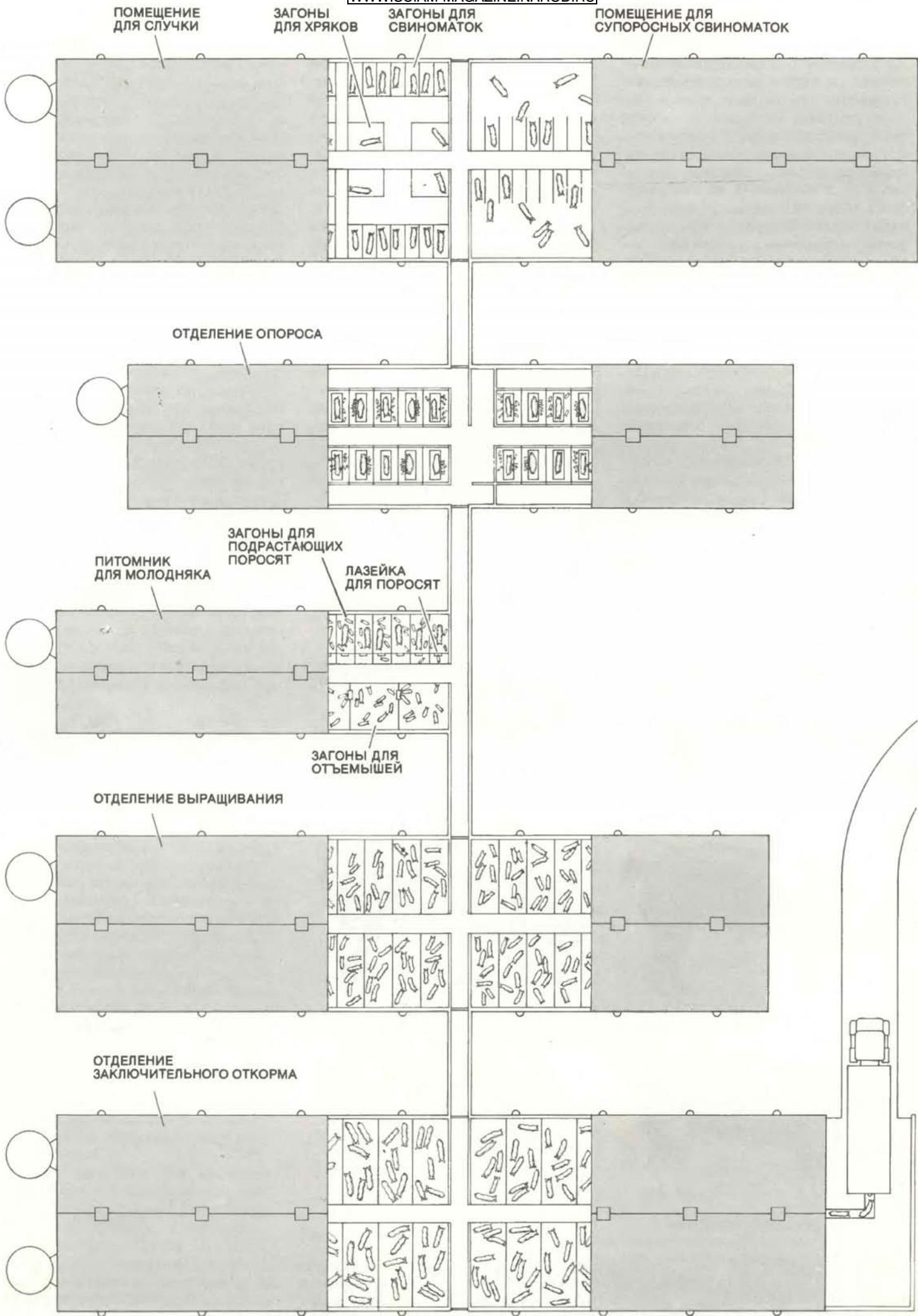
Как пищевой продукт свинина имеет высокую питательную ценность. Для взрослого человека кусок постной свинины весом около 115 г удовлетворят примерно 3/4 его ежедневной потребности в тиамине и железе, от 1/4 до 1/3 потребности в никотиновой кислоте, витаминах В₆ и В₁₂, половину потребности в белке и почти полностью — потребность в микроэлементах. В Северной Америке и Европе ежегодно потребляют около 27 кг свинины на душу населения; среднее потребление свинины на земном шаре составляет, однако, менее 9 кг на человека в год. Поскольку количество животного белка в рационе, как правило, увеличивается пропорционально росту среднего дохода на душу населения, разница в потреблении свинины отражает огромную пропасть между жизненным уровнем населения разных стран.

Современные тенденции в свиноводстве

В настоящее время в промышленном свиноводстве перешли от содержания свиней в свинарниках, где они проводи-

В СОВРЕМЕННЫХ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ свиней выращивают в помещении от рождения до отправки на рынок. Перед вами вид сверху на комплекс из 5 зданий; крыши нарисованы частично, чтобы было видно, что внутри. Свиньи появляются на свет и вскармливается матерью в отделении опороса; чтобы свиноматка случайно не задавила поросят, ее помещают в металлическую клетку. Свиней в питомнике для молодняка, в отделениях выращивания и заключительного откорма кормят по специальным рационам, составленным с таким расчетом, чтобы к 5—6 месяцам животное достигло веса не менее 100 кг. Часто отделения выращивания и заключительного откорма находятся в одном здании.

* В Великобритании также применяется один общий термин (pig), а в США свиноводы говорят pig о молодых особях весом не более 55 кг и hog — о более крупных животных.



ли только часть времени, к постоянно-му содержанию в специальных помещениях со строго контролируемыми условиями. Это вызвано, с одной стороны, высокой стоимостью рабочей силы, повышением цен на землю и тем, что на плодородных землях стало выгоднее возделывать зерновые культуры, а не использовать их под выпас скота. С другой стороны, разработаны новые научно обоснованные рационы и нормы кормления и содержания животных и эффективные методы борьбы с возбудителями заболеваний и паразитами животных.

Сейчас наиболее распространенный тип свиноводческого хозяйства — ферма, где свиней выращивают от рождения до рыночного возраста. Такая ферма обычно состоит из нескольких отделений: для супоросных (беременных) свиноматок, для опороса, для молодняка и, наконец, для выращивания и заключительного откорма. Пол во всех помещениях со щелями, так что удобно удалять отбросы. В США в районах умеренного климата на фермах используют обогревательные системы для поддержания необходимой температуры; иногда отделения для выращивания и заключительного откорма свиней не обогреваются.

Оплата корма в свиноводческих хозяйствах составляет от 55 до 85% всех производственных расходов. Эта величина может колебаться в зависимости от стоимости кормов, обслуживания и эксплуатации помещений на разных фермах и в разное время года. Стоимость кормов в свою очередь зависит от доступности и стоимости необходимых продуктов в данной местности, потребности в этих продуктах людей и домашних животных, цен на белковые, витаминные и минеральные добавки.

Пищеварительная система свиней сходна с человеческой, соответственно сходны и пищевые потребности, поэтому фермер, занимающийся свиноводством, вступает, так сказать, в конкурентные отношения с прочими людьми за продукты питания. Острота «конкуренции» зависит от того, насколько велик спрос у населения на те или иные продукты. Например, в США пшеница и картофель не идут на корм свиньям, поскольку большой спрос людей на эти продукты делает их слишком дорогими, а в других странах и зерно, и картофель входят в рацион свиней.

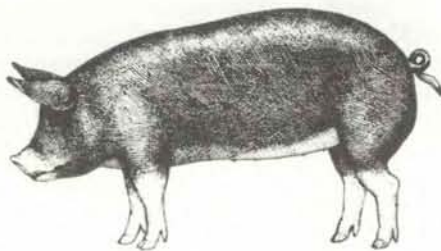
На каждую свинью с рыночным весом 100 кг фермер расходует около 360 кг корма, который состоит в ос-

новном из концентратов, приготовленных из кукурузной и соевой муки. В общем расходе корма учитываются потребности всего выращиваемого стада, при этом следует иметь в виду, что даже при хорошо организованном производстве какое-то число свиней погибает, не достигнув рыночного возраста. Из 360 кг корма, который съедает одна свинья, 45—90 кг приходится на добавки из белков, микроэлементов и витаминов, которые необходимы, чтобы компенсировать питательную неполноценность кукурузы и хлебных злаков. Пищевые потребности свиней на разных этапах выращивания установлены сейчас так точно, что фермеры, занимающиеся промышленным свиноводством, для составления рационов применяют компьютеры. Число фермеров, имеющих собственные компьютеры, постоянно растет.

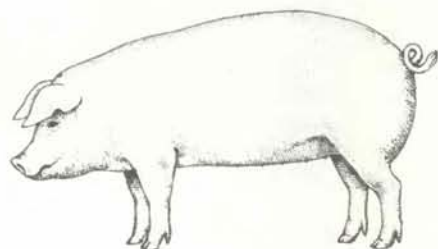
Непереработанные кукуруза и некоторые хлебные злаки обычно составляют основную часть рациона свиней. Однако в дешевых кормовых смесях, составленных с помощью ЭВМ, велика доля отходов различных отраслей пищевой промышленности: мукомольной (пшеничные и кукурузные отруби), мясной (кровяная, мясная и костная мука) и винокурной. Возможность ис-



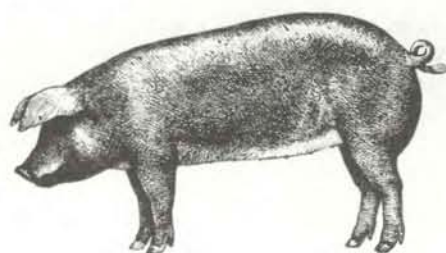
ДИКИЙ КАБАН



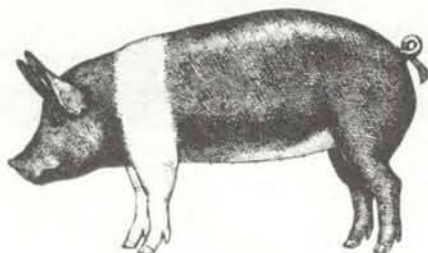
БЕРКШИР



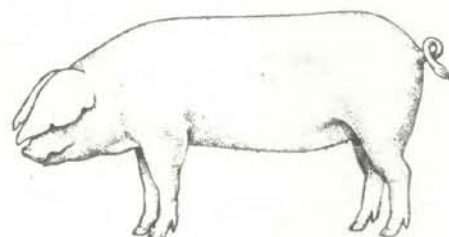
БЕЛАЯ ЧЕСТЕРСКАЯ



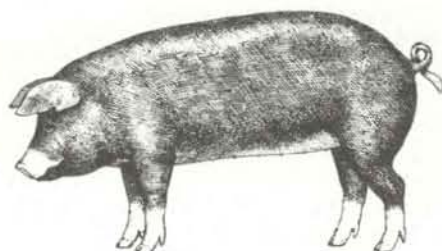
ДЮРОК



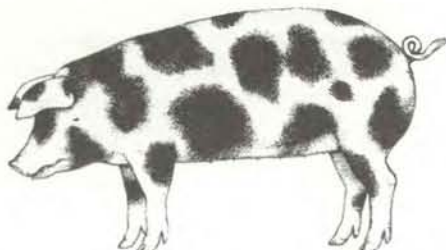
ГЕМПШИР



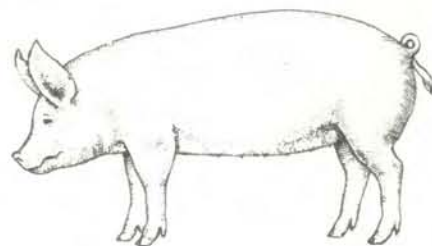
ЛАНДРАС



ПОЛЬСКО-КИТАЙСКАЯ



СПОТ



ЙОРКШИР

ЧИСТОПОРОДНЫЕ СВИНЬИ — это генетический фонд для гибридных стад, которые содержатся на большинстве коммерческих свиноферм. Здесь показаны чистые породы, которые используют для скрещивания на фермах США. Лишь в

немногих странах предпочтение отдается чистопородным стадам; например, в Дании почти все свиньи породы ландрас. Вверху слева — предок современной свиньи, европейский дикий кабан *Sus scrofa*.

пользования этих отходов в качестве кормов придает им определенную ценность: если бы их просто выбрасывали, а не продавали на корм, то конечные продукты соответствующих производств стоили бы дороже. Сейчас известно, что в рацион свиней, особенно супоросных свиноматок, можно включать и фуражные культуры, например люцерну. Специальными исследованиями было недавно показано, что репродуктивный цикл свиноматок, которые получали корм, на 96% состоявший из высококачественной люцерны и на 4% из микроэлементов и витаминов, протекал нормально.

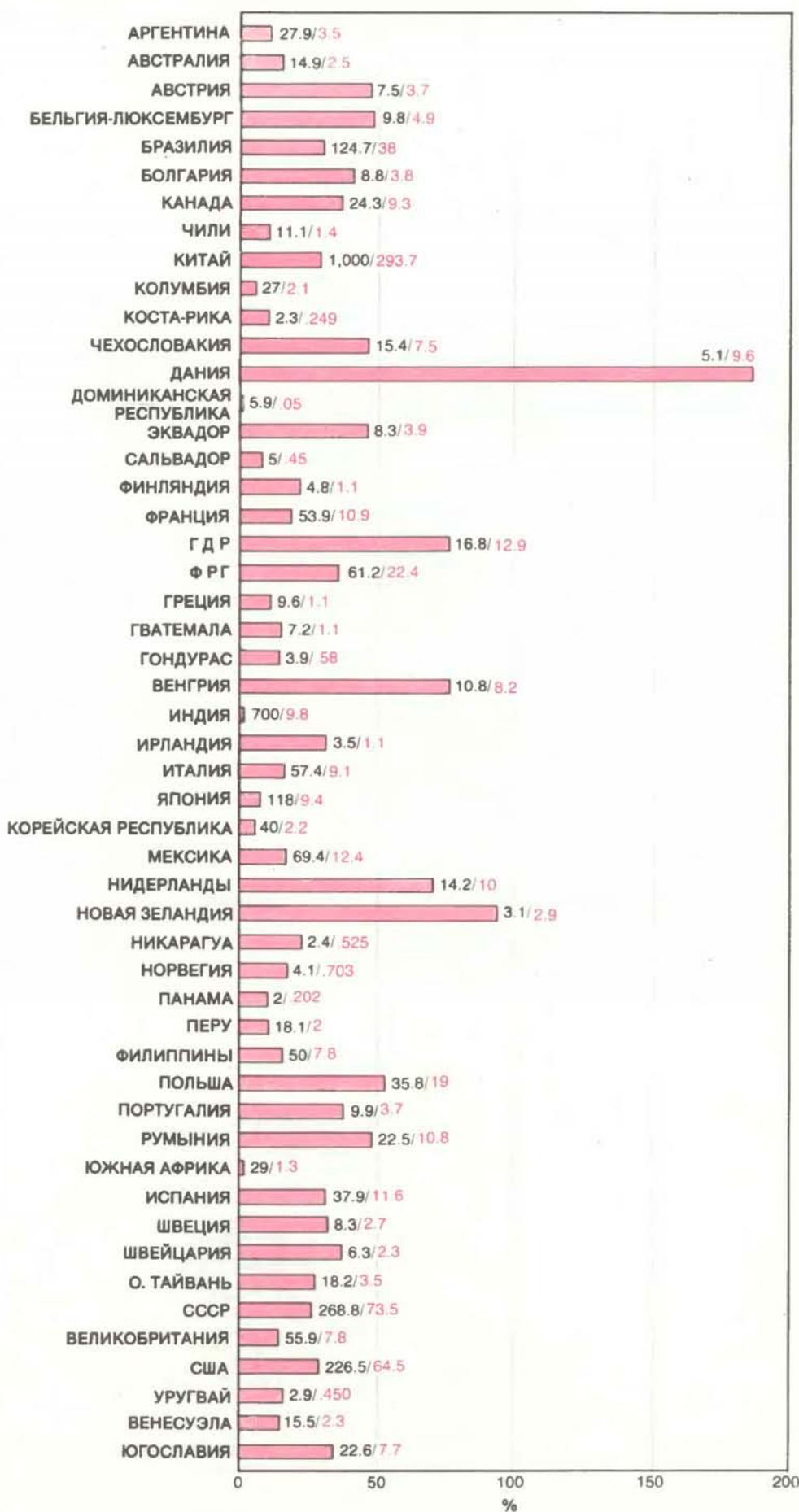
Биология свиней

Годовой режим работы свинофермы должен быть приспособлен к биологическому циклу свиней. Хотя свинья достигает половой зрелости к 5—6 месяцам, первую случку обычно проводят не ранее чем в 8-месячном возрасте, когда она становится крупнее и физиологически более зрелой. Супоросный период длится в среднем 114 дней, период лактации 6—8 недель. Эстральный цикл занимает 21 день, и повторяются эти циклы в течение всего года. Во время беременности и лактации у свиней (в отличие от коров) течки прекращаются. Когда поросята достигают 4—6-недельного возраста, их отнимают от матери, и у нее через 3—10 дней возобновляется нормальный эстральный цикл.

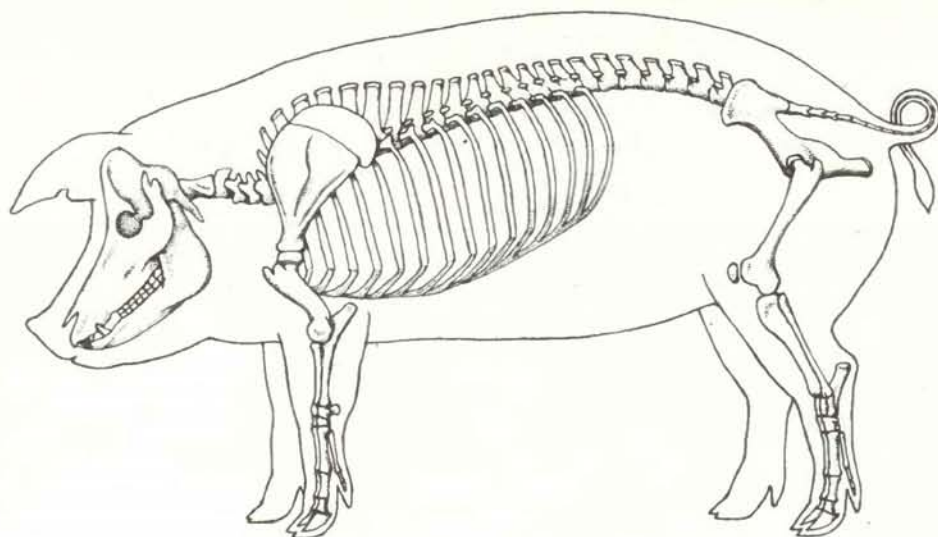
В соответствии с физиологической нормой развития первая беременность у свиней заканчивается примерно в годовалом возрасте, и в последующие годы частота репродуктивно-лактационных циклов не может быть больше чем 2,7 раза в год. Обычно на свинофермах свиноматка рождает в среднем по стаду 1,8 раза в год (с учетом бесплодных свиноматок, неудач при первой случке и других факторов). В помете обычно бывает 9—10 поросят: из них до половой зрелости в среднем доживает 7,2.

Новорожденный поросенок весит около 1 кг, но он необыкновенно быстро растет и уже к концу первой недели жизни весит вдвое больше, а к концу третьей недели — втрое. Нередко трехнедельные поросята весят почти 7 кг. Рыночного веса 100—110 кг поросенок достигает к пяти-шести месяцам. Некоторые поросята менее чем через 120 дней весят 90 кг, съедая при этом менее 2 кг корма на каждый килограмм привеса.

Поросят мужского пола, как правило, кастрируют в первые дни или недели жизни, чтобы не допустить неприятного вкуса свинины, свойственного мясу половозрелого хряка. Эту операцию можно делать и позже с тем же успехом, тем более что некастрированные самцы растут быстрее и мясо у них



УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ СВИНОВОДСТВА в разных странах. Черные цифры — численность населения (млн. человек), цветные — поголовье свиней (млн. голов). Темная полоса отражает отношение поголовья свиней к численности населения данной страны (в %). Чтобы корректно сравнить эти величины, следует также учесть, какая часть свиней поступает ежегодно на рынок.

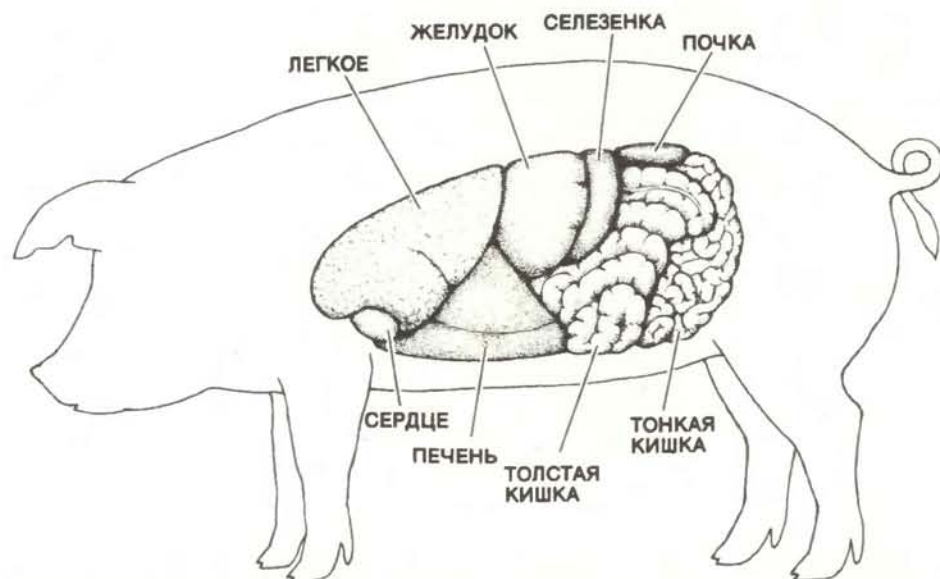
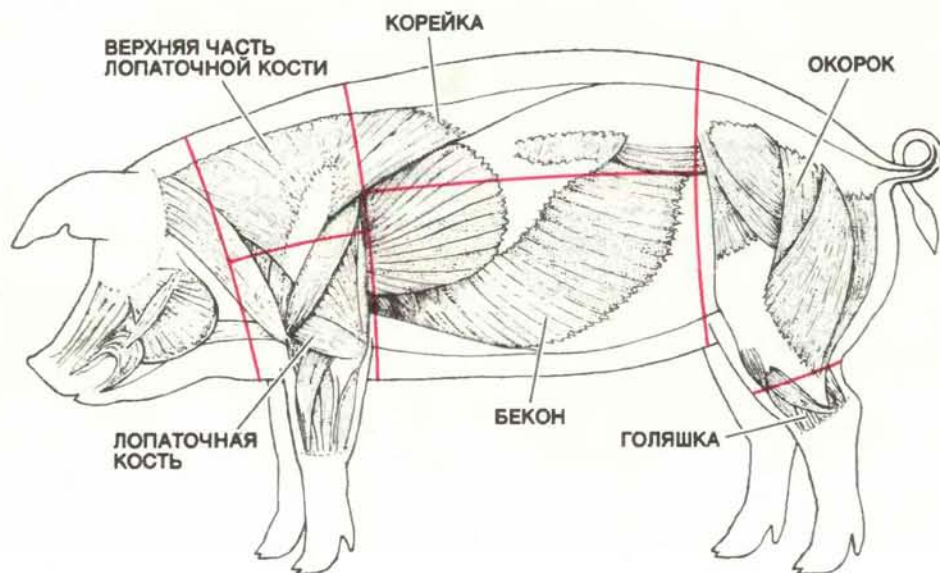


менее жирное, чем у кастрированных. Сейчас исследуют возможность получения половозрелых хряков, мясо которых не имело бы неприятного вкуса. Фермеры также часто откладывают кастрацию хряков, чтобы иметь больше времени для выбора лучших производителей.

Межпородное скрещивание и его роль в промышленном свиноводстве

Во многих странах генетическим материалом для селекционной работы в целях повышения экономической эффективности свиноводства служит несколько чистопородных популяций, на долю которых обычно приходится менее 10% общего поголовья свиней. В других странах дело обстоит иначе: в Дании, например, основная часть популяции свиней представлена одной породой — ландрас. Однако в большинстве развитых стран промышленное свиноводство основано на скрещивании разных пород (кроссбридинге). В США, например, таких пород 8: ландрас, беркшир, белая чештерская, дюрок, гемпшир, польско-китайская, спот и йоркшир. Большинство пород свиней, распространенных в промышленном свиноводстве во всем мире, выведено в США и Великобритании*. Американская порода йоркшир похожа на европейскую большую белую, а американский ландрас — на ландрас скандинавских стран.

90% общей годовой продукции свинины получают, следуя общепринятой системе 2-, 3- и 4-породного скрещивания. Кроссбредные свиньи превосходят своих чистопородных родителей по ряду экономически важных показателей: выживаемости, скорости роста, эффективности утилизации кормов, молочности и числу потомков. Межпородное скрещивание как метод товарного свиноводства имеет ценность только тогда, когда ведет к проявлению гетерозиса, или «гибридной силы» (так называют явление превосходства помесного потомства над чистопородными родителями). Повышение эффективности промышленного свиноводства на основе межпородного скрещивания невозможно без постоян-



АНАТОМИЯ СВИНЬИ. Показаны скелет, мышцы и внутренние органы. Даны термины, которыми мясники называют части свиной туши. Цветными линиями обозначена разделка туши.

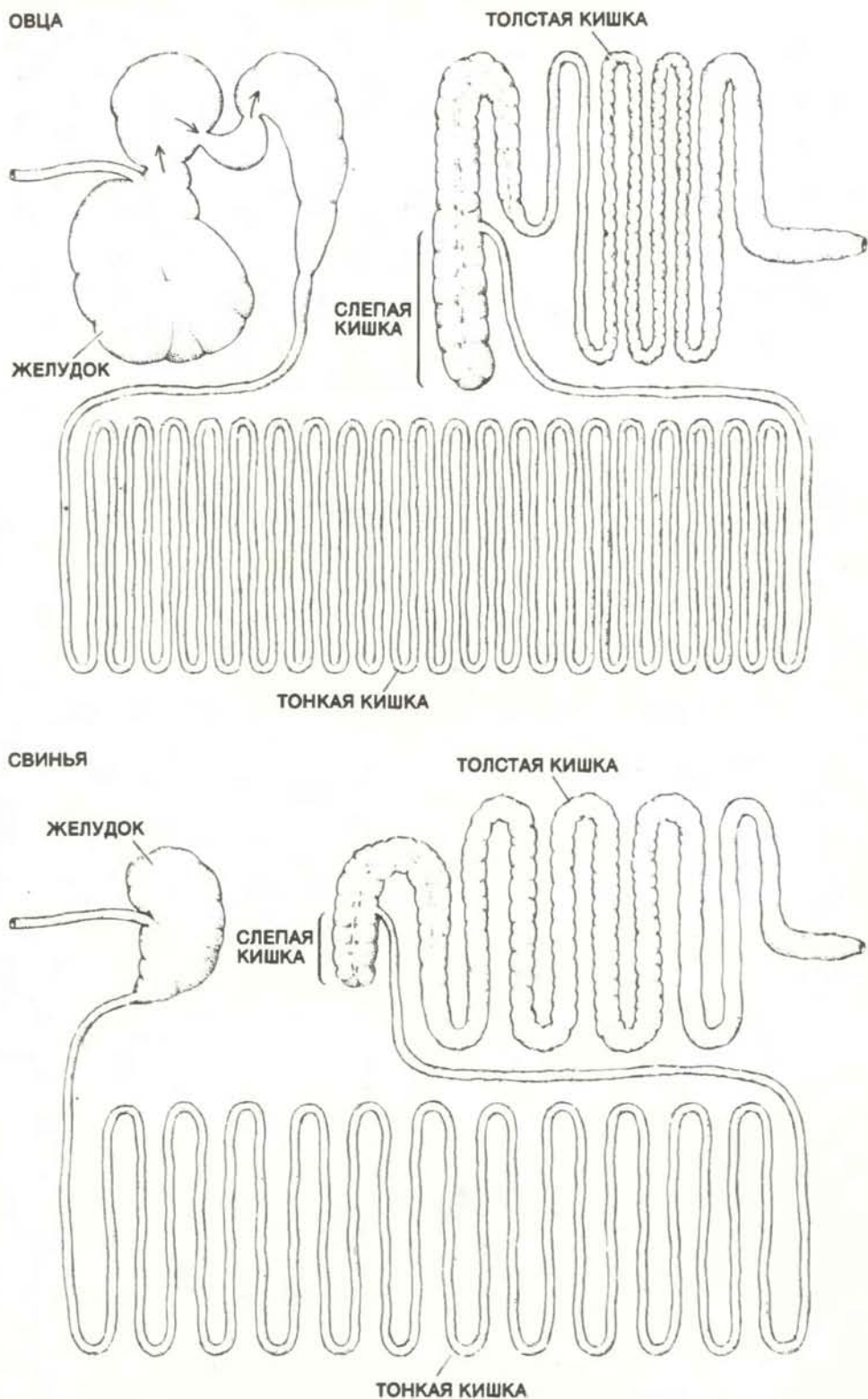
* В СССР распространены в основном породы, выведенные советскими селекционерами. Только за период с 1917 по 1965 г. ими было создано 11 высококачественных пород свиней (см.: Дубинин Н. П. и Глембоцкий Я. Л. Генетика популяций и селекция. — М.: Наука, 1967, с. 397). — *Прим. перев.*

ной интенсивной работы над созданием племенных чистопородных стад с высоким качеством нужных наследственных признаков.

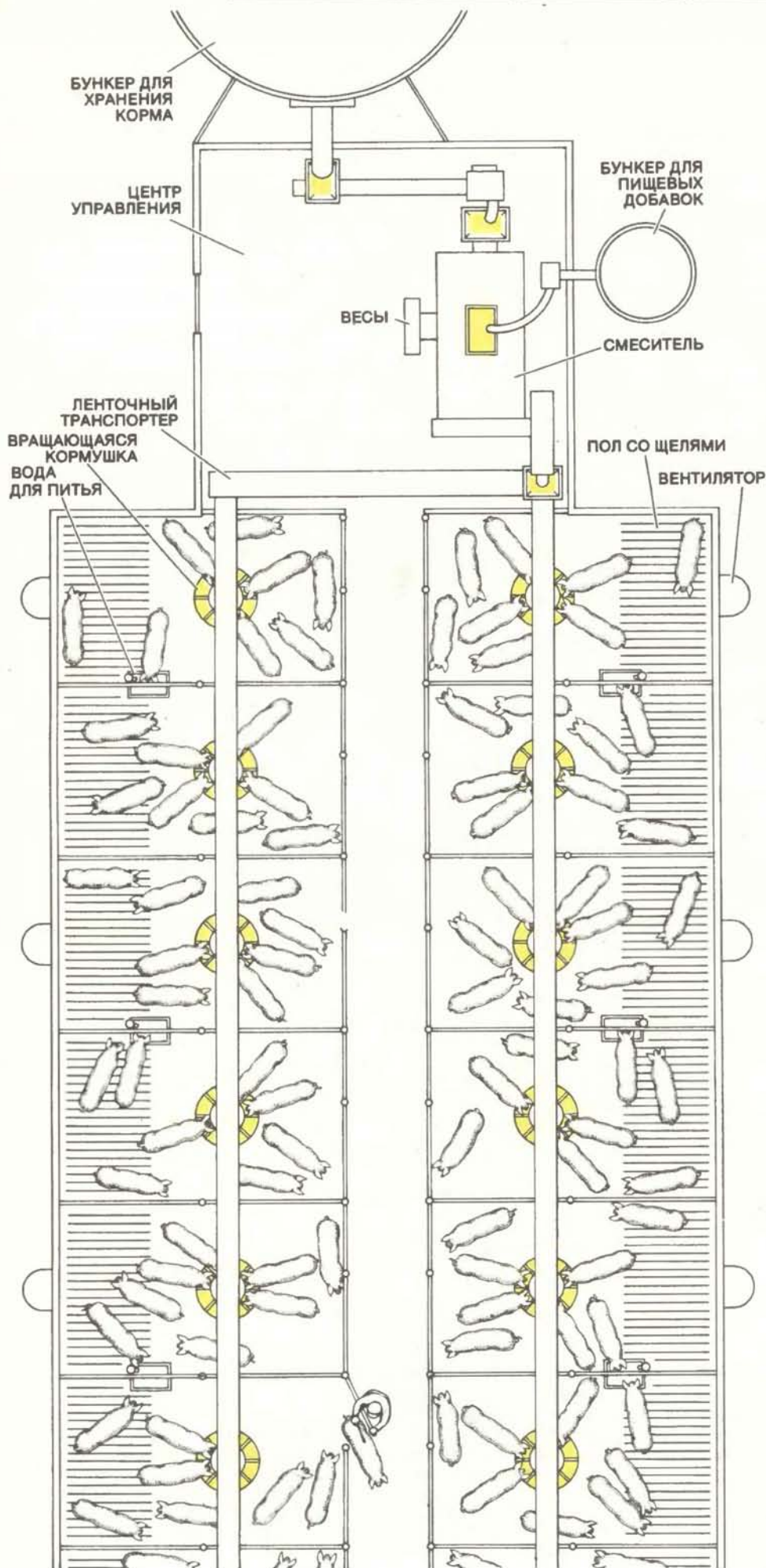
В США существуют разные свинофермы: на одних свиных проводит всю жизнь, на других поросят выращивают до 8—10-недельного возраста, а затем передают на предприятия, где животных откармливают до рыночного веса. Там, где имеют дело с поросятами, их подвергают ряду стандартных операций: отсекают резцы, которые могут поранить свиноматку, когда поросенок сосет ее; вводят препараты железа; дезинфицируют пупок: надрезают уши для маркировки; отрубают хвосты, так как свиньи имеют привычку жевать хвосты друг у друга.

На свиноводческих фермах проводят вакцинацию для предупреждения инфекционных заболеваний, опрыскивание и лекарственную терапию для борьбы с наружными и внутренними паразитами, спаривание и выбраковку свиней для поддержания высокой эффективности репродукции и оптимизации использования оборудования фермы, а также мероприятия по улучшению сбыта, чтобы обеспечить максимальный доход. На ферме, где выращивают чистопородных животных, необходимо подробно и точно записывать родословные всех животных. Такая ферма должна также давать своевременную и четкую информацию о своей продукции на рынки сбыта, чтобы другие свиноводы были в курсе того, что данная ферма может предложить для межпородного скрещивания. Предприятия, где проводится окончательный откорм свиней, не связаны такими строгими правилами, как хозяйства, занимающиеся разведением животных, и затраты труда на них меньше, но требуется хорошее знание рыночной конъюнктуры, чтобы число свиней на ферме не было ни слишком большим, ни слишком малым.

Серьезная проблема на свиноводческой ферме — здоровье животных. Свиньи подвержены инфекционным заболеваниям, нарушениям обмена веществ и заболеваниям, связанным с характером питания. Сейчас научились предупреждать многие инфекции и успешно бороться с наружными и внутренними паразитами, так что расходы фермеров-свиноводов на лечение животных сократились. Стали уделять больше внимания состоянию здоровья животных и профилактическим мероприятиям, включая вакцинацию против инфекций, постоянный паразитологический контроль и строгие ограничения на перемещения свиней с одной фермы на другую. Благодаря ограничению контактов между людьми и животными, а также введению карантина для вновь поступающих на ферму свиней многие предприятия коммерческо-



ОСОБЕННОСТИ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СВИНЬИ в сравнении с пищеварительной системой овцы. Овца — жвачное животное с большим желудком, состоящим из четырех отделов: рубца, сетки, книжки и сычуга. Ее пищеварительная система приспособлена для переваривания клетчатки. Трава, которую съела овца, сначала попадает в рубец; затем овца отрыгивает ее в ротовую полость и пережевывает. Пережеванную траву животное вновь проглатывает, и она последовательно проходит через три других отдела желудка. Свинья — всеядное животное, но ее желудок не в состоянии переваривать много клетчатки. Сейчас пытаются с помощью методов генетической инженерии изменить свойства микрофлоры кишечника так, чтобы свинья могла переваривать траву и другие волокнистые растения, что значительно расширило бы ассортимент кормов.



го свиноводства имеют относительно здоровые стада (или, как их называют свиноводы, стада SPF — specific-pathogen-free).

Даже в хорошо налаженных и тщательно контролируемых стадах все еще велики финансовые издержки, связанные с нарушениями обмена веществ. Одна из причин заболеваний — стресс, свойственный некоторым породам и генетическим группам свиней. Распространен также сложный синдром, характеризующийся воспалением матки, маститом и исчезновением молока; он приводит к высокой смертности среди новорожденных поросят.

Заболевания, связанные с характером питания, сейчас не столь обычны, как раньше, но некоторые из них развиваются даже при нынешней продуманной системе составления рационов. Например, острый дефицит селена и витамина Е — причина очень высокой смертности среди молодняка в некоторых районах США и других стран, где селена мало в почве и соответственно в растениях. Если у животных наблюдаются симптомы недостатка тех или иных веществ, изготовители кормов создают соответствующие добавки. Нередко для введения новой добавки в корм необходимо получить разрешение Управления по контролю за качеством пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств (FDA). Так, например, было в случае с селеном. Еще до того, как его признали важным компонентом кормов, были известны его токсические свойства, и управление разрешило добавление неорганического селена в рацион молодых свиней в дозировке не более 0,3 части на миллион.

Ожидаемые изменения

Хотя промышленное свиноводство за последние тридцать лет очень изменилось благодаря достижениям сельскохозяйственной технологии, биологии и ветеринарии, научные исследования продолжают и мы вправе ожидать открытия новых путей совершенствования этой отрасли животноводства — прежде всего в связи с исследованиями в области генетики, питания и размножения животных.

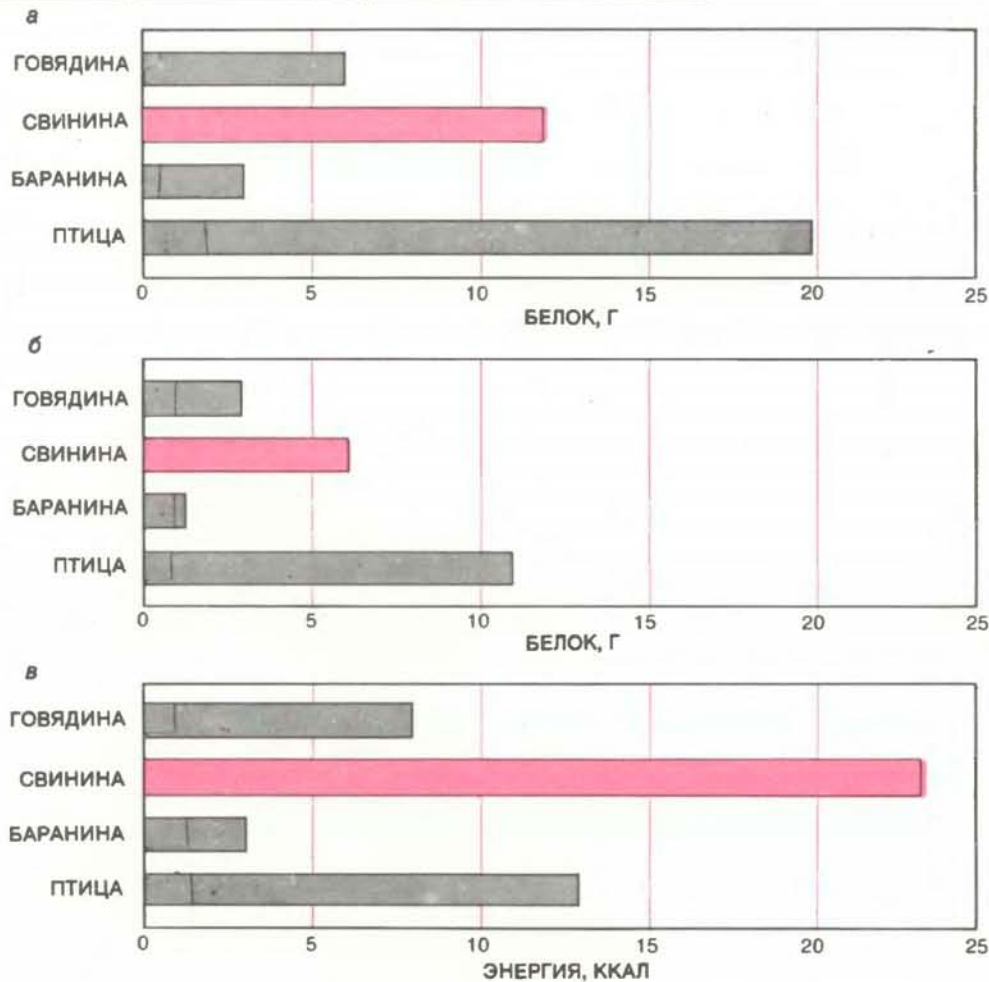
АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ КОРМЛЕНИЯ СВИНЕЙ — часть свиноводческого комплекса. Корм (кукуруза или хлебные злаки) подается из бункера для хранения к смесителю шнековым транспортером. В полу щели, чтобы дом. Белок, микроэлементы и витамины добавляются из расчета 1 кг на каждые 4—8 кг зерна. Смесь подается к кормушкам ленточным или шнековым транспортером. В полу щели, чтобы было легче убирать отходы. Частью этой системы являются кормушки (см. фото на 1-й странице обложки).

В поисках лучших наследственных признаков для межпородного скрещивания фермер обращается к работам популяционных генетиков, которые не только теоретически изучают свойства популяций на математических моделях, но и создают генетический фонд для кроссбридинга. Исследования генетиков, работающих как в системе министерства сельского хозяйства США, так и в частных организациях, направлены, во-первых, на улучшение уже известных признаков, важных для коммерческого свиноводства, и, во-вторых, на поиски новых выгодных признаков.

Современные методы точного измерения различных параметров тела животного, например определение толщины слоя хребтового сала с помощью ультразвука, и методы прогнозирования морфофизиологических качеств взрослого животного по данным обследования молодых животных создают возможности для более эффективного отбора желательных признаков, например упитанности (мясности). Такой метод генетической инженерии, как рекомбинация молекул ДНК («сшивание генов»), открывает перспективы для производства в промышленных масштабах свиных гормонов с помощью бактерий. Получив этим методом гормоны роста, фермер сможет ускорить рост свиней до рыночного веса. Изучается также возможность регулировать секрецию молока и рост мышечной ткани животных (в том числе свиней) с помощью синтетических гормонов роста.

Рост и лактация, будучи генетически обусловленными, находятся под контролем гормонов, ферментов, а также ряда процессов, происходящих на внутриклеточном уровне. Пока генетические механизмы этой регуляции мало изучены. Новые данные о росте мышечных клеток в культуре, а также результаты экспериментов *in vitro*, проливающие свет на пути синтеза и распада белков и жиров, позволяют надеяться на получение более полного представления о процессах, управляющих образованием мышечной ткани у свиней и других животных.

Техника рекомбинантных молекул ДНК поможет повысить и эффективность кормления животных. Один из путей — направленно изменить свойства микрофлоры кишечника так, чтобы стимулировать образование целлюлазы — фермента, расщепляющего клетчатку на мономеры глюкозы. У свиней целлюлазы нет, и поэтому они не способны усваивать как клетчатку — важную в количественном отношении составную часть растительной пищи, так и другие сложные углеводы. Целлюлаза в кишечнике свиней позволит кормить их пищей, которую сейчас они не могут потреблять.



ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕВРАЩЕНИЯ КОРМА у домашних животных, выращиваемых на мясо. Прирост животной массы оценивают по количеству пищевого белка на 100 г белка, съеденного животным (а); по количеству пищевого белка на 100 ккал энергии, полученной животным с кормом (б); по энергетической ценности (в килокалориях) на 100 ккал энергии, полученной животным с кормом (в).

Техника рекомбинантных молекул ДНК дает также возможность использовать для создания кормов аминокислоты. Штаммы бактерий с рекомбинантной ДНК, делающей их эффективными продуцентами нужных аминокислот, можно культивировать на полупромышленных установках. Если бы оказалось, что полученные таким способом аминокислоты стоят не дороже, чем стандартный корм, то удалось бы экономить более 1,8 млрд. кг пищевого белка ежегодно. Потребность в белке у домашних животных можно было бы удовлетворить, включая в пищу с низким содержанием белка смесь аминокислот, подобранную соответствующим образом.

В промышленном свиноводстве важная роль будет принадлежать новым типам кормов. Сейчас ведется селекция новых сортов кукурузы, ячменя и овса с высоким содержанием необходимой в рационе животных аминокислоты — лизина, которого недостаточно в существующих сортах этих культур. Если включать в рацион злаки с высоким содержанием лизина, можно уменьшить долю белковых добавок к кор-

мам. В развивающихся странах свиней кормят продуктами местного значения, необычными для традиционных рационов, например в Новой Гвинее — сладким картофелем (бататом) и рыбной мукой, в Эквадоре — бананами. Наконец, есть и такие источники белка, как сухие бактерии, дрожжи и водоросли.

Очень важно повысить эффективность репродукции у свиней, так как смертность поросят в период внутриутробного развития и сразу после рождения довольно высока. В США в утробе матери погибает 20–40% особей. У свиноматки в период овуляции созревает примерно 17 яйцеклеток. Хотя в среднем оплодотворяется 95% яйцеклеток, одна свиноматка рождает в среднем 9,4 поросенка, и из них только 7,2 доживает до рыночного возраста. Даже в Дании, где промышленное свиноводство очень эффективно, 20% поросят из каждого помета погибает до отъема от матери, т.е. не достигнув возраста 6–8 недель.

В связи с высокой пренатальной смертностью поросят изучали генетические и эндокринные факторы разви-

тия и размножения и особенности питания свиней; было показано, что с помощью гормонов возможно индуцировать суперовуляцию, т.е. образование большого числа яйцеклеток. В эксперименте у нескольких девственных самок удалось вызвать синхронную овуляцию, введя в корм соответствующие гормоны; широкого практического применения эти результаты не имели, так как пока что нет надежной методики замораживания семенного материала хряков. Синхронизация овуляции и индукция суперовуляции в сочетании с искусственным осеменением свежим или замороженным семенем от генетически высококачественных хряков позволят уменьшить пренатальную смертность поросят.

Повышение эффективности репродукции необходимо сочетать с улучшением ухода за новорожденными поросятами. В молозиве свиноматки — молоке, которое образуется в первые несколько дней после опороса, — содержатся антитела против возбудителей различных заболеваний. Показано, что если новорожденные поросят в первые 2—3 дня жизни получают молозиво, то потом их можно успешно кормить сухой или жидкой пищей. При кормлении сухой пищей выше выживаемость и реже желудочно-кишечные расстройства. Если добиться того, что в одном помете будет выживать 15—20 поросят и часть поросят раньше отнимать от матери, можно от одной свиноматки получать не 12—14 свиней в год, как сейчас, а 24 и более.

Свиноводство в 2000 г. — количественные показатели

Какого прогресса в свиноводстве следует ожидать в ближайшие 20—30 лет? Сотрудники ряда университетов и мои коллеги из Исследовательского центра по мясному животноводству министерства сельского хозяйства рассчитали, как изменятся 8 основных показателей, характеризующих экономику промышленного свиноводства.

Ежегодное число пометов у одной свиноматки должно увеличиться от 1,8 до 2,2, а число свиней от одной свиноматки, поставляемых на рынок, — от 13 до 24. Потери, которые в настоящее время довольно велики, в будущем должны уменьшиться: смертность новорожденных поросят (за период от рождения до отъема) снизится с 15—30 до 5—10%, а число свиней, доживающих до рыночного возраста, увеличится с 7,2 на один помет до 11. В настоящее время на каждый килограмм привеса за период от рождения свиньи до достижения ею рыночного веса расходуется 3,5 кг корма, эта величина должна снизиться по меньшей мере до 2,5. Воз-

раст, в котором свинья достигает рыночного веса, должен уменьшиться от 5—6 месяцев до 4—5. В соответствии с повышением спроса на нежирное мясо содержание жира в тех частях тела свиньи, которые идут в пищу, уменьшится по расчетам от 41 до 32%, а средняя толщина слоя хребтового сала в момент поступления свиньи на рынок — от 4 до 2 см.

В 1978 г. Г. Фицью и его коллеги из Международного исследовательского центра скотоводства рассчитали, сколько энергии и белка можно будет получать с мясом свиней, жвачных животных и домашней птицы к 2000 г. По их прогнозам поголовье свиней увеличится по сравнению с 1970 г. на 23%, домашней птицы (кур, уток, индеек) — на 23%, жвачных животных (коров, овец, коз) — на 29%; энергия, получаемая с мясом свиней, составит 215 млрд. мегакалорий против 144 млрд. мегакалорий в 1970 г., а количество белка возрастет до 3 млн. т против 2 млн. т в 1970 г. Доля свинины в обеспечении человечества энергией и белком по отношению к мясу (вместе с молоком) других домашних животных составит в 2000 г. соответственно 23 и 8% против 25 и 9% в 1970 г. Другими словами, хотя по расчетам специалистов производство свинины будет постоянно расти, ее доля среди потребляемых продуктов питания немного снизится.

Чем еще полезны свиньи?

Значение свиней не исчерпывается той ролью, которую они играют в сельскохозяйственном производстве. Свинья — прекрасный объект для изучения некоторых проблем физиологии и вопросов питания человека. Дело в том, что анатомия и физиология многих органов и систем у свиньи и у человека очень близки: похожи зубы, глаза, почки, кожа, сердечно-сосудистая и пищеварительная системы. Эксперименты на свиньях помогают понять различные патологические состояния человеческого организма — сердечно-сосудистые заболевания, диабет, язву желудка, мышечную дистрофию, ожирение и даже алкоголизм.

В медицине поврежденные сердечные клапаны часто заменяют свиными. Кроме того, из тканей свиней получают многие очень нужные вещества: прежде всего инсулин (из поджелудочной железы) и антикоагулянт гепарин (из легких). Кожа свиней успешно используется для пересадки человеку при ожогах.

Итак, животное, название которого вызывает не самые лучшие ассоциации, на поверку оказывается на редкость полезным и нужным человеку.

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 биоэволюционных 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.



Новые неорганические материалы

В современной промышленности ведущее место занимают синтетические органические материалы.

Однако уже разработаны новые материалы, производство которых связано с меньшими затратами энергии.

Их изготавливают из песка, глины и другого минерального сырья

ДЖ. Д. БЕРЧЕЛЛ, ЭНТОНИ КЕЛЛИ

ОГЛЯНИТЕСЬ вокруг. Нас окружают предметы, сделанные из разнообразных материалов: металлов, пластмасс, керамики, стекла, бетона. Без них немыслима современная технология. Для их производства требуется энергия. Например, на производство строительных материалов и промышленного сырья идет 15% мирового потребления энергии. Такое количество можно получить из 10^9 т нефти или из всего добываемого в мире газа.

Расход энергии для производства разных материалов неодинаков. Чтобы оценить энергоемкость того или иного материала, для сравнения удобно выбрать портландцемент, так как его изготавливают из известняка и глины — обычных и доступных веществ, которые в изобилии находятся на земной поверхности. Мировое производство такого цемента за 1 год составляет огромное количество — 10^9 т. На производство 1 м^3 портландцемента расходуется $3 \cdot 10^{10}$ Дж. Для изготовления такого же объема полистирола энергии нужно в 6, а стали — в 29 раз больше.

Ясно, что такой неорганический материал, как портландцемент, имеет значительное преимущество перед пластмассами, изготавливаемыми из органических веществ, и металлами, для выплавки которых нужны высокие температуры. Это обстоятельство, а также широкая распространенность и доступность природного сырья (оксидов кремния и алюминия, карбонатов кальция и магния и т.п.) приводят к необходимости пересмотреть роль неорганических веществ в технологии. Возможно, они станут заменителями энергоемких материалов. В настоящее время это тем более важно, что сама энергия становится дорогой и в обозримом будущем наступит конец эры легкодоступных углеводородов, источником которых сейчас служит нефть. Эта

статья посвящена результатам исследований, доказывающих, что неорганические материалы действительно во многих случаях могут заменить энергоемкую продукцию современных производств.

Первыми материалами такого рода, которыми прежде всего начал пользоваться человек в своей практической деятельности, были кремни и другие камни. Они вместе с материалами животного и растительного происхождения — кожей, костью, деревом — позволяли людям успешнее охотиться и добывать пищу. Кремнь тверд и хрупок, он имеет аморфную микроскопическую структуру, поэтому его легко раскалывать и обрабатывать, чтобы получить острую режущую кромку. Кремнями в каменном веке так широко пользовались, что возникла необходимость в их специальной добыче.

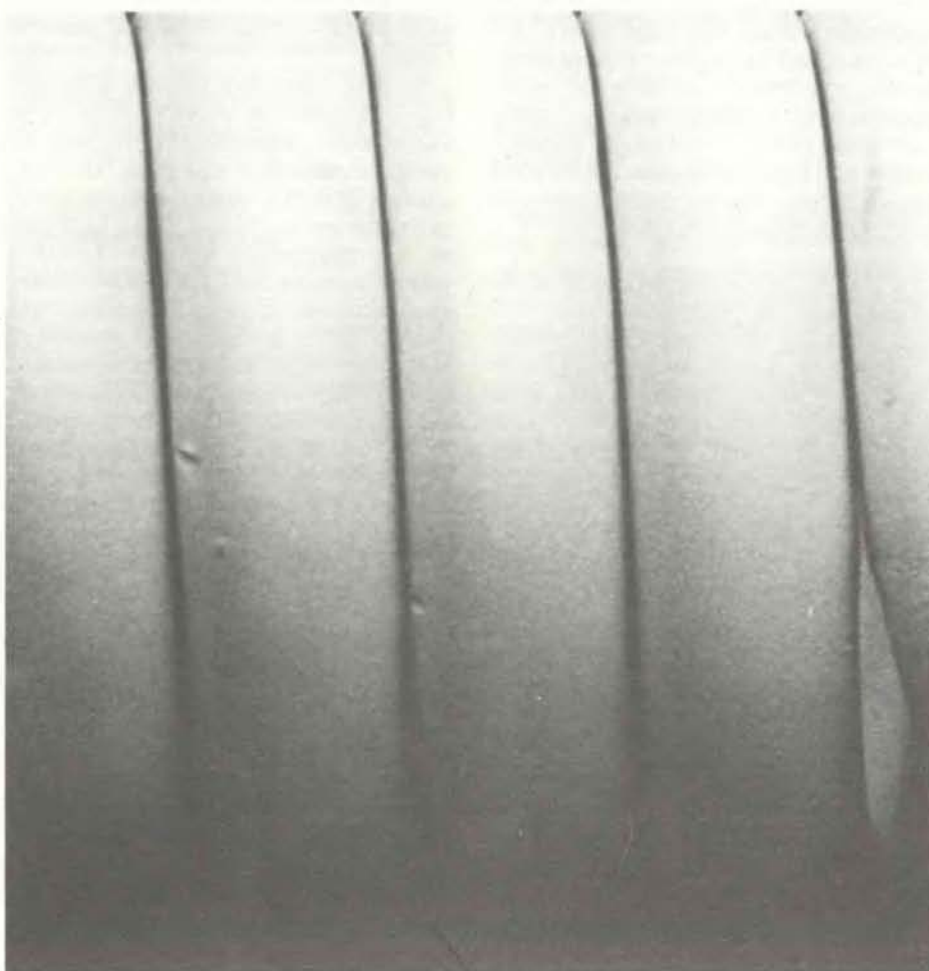
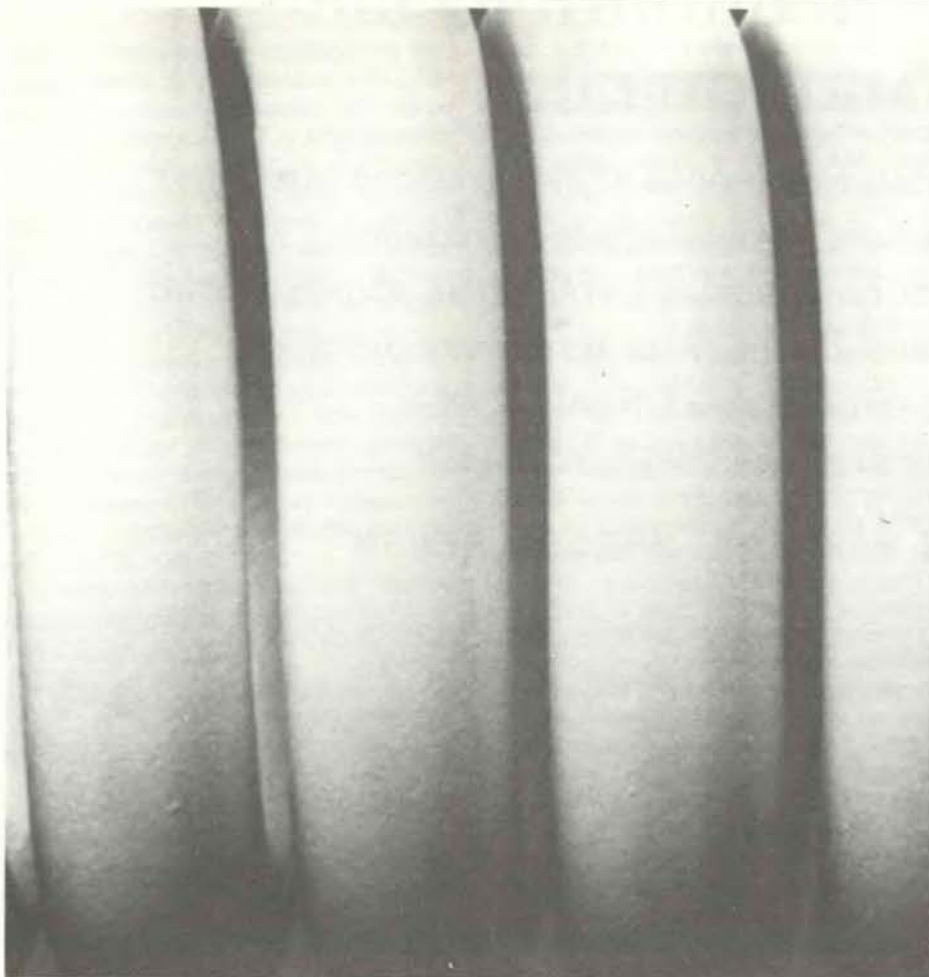
ЗАТЕМ наступила очередь бронзы. Ее производству способствовало то, что случайно оказались близко расположенными залежи легкоплавких горных пород (медно-цинковых руд), угля и источники тепла. Примерно в то же время обнаружили, что сырая глина при обжиге твердеет, сохраняя приданную ей до этого форму. Немного позже люди научились восстанавливать металлическое железо из железной руды. Таким образом, металлургия и гончарное ремесло — самые древние отрасли производства искусственных материалов.

Значительно позже римляне обнаружили, что если смешать вулканический пепел с известью и залить смесь водой, то получается прочная твердая масса — цемент. Изготовление цемента можно считать первым низкотемпературным способом производства неорганических веществ. В указанном способе кремнезем (SiO_2) пепла реагирует с известью (Ca(OH)_2), образуя силикат кальция переменного химического со-

става. В 1824 г. Дж. Эспдин улучшил технологию изготовления цемента, предложив нагревать известь с кремнеземсодержащими веществами, например глиной. В результате после охлаждения получается портландцементный клинкер, в состав которого входят силикаты $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Когда клинкер смешивают с водой, образуется твердый, прочный материал, похожий на камень. Теперь вместо того, чтобы резать и тесать камни, стало возможным отливать или формовать их. Так появился всем теперь известный бетон — смесь цемента, песка и гравия.

Металл, керамика, камень и цемент были основными материалами промышленного производства вплоть до начала нынешнего столетия. Цемент, однако, использовался в качестве материала «второго сорта». Затем наступила эра пластмасс, началом которой можно считать 1907 г., когда Л. Бакеланд получил первую искусственную пластмассу — бакелит. Еще раньше из некоторых природных полимеров научились получать материалы с новыми полезными свойствами. Натуральный каучук, например, под нагрузкой легко растягивается. В 1839 г. Ч. Гудьир обнаружил, что добавление серы придает ему жесткость. Атомы серы, словно мостики, связывают углеводородные цепочки, из которых состоит каучук. Нитроцеллюлоза, полученная К. Шонбайном в 1845 г., была очень хрупкой. В 1864 г. А. Парк обнаружил, что добавление камфоры — смолы камфорного дерева — делает ее пластичной. Молекулы камфоры играют роль смазки между углеводородными цепочками. Такую пластифицированную нитроцеллюлозу использовали при производстве киноплёнки.

Бакелит ознаменовал начало эры полимеров. Искусственная резина появилась в 1910 г., полистирол — в 1925 г., а нейлон, полиэтилен и полиэф-



ры — в 30-х годах. В 40-х годах производство полимеров стало уже достаточно развитой отраслью промышленности. В это время основным сырьем для получения примерно 95% всех искусственных органических веществ был уголь. В настоящее время, т.е. четыре десятилетия спустя, производство синтетических органических материалов возросло более чем в 100 раз, а основным сырьем в производстве 97% из них стала нефть. Хотя цена нефти сравнительно невысока, за последние восемь лет она возросла примерно в пятнадцать раз.

КАКОВО же будущее производства материалов, необходимых человечеству? Одной из возможностей является возврат к производству полимеров из угля. Она, конечно, будет реализована. С другой стороны, важную роль в качестве сырья снова станут играть природные неорганические вещества. Они не только более доступны, но и гораздо тверже органических полимеров. Более того, неорганические материалы негорючи, в то время как пожароопасность органических материалов в жилых домах и общественных зданиях вызывает все большую тревогу.

В 60-х годах появилась надежда, что будут синтезированы разнообразные неорганические полимеры, которым найдется промышленное применение. Предполагалось, что неорганические полимеры по аналогии с органическими должны представлять собой длинные цепочки повторяющихся мономеров; только их основу должны составить какие-то другие атомы, неуглеродные. Однако до сих пор удалось синтезировать лишь один неорганический полимер — силикон. В нем скелет цепочки составляют чередующиеся атомы кремния и кислорода. Таким образом, синтетические неорганические полимеры по-прежнему остаются мечтой. С другой стороны, неорганические полимеры, по своему составу подобные природным веществам, используются очень широко, как, например, стекло. Более того, ведь и в кремниевых породах земной коры чередующиеся атомы кремния и кислорода образуют как цепочки, так и кольца. Проблема состоит в том, что производство таких материалов, как стекло, при сов-

ПРУЖИНА ИЗ ЦЕМЕНТА под нагрузкой 136 кг (вверху) и без нагрузки (внизу). Цемент приготовлен таким образом, чтобы размер пор или каких-либо внутренних дефектов не превышал нескольких микрон. В результате такой материал, называемый MDF-цементом (macro-defect-free, или безмакродефектный), имеет высокое сопротивление излому; по прочности он не уступает алюминию.

ременной технологии требует высокой температуры, а это приводит к потере основного преимущества неорганических материалов, заключающегося в экономии энергии.

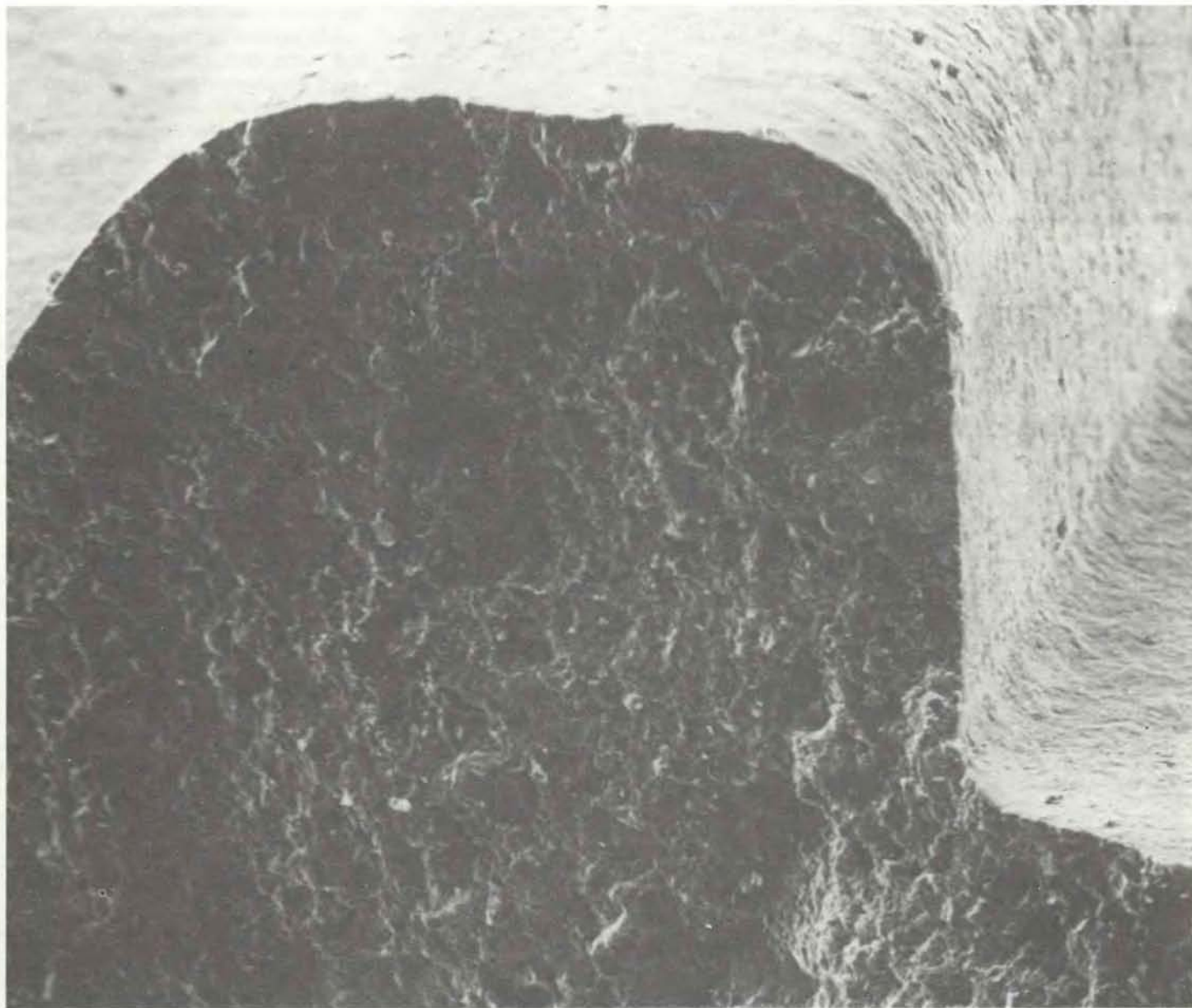
Существует и другая проблема. Рассмотрим основные свойства материалов, которые определяют возможность их использования для разных целей. Тремя важнейшими свойствами являются жесткость (сопротивление изгибу), прочность (сопротивление растяжению) и ударная вязкость (сопротивление удару). Мастер, имея материал в руках, оценивает эти его свойства и решает, для чего он годится. Полимеры и природные органические материалы (скажем, древесина) имеют меньшую жесткость, чем неорганические, такие, например, как сте-

кло и керамика (это одна из причин, по которой во многие искусственные органические материалы для упрочнения вводят неорганические волокна). Однако неорганические материалы неупруги, поэтому для того, чтобы они могли заменить пластмассы (и металл), необходимо увеличить их упругость.

Можно ли найти совместное решение этих двух проблем? Иначе говоря, можно ли получать достаточно упругие неорганические материалы, не прибегая к высоким температурам? Изучение живых организмов указывает на то, что это возможно. Живые организмы удивительно удачно утилизируют карбонат и фосфат кальция, а также кремний. Раковина морского ушка (моллюск *Haliotis*) например, на 99% состоит из карбоната кальция, т.е.

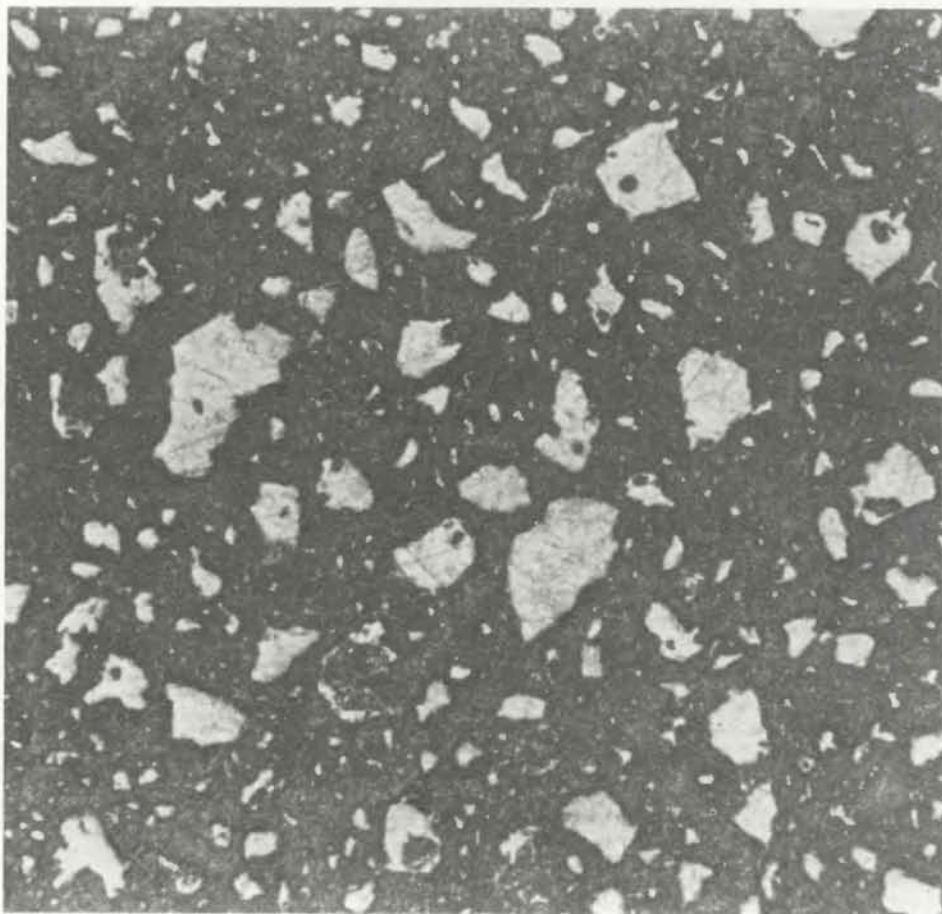
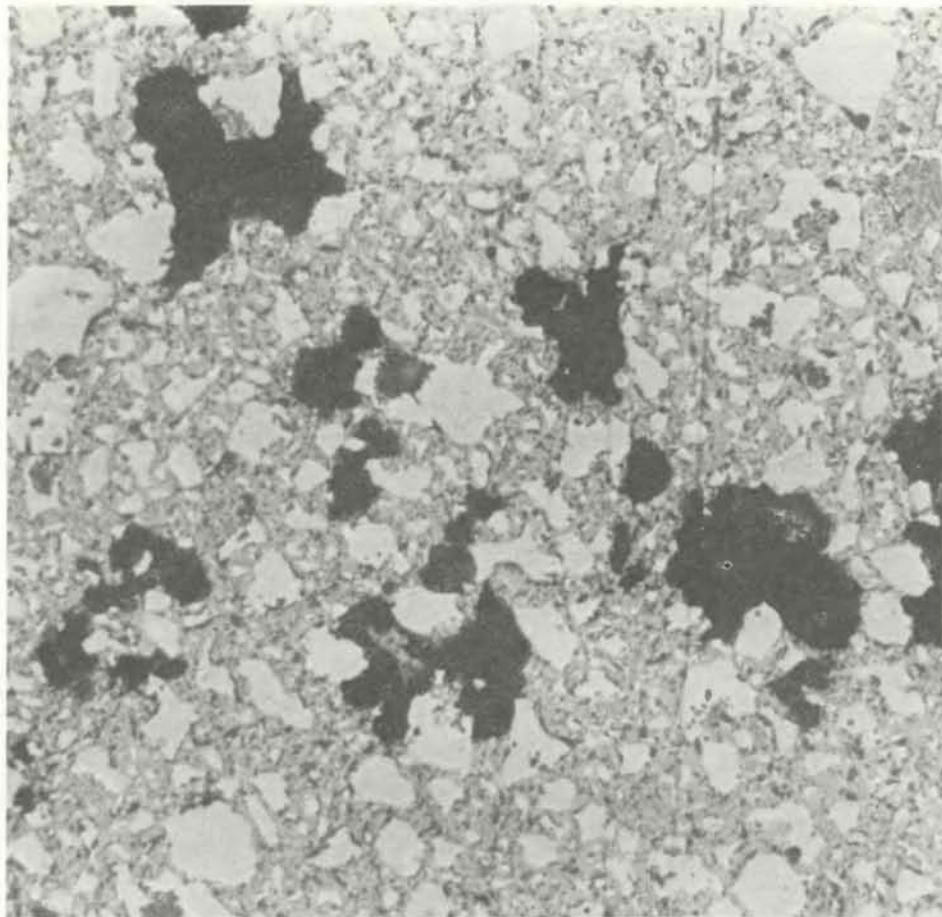
практически это мел. Однако ее прочность на разрыв превышает 100 МПа (1000 атм), а ударная вязкость более 1000 Дж на 1 м² поверхности, образующейся при расколе (что сравнимо с полистиролом и оргстеклом).

Исследование структуры раковины с помощью электронного микроскопа позволяет понять, как достигаются такие свойства. В раковине слои пластин из карбоната кальция толщиной около 0,2 мкм уложены с удивительной регулярностью и отделены друг от друга тонкими слоями белка. При этом излом раковины получается извилистым, что сильно увеличивает ее прочность. Неясно как, но белок служит моллюску шаблоном для формирования упорядоченной структуры неорганического материала при температуре окружающей



ЦЕМЕНТНАЯ КРЫШКА ДЛЯ БУТЫЛКИ — пример замены пластика MDF-цементом. Крышку раскололи, и на рисунке виден участок скола (темная область), приходящийся на ви-

ток резьбы на крышке. Фотография получена на растровом электронном микроскопе с 75-кратным увеличением.



В ОТСУТСТВИИ БОЛЬШИХ ПОР в MDF-цементе можно убедиться, сравнив микрофотографии шлифов обычного цемента (вверху) и MDF-цемента (внизу). Поры в обычном цементе (темные области) могут занимать до 30% объема материала. Микрофотографии получены при 50-кратном увеличении.

среды. То же самое происходит и при росте костной ткани.

ПОПРОБУЕМ рассмотреть подробно, как получают искусственный неорганический материал, например фарфор. Поучительно сравнить этот процесс с ростом раковины моллюска, чтобы выявить принципиальные различия. Секрет производства фарфора был открыт в Китае и вывезен на запад в начале XVIII в. миссионером Ф. д'Антрколем; это был, по-видимому, первый зафиксированный в истории случай промышленного шпионажа. Д'Антрколь жил некоторое время в Цзиндэчжэне — центре производства фарфора в провинции Цзянси — и выучил китайский язык для того, чтобы выяснить, какую роль в производстве фарфора играет сорт глины, называвшийся в Китае каолином. (До сих пор каолин — одно из немногих китайских слов в английском языке.)

Для производства высококачественной керамики, такой, как фарфор, смесь кварцевого песка, полевого шпата и глины (обычно каолина или комовой глины — мелкозернистой глины с небольшими органическими включениями) нагревают до высокой температуры. Сначала каждый тонкоизмельченный компонент смешивают с водой. Получившуюся пластичную массу отжимают через ткань для удаления избытка воды, после чего все компоненты соединяют и удаляют воздух с помощью вакуум-насоса на специальной машине. Затем смесь сушат и формуют, как это обычно делает гончар, и полученное изделие заливают в гипсовую форму для еще лучшего высушивания. После этого его покрывают глазурью. В качестве глазури обычно используют глину с присадками, которые легко плавятся.

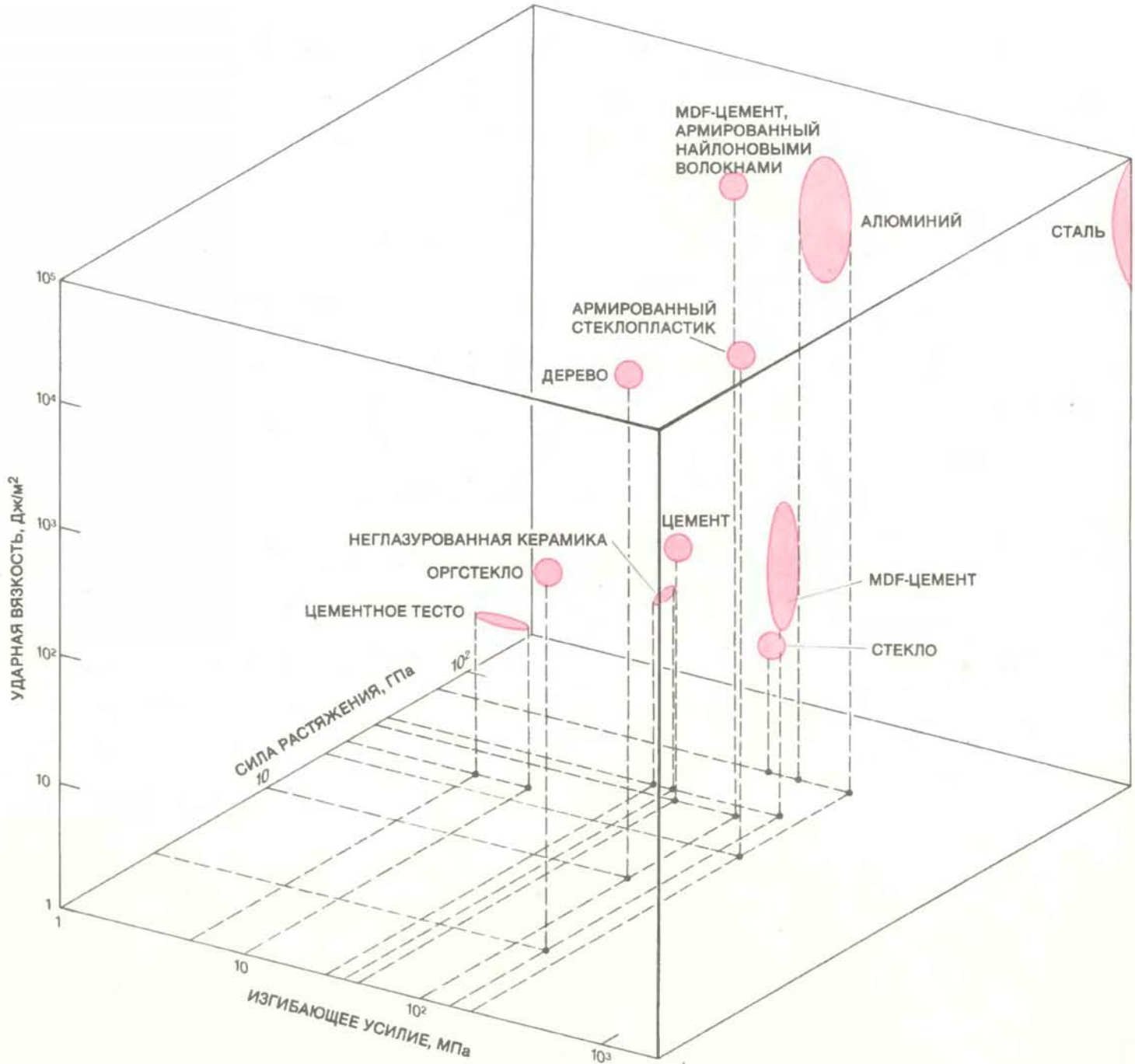
После еще одной сушки изделие обжигают. При 400° С начинают идти химические реакции; при температуре 600° С материал переходит в стеклообразное состояние и кристаллизуется, что приводит к усадке. Указанная температура составляет лишь около трети от температуры плавления, но это сделано преднамеренно: если бы материал расплавился, то вместо небольших кристаллов правильной формы образовались бы крупные неправильные кристаллы. К тому же потребовались бы большие затраты энергии. С другой стороны, в нерасплавленном материале атомы диффундируют медленно, так что после испарения воды в нем остаются поры. Более того, пустоты возникают всюду, где не произошло плотной упаковки частиц глины. Важно и то, что отдельные кристаллы имеют разный состав и поэтому сильно различаются по механическим свойствам. Они заметно отличаются друг от друга по коэффициенту теплового рас-

ширения, т.е. по степени увеличения размеров при нагревании и их уменьшения при охлаждении. Таким образом, при охлаждении керамики некоторые поры и отверстия могут исчезнуть, но появляются трещины и другие дефекты. При охлаждении до комнатной температуры керамика становится хрупкой и непрочной.

Именно поэтому все керамические предметы покрывают глазурью. Гла-

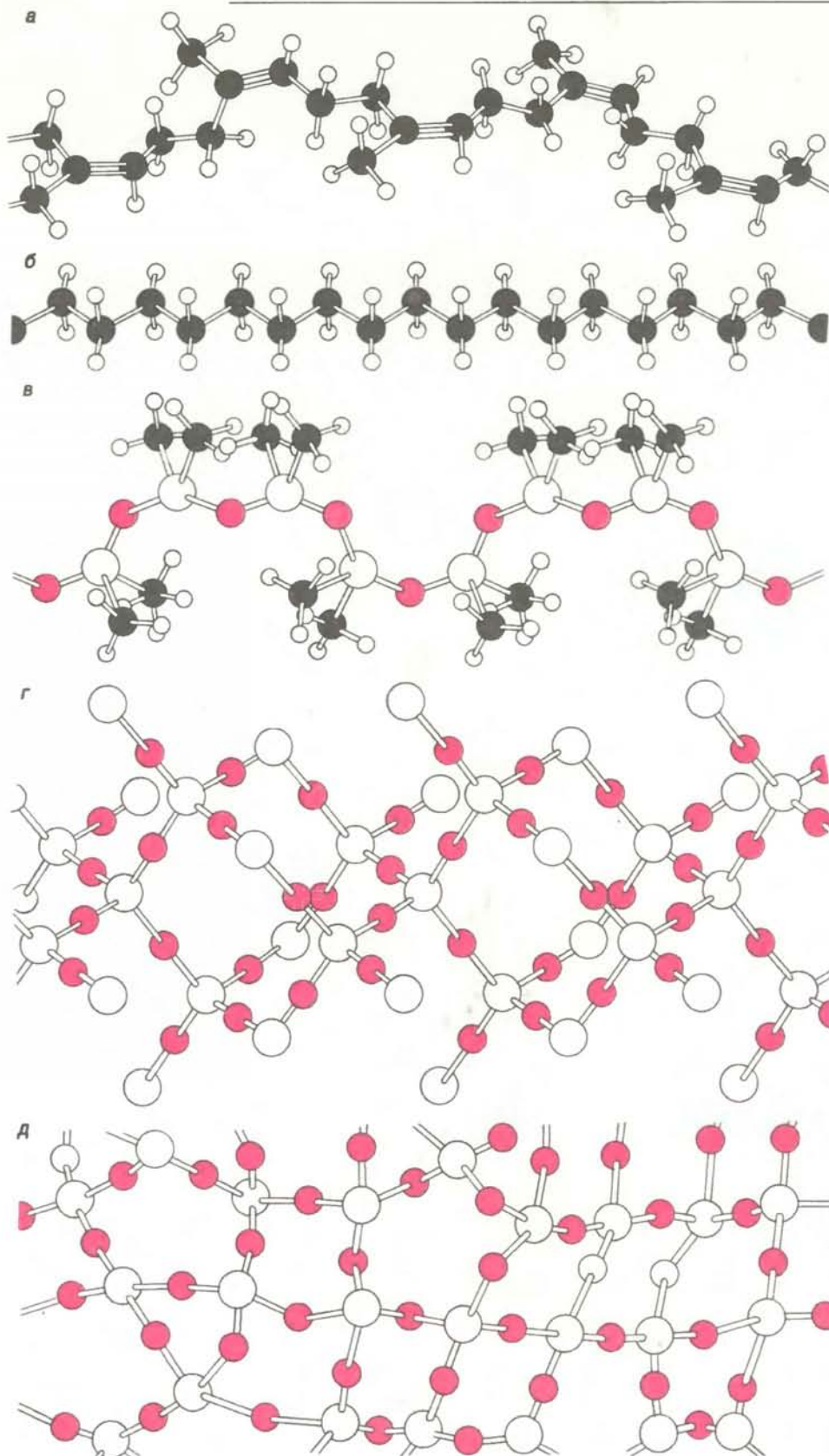
зурь выбирают так, чтобы ее коэффициент расширения был меньше, чем у керамики. При охлаждении, следующим за обжигом, глазурь сжимается сильнее, чем слой керамики под ней. В результате глазурь как бы держит керамику в тисках; при этом затрудняется проникновение трещин с поверхности внутрь керамики, что могло бы привести к разрушению изделия.

ПАРАДОКСАЛЬНО, что высокотемпературный обжиг, цель которого — повышение плотности керамики путем заполнения пустот за счет диффузии и усадки, приводит к увеличению числа трещин. Но высокая температура не единственное средство, чтобы заставить атомы двигаться и заполнять пустоты. Другой способ заключается в использовании воды в качестве растворителя и среды, обеспечивающей воз-



ТРИ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ материала — жесткость (сопротивление изгибу), прочность (сопротивление растяжению) и ударная вязкость (сопротивление удару). Здесь в логарифмической шкале показано распределение этих характеристик для разных органических и неорганических материалов. Органические материалы, например дерево, имеют высокую ударную вязкость, но низкую жесткость.

У неорганических материалов, например стекла, все обстоит наоборот. У MDF-цемента все три характеристики практически такие же, как у алюминия. Жесткость и прочность приведены в паскалях (1 МПа = 10 атм). Ударная вязкость определяется энергией (в джоулях), которую необходимо затратить на образование сколов с поверхностью 1 м².



К ПОЛИМЕРАМ (длинноцепочечным молекулам с повторяющимися химическими структурными единицами) относятся многие материалы как органической, так и неорганической природы. **Натуральный каучук (а)** — органический полимер, сильно удлиняющийся при растяжении. Добавление атомов серы делает его жестким вследствие образования мостиков между углеводородными цепочками. **Полиэтилен (б)** — искусственный органический полимер. **Силикон (в)** — искусственный неорганический материал; его основу составляют не атомы углерода, а чередующиеся атомы кремния и кислорода. **Минерал кристобалит (г)** — кремневокислородный полимер, как и силикатное стекло (д).

- ВОДОРОД
- КИСЛОРОД
- УГЛЕРОД
- КРЕМНИЙ

возможность диффузии ионов. Именно это и происходит в гидравлических цементах — твердых материалах, которые необратимо застывают и твердеют в присутствии воды. В качестве примера можно привести гипс и портландцемент.

Когда портландцемент смешивают с водой, силикат кальция, входящий в его состав, участвует в образовании гидратированных силикатов кальция. Однако и в настоящее время, через 150 лет после открытия портландцемента, еще не совсем понятно, какие реакции при этом происходят. Остаток воды испаряется. При этом в цементе остаются поры, диаметр которых меняется от нескольких десятков ангстрем до миллиметра и более; в общей сумме они могут составлять 25—30% объема материала.

Уже давно известно, что прочность цемента, так же как и крепость обожженной керамики, зависит от пористости, однако причина этой зависимости была понята не сразу. Сначала обнаружили, что прочность цемента зависит от соотношения количества воды и твердых материалов, используемых при его производстве. С уменьшением количества воды прочность увеличивается. Поэтому предположили, что прочность зависит от объема пор, оставшихся в цементе после отверждения, увеличиваясь с уменьшением пористости. Прочность обычного цемента, как правило, довольно мала: сопротивление изгибу обычно меньше 5 МПа, а прочность на разрыв всего в семь раз выше. Именно поэтому цемент и бетон используются только в таких конструкциях, где они находятся под сжимающими нагрузками, а в том случае, когда материал должен работать на растяжение, его армируют железом.

Попробуем использовать зависимость прочности от пористости, чтобы предсказать прочность цемента, в котором нет пор. Мы получим, что его прочность на изгиб должна составлять около 20 МПа. У алюминия эта величина в 5 раз, а у стали в 50—100 раз выше. Даже при армировании такого цемента асбестовыми волокнами или стекловолокном прочность на изгиб возрастет не более чем до 40 МПа.

ОДНАКО в последнее время стало ясно, что экстраполяция к нулевой плотности неправомерна. Простейшая теория, объясняющая разлом хрупких материалов, была разработана в 1920 г. А. Гриффитом, который стал потом членом Королевского авиационного общества в Фарнборо (Англия). Он предположил, что прочность на растяжение хрупких материалов определяется размерами самых больших дефектов материала. Если эта теория верна, то прочность цемента должна резко увеличиваться при уменьшении

диаметра самых больших пор. И наоборот, его прочность должна лишь в незначительной мере зависеть от числа пор в объеме.

Это послужило отправной точкой для поиска. А. Говард, К. Кендалл и один из нас (Берчелл), работая в исследовательской лаборатории Imperial Chemical Industries (ICI) в Ранкорне (Англия), показали недавно, что теория Гриффита пригодна для предсказания свойств цемента. Более того, мы разработали методы уменьшения максимального диаметра пор цемента до нескольких микрон (при обычной технологии они достигают ~ 1 мм). Пory убирают, по существу, просто размешиванием. Для того чтобы размешивание происходило равномерно, зерна цемента измельчают и к ним добавляют небольшое количество полимера для повышения текучести.

Новый высокоупругий цемент стал известен под названием MDF-цемента (macro-defect-free, или безмакродефектный). При испытании на изгиб его прочность оказалась выше 150 МПа, и в этом отношении он сравним с алюминием. Из такого цемента можно делать даже пружины!

Велика и прочность MDF-цемента на излом. Большинство искусственных неорганических материалов имеет ударную вязкость менее 10^2 Дж на 1 м^2 поверхности, образующейся при разломе. А вязкость дерева на разрыв поперек волокна составляет 10^4 Дж/м² (но уменьшается до 10^2 Дж/м² в направлении волокна). Нефрит имеет вязкость 10^3 Дж/м², поэтому он поддается тонкой гравировке. Вязкость MDF-цемента имеет тот же порядок, что позволяет на обычном токарном станке сделать из блока трубу. Это — удивительное свойство для неорганического материала!

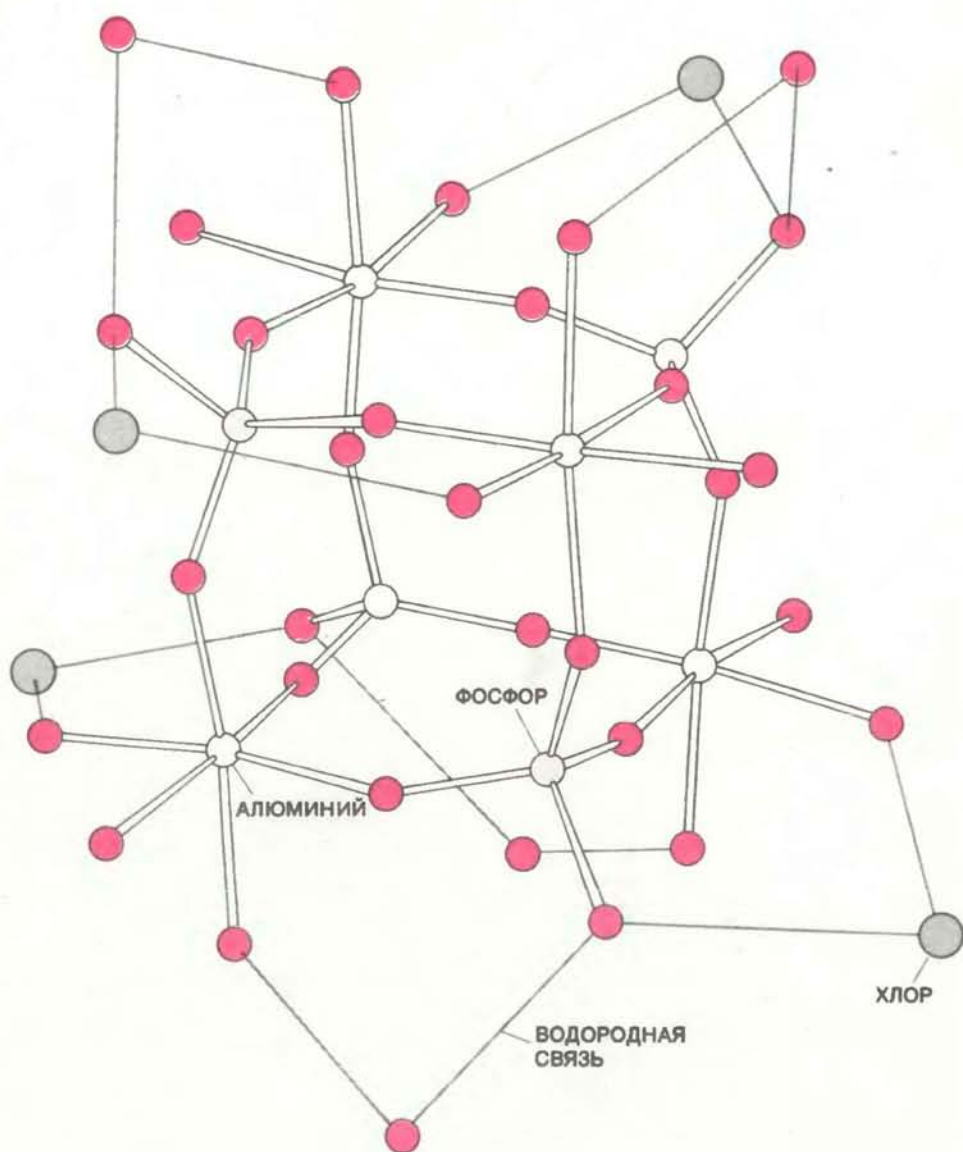
До сих пор ни один цемент, если он не был укреплен волокнами, не имел высокой ударной прочности. Однако недавно была разработана технология придания цементу такого свойства. Теперь можно из обычного цемента изготавливать гибкие полосы. Их можно гнуть, как металлические ленты. Хотя изгибы и приводят к образованию трещин, эти трещины очень малы и армирующие волокна не позволяют цементу ломаться. Так как цемент изготавливается при низкой температуре, волокна можно делать из недорогого органического материала, имеющего невысокую температуру плавления.

НОВЫЙ высокоупругий цемент выглядит как керамика; действительно, из него можно делать хорошие чашки и блюда. И по своим свойствам он во многом похож на керамику: тверд, крепок, хрупок и плотен, между его составляющими преобладают ковалентные химические связи. Однако

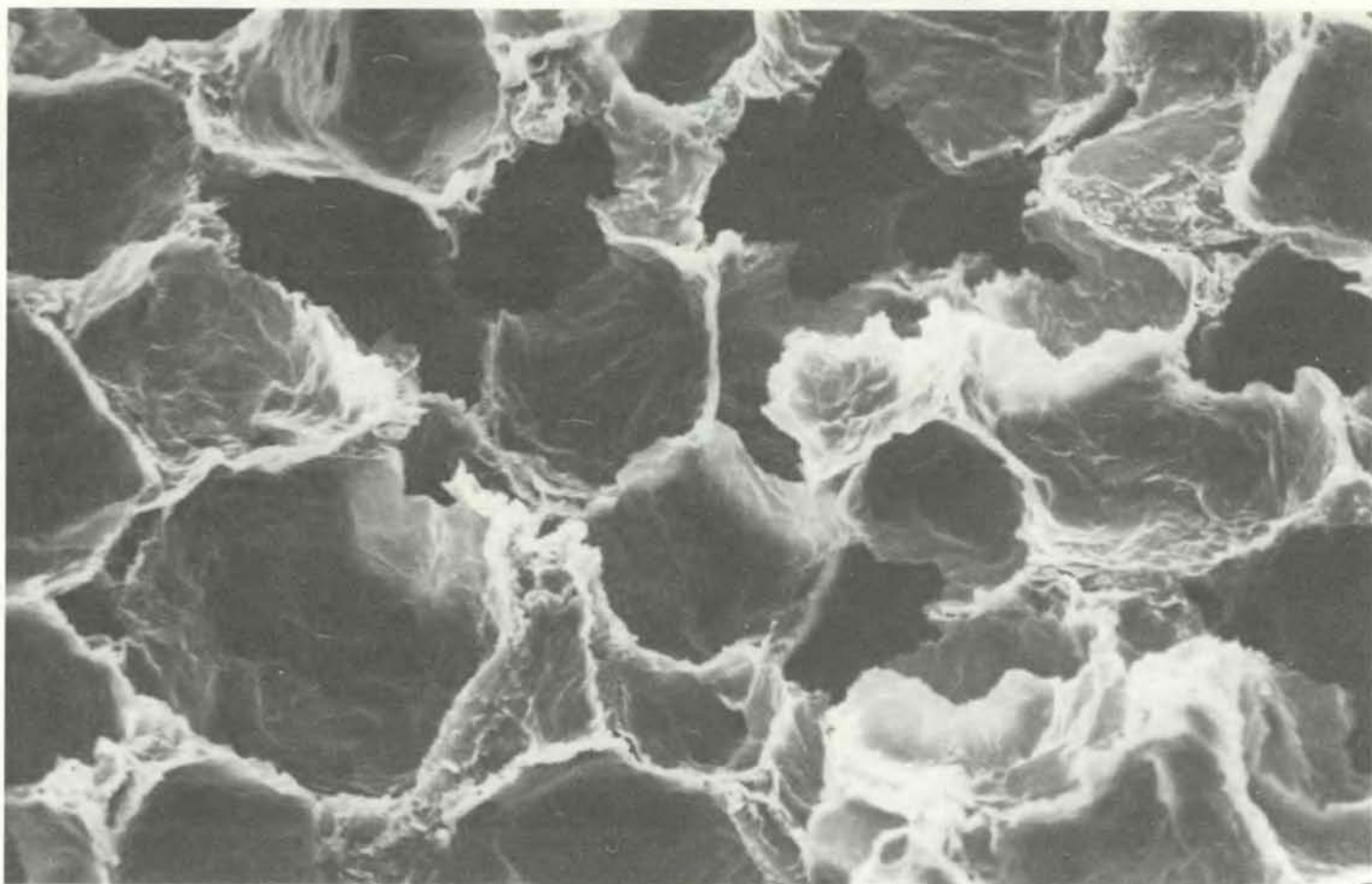
этот цемент не огнеупорен, т.е. не выдерживает высокой температуры. Причиной тому служит содержащаяся в нем вода, химически связанная с молекулами силиката кальция. При высокой температуре вода удаляется и прочность материала нарушается. Разумеется, методы получения огнеупорных материалов при низкой температуре представили бы большую ценность.

В этом отношении перспективны два подхода. Мы уже отмечали выше, что кремниевые породы и минералы земной коры можно считать полимерами, в которых чередующиеся атомы кислорода и кремния образуют цепочки и кольца. В некоторых из этих минералов такие цепочки и кольца располагаются в силикатных слоях толщиной несколько десятков ангстрем. Силикат-

ные слои чередуются со слоями катионов (положительных ионов), например магния. Одним из таких материалов является минерал вермикулит. Дж. Уолкер из отдела прикладной минералогии Австралийской государственной организации научных и промышленных исследований обнаружил, что силикатные слои можно разделить, если удалить или заместить катионы, а затем приложить сдвиговое усилие. В результате получается концентрированная суспензия чешуек (фрагментов силикатных слоев) в воде. При высушивании суспензии образуется прочная, гибкая, полупрозрачная и огнеупорная пленка. Если эту суспензию сначала взбить, а потом высушить, то формируется огнеупорная неорганическая пенообразная масса, во многом подобная

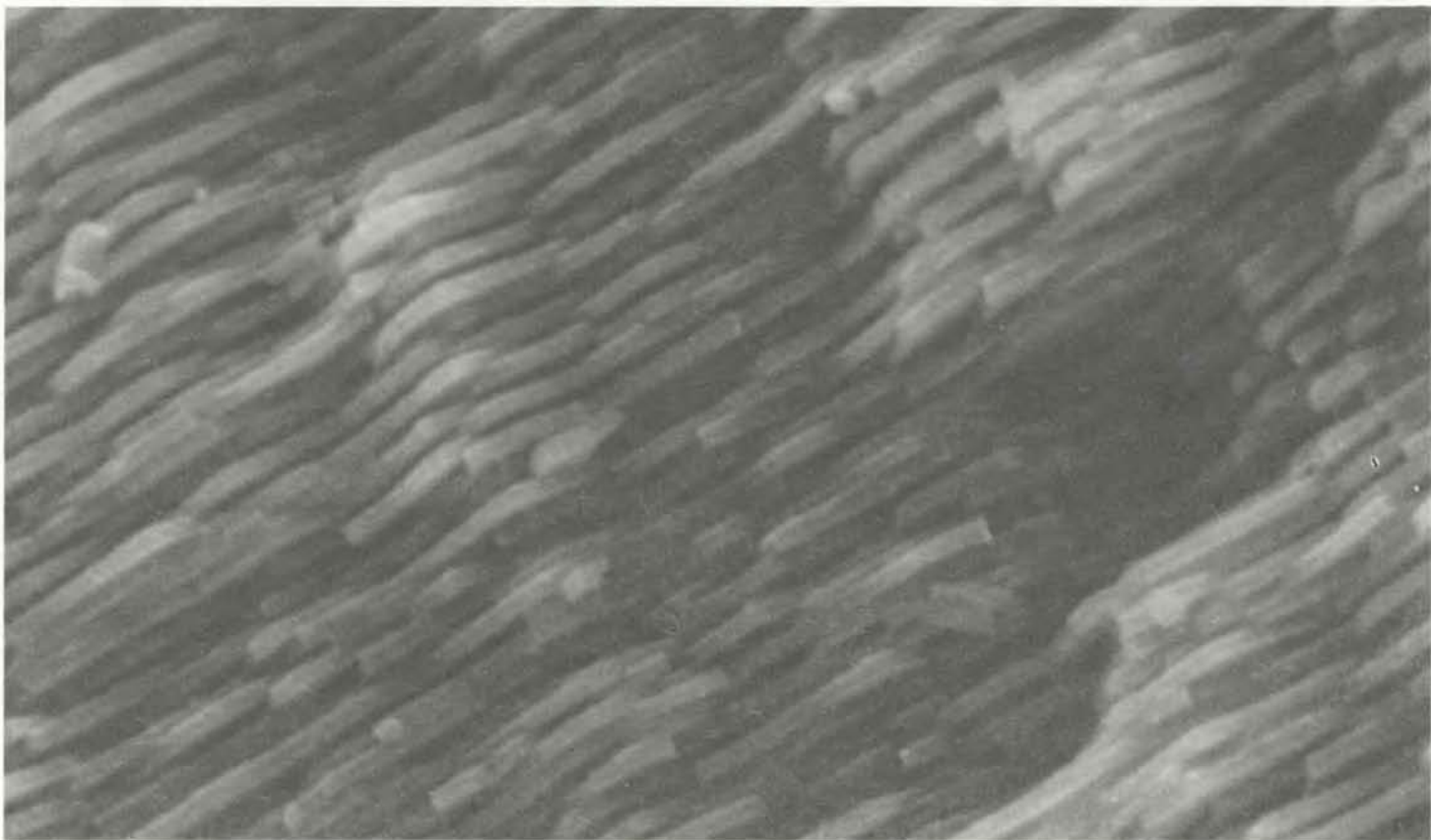


СТЕКЛООБРАЗНЫЙ ФОСФАТ АЛЮМИНИЯ (AlPO_4) получается по реакции трихлорида алюминия (AlCl_3) с фосфорной кислотой (H_3PO_4) в этиловом спирте ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Промежуточным продуктом является показанный здесь материал. В его решетке атомы алюминия и фосфора располагаются в вершинах кубов, атомы кислорода помещаются вдоль ребер. Кубы отделены друг от друга молекулами этилового спирта. При температуре около 100°C спирт испаряется и кубы соединяются, в результате чего образуется стекло. Структура промежуточного продукта была определена Дж. Кассиди с коллегами (Imperial Chemical Industries).



ПЕНА ИЗ ВЕРМИКУЛИТА — нового искусственного неорганического материала, который может заменить такие органические полимеры, как полистирол. В вермикулите силикатные слои разделены слоями ионов магния. Ионы удаля-

ют, а слои подвергают сдвигу. Полученную суспензию взбивают, пену высушивают. Микрофотография получена при 75-кратном увеличении.



РАКОВИНА МОРСКОГО УШКА, наблюдаемая в растровом электронном микроскопе. По химическому составу раковина — это практически чистый мел (карбонат кальция, или CaCO_3), и тем не менее она жестче алюминия и пластична,

как оргстекло. Ее существование подтверждает возможность получения неорганических материалов с новыми полезными свойствами.

органическому полимеру полистиролу. Таким образом, можно полностью преобразовать природный минерал, как бы создать его заново.

Второе перспективное направление получения огнеупорных неорганических материалов при низких температурах возникло на основе изучения таких твердых тел, как стеклообразный фосфат алюминия (AlPO_4). Это соединение во многом сходно кварцу — природному неорганическому огнеупорному материалу — и образует сходные с ним кристаллические формы. Практически невозможно приготовить стеклоподобный фосфат алюминия простым плавлением исходного вещества: оно разрушается еще до плавления. С другой стороны, кристаллический осадок состава $\text{AlPO}_4 \cdot \text{HCl} \cdot (\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})_4$ можно получить при взаимодействии трихлорида алюминия (AlCl_3) и фосфорной кислоты (H_3PO_4) в этиловом спирте ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) при температуре ниже 0°C . Любопытна структура осадка. Он состоит из атомов алюминия, кислорода и фосфора в кубической упаковке, однако кубы не связаны друг с другом из-за прослойки этилового спирта. При осторожном нагреве до $\sim 100^\circ\text{C}$ спирт удаляется из кристаллов и кубы связываются друг с другом. Образуется трехмерная решетка из атомов алюминия, кислорода и фосфора, благодаря чему материал становится стеклообразным и выдерживает нагрев до 1600°C — температуры разрушения фосфата алюминия. Полученное стекло инертно и нерастворимо, хотя осадок, из которого оно образуется, растворим как в воде, так и в органических растворителях. Таким образом, осадок можно растворять и нагревать, получая стекловидное покрытие. Кроме того, этот осадок можно использовать, чтобы связывать частицы типа оксида алюминия (Al_2O_3), т.е. получать керамические изделия при температуре около 100°C .

ПОХОЖИЕ методики разработаны В. Йолдасом в Лаборатории Вестингауза и М. Йаманэ и Т. Сакаио в Токийском институте технологии стекла для изготовления при низкой температуре стекол из алкоголятов — продуктов реакций спиртов с неорганическими кислотами. Метиловый спирт (CH_3OH), например, реагирует с кремневой кислотой ($\text{Si}(\text{OH})_4$), образуя алкоголь кремния ($\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$) и воду. При реакции алкогольата с водой получают оксид и спирт. Когда спирт удаляют осторожным нагреванием, остается стеклообразный оксид. Это стекло можно армировать, вводя в него органические волокна с низкой температурой плавления, чего в принципе нельзя делать со стеклом, изготавливаемым традиционным способом при высокой температуре.

Как и в описанном выше цементе, в получаемом при низкой температуре стекле имеются поры. И в этом случае, однако, поры малы и не оказывают заметного влияния на большинство физических свойств такого материала. При изготовлении стекол обычно проверяют не только механические, но и оптические свойства материала. В частности, для того чтобы стекло было прозрачным, необходимо, чтобы величина пор не превышала длину волны света, для работы с которой предназначено стекло. Большая часть стекол, созданных Йолдасом, обладает очень высокой прозрачностью; поры в них имеют диаметр менее 100 \AA .

Из всего сказанного следует, что успехи неорганической химии вскоре позволят экономить как энергию, так и углеводороды благодаря переходу к низкотемпературным способам получения неорганических соединений. Разработке новых технологических приемов помогает понимание роли таких свойств материалов, как пористость. Интересно, что необходимость управлять пористостью не вытекала из многочисленных исследовательских работ, связанных с высокотемпературными производствами. Еще, может быть, рано говорить о новой эре неорганических материалов, но мы, без сомнения, присутствуем при ее рождении.

Издательство МИР предлагает:

Р. Линдон, П. Шупп КОМБИНАТОРНАЯ ТЕОРИЯ ГРУПП

Перевод с английского

Систематическое и современное 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. В работе отражены интенсивные исследования последнего десятилетия. 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.

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

1980, 29 л. Цена 2 р. 80 к.

ОРГАНИЧЕСКИЕ СИНТЕЗЫ СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

Перевод с английского

Под ред. Б. Троста, К. Хатчинсона

Коллективная монография, написанная большой группой известных ученых, в числе которых лауреаты Нобелевской премии Д. Бертон и Х. Браун, открывает новые направления в развитии органического синтеза. Она не только отражает современное состояние органического синтеза, но и намечает пути будущего в этой области.

Материал можно условно разбить на три группы. К первой относятся статьи, где основное внимание уделено созданию новых общих синтетических методов, которые можно применить к различным классам органической химии. Ко второй группе относятся статьи, в которых рассматривается развитие новых стратегических и тактических путей синтеза органических соединений. Третья группа иллюстрирует применение синтетических методов в разработке путей синтеза сложных органических соединений.

Для химиков-органиков, биоргаников, биохимиков — научных работников, преподавателей, аспирантов, студентов старших курсов.

1984, 30 л. Цена 4 р. 80 к.



Статистические методы с интенсивным использованием ЭВМ

Эти методы исключают необходимость делать принятые в статистике допущения относительно распределения данных, но сопряжены с колоссальным объемом вычислений.

Бутстрэп — один из таких методов.

*Благодаря ему удалось пересмотреть
прежние оценки надежности научных выводов*

ПЕРСИ ДИАКОНИС, БРЭДЛИ ЭФРОН

БОЛЬШИНСТВО статистических методов, широко используемых в настоящее время, известно давно. В основном они были разработаны в период с 1800 по 1930 г., когда вычисления были дорогостоящим и малопродуктивным процессом. Теперь вычисления стоят крайне дешево, а их скорость по сравнению с прошлым возросла в миллионы раз. В последние несколько лет наблюдается резкий подъем в развитии математической статистики: с появлением быстродействующих ЭВМ в этой области возникли новые идеи и методы, реализация которых связана с колоссальным объемом вычислений. Порой необходимо произвести миллион арифметических операций для анализа данных из 15 точек. Столь высокая интенсивность вычислений позволяет освободиться от двух ограничений, изначально господствовавших в математической статистике: от допущения, что плотность распределения данных подчиняется нормальному закону и хорошо описывается колоколообразной кривой, и от необходимости ограничиваться лишь теми статистическими мерами, теоретические свойства которых можно выразить аналитически.

Эти достижения имеют непосредственное отношение к развитию науки в целом, потому что математическая статистика призвана помогать науке в определении истинных значений измеряемых величин. Предположим, что 15 измерений некой величины дали 15 умеренно отличающихся значений. Какое из них послужит самой лучшей оценкой истинного значения? Статистические методы способны дать ответ на этот вопрос и даже выразить количественно надежность такой оценки. Поскольку наблюдения, полученные эмпирическим путем, почти всегда в той или

иной мере ошибочны, заключения на основании этих наблюдений должны, как правило, опираться на статистические меры истинности. По-видимому, любое усовершенствование, приводящее к повышению достоверности или степени универсальности выводов, основанных на статистических данных, имеет широкие последствия.

ДЛЯ ТОГО чтобы по достоинству оценить преимущества новых методов, сравним их со старыми. Прежде всего в старых методах, перед тем как приступить к статистическому анализу данных, нужно было, вообще говоря, сделать некоторые маловероятные допущения. Обычно допускается, что статистические данные распределены по нормальному закону, или, как говорят, имеют гауссово (названное так по имени немецкого математика Карла Фридриха Гаусса) распределение, которое можно описать колоколообразной кривой. Использование гауссова распределения означало, что случайные колебания, или ошибки, полученные при определении значений не-

кой величины эмпирическим путем, располагаются симметрично относительно ее истинного значения. Кроме того, чем больше расхождение между истинным и наблюдаемым значением, тем менее правдоподобно это наблюдение. Практика показала, что теория гауссовых распределений дает вполне удовлетворительные результаты, даже если данные не совсем подчиняются нормальному распределению. Это позволило статистикам, обходясь без вычислений, давать достаточно надежные прогнозы. Если же статистические методы применялись к данным, которые не удовлетворяли предположению о гауссовости распределения, то результаты, разумеется, получались совершенно ненадежными. Методами, основанными на интенсивном использовании компьютера, можно решать большинство задач, не вводя предположения о нормальном распределении данных.

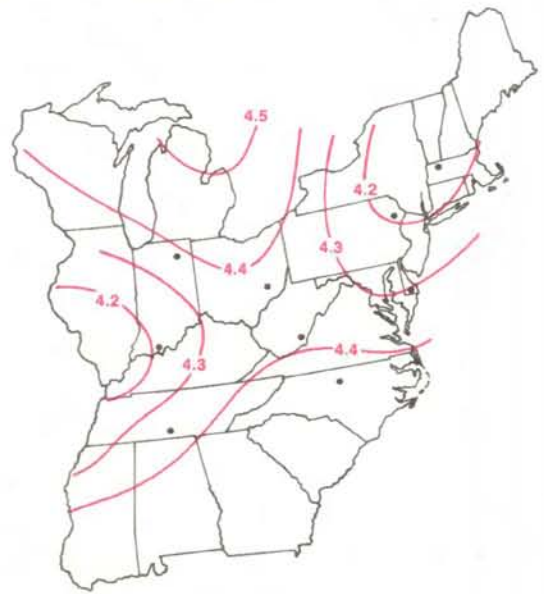
Тот факт, что нам удалось избавиться от оков предположения о гауссовости, — безусловно, знаменательная вежа в развитии статистики. Но есть еще

БОЛЬШАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ изолиний на карте была обнаружена благодаря статистическому методу бутстрэпа. Метод требует громадного объема вычислений, которые можно выполнить только на ЭВМ. Карта вверху слева была получена по данным 2000 измерений кислотности (или значений рН) осадков, полученным на девяти метеорологических станциях за два года. Положение изолиний при некоторых допущениях можно считать оптимальным. Тем не менее, эти 2000 точек подвержены значительной случайной изменчивости: изолинии, полученные по другой выборке, содержащей 2000 измерений, для того же региона и за такой же промежуток времени, могут выглядеть иначе. Бутстрэп, изобретенный одним из авторов статьи (Эфроном), способен по единственному множеству из 2000 данных оценивать величину изменчивости изолиний, как если бы для сравнения имелся ряд множеств из 2000 данных. Результаты пяти расчетов методом бутстрэпа с использованием ЭВМ, проведенные Б. Эйноном и П. Свитцером из Станфордского университета, приведены на остальных пяти картах. Изменчивость изолиний показывает, что исходную карту следует интерпретировать весьма осторожно: коридоры низкой кислотности на исходной карте могут на других картах превратиться в островки.

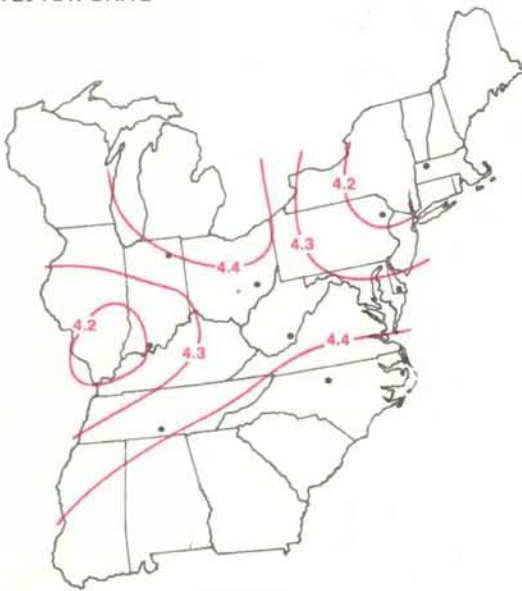
ИСХОДНАЯ КАРТА



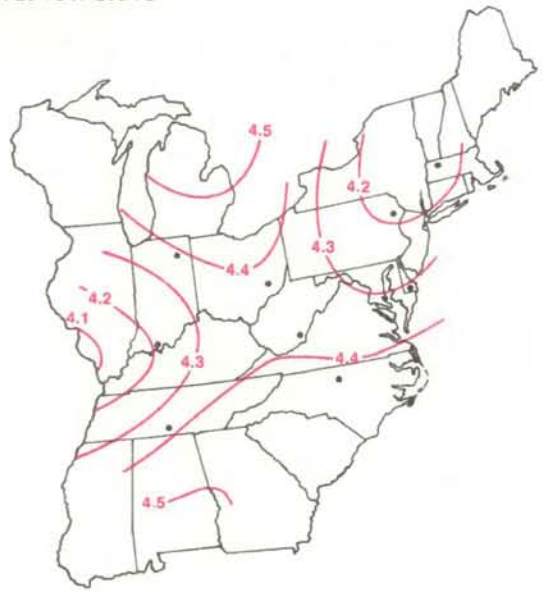
КАРТА БУТСТРЭПА 1



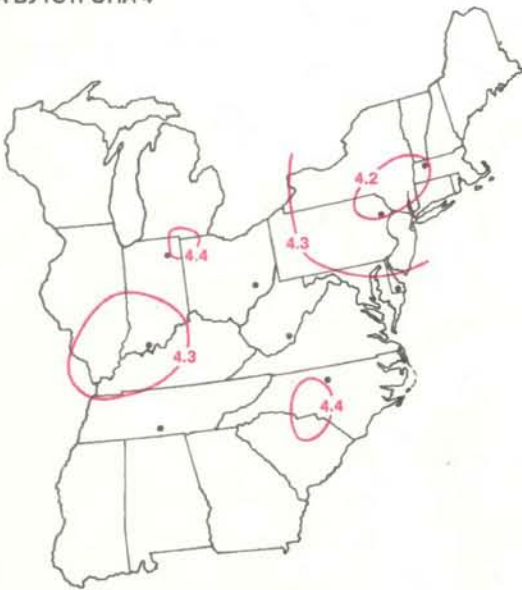
КАРТА БУТСТРЭПА 2



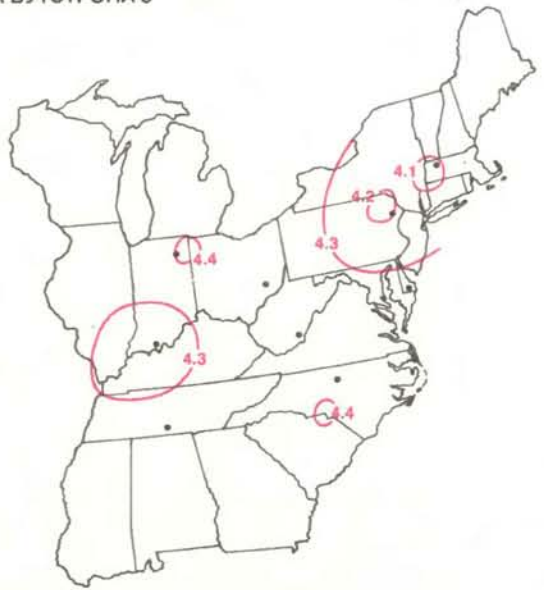
КАРТА БУТСТРЭПА 3

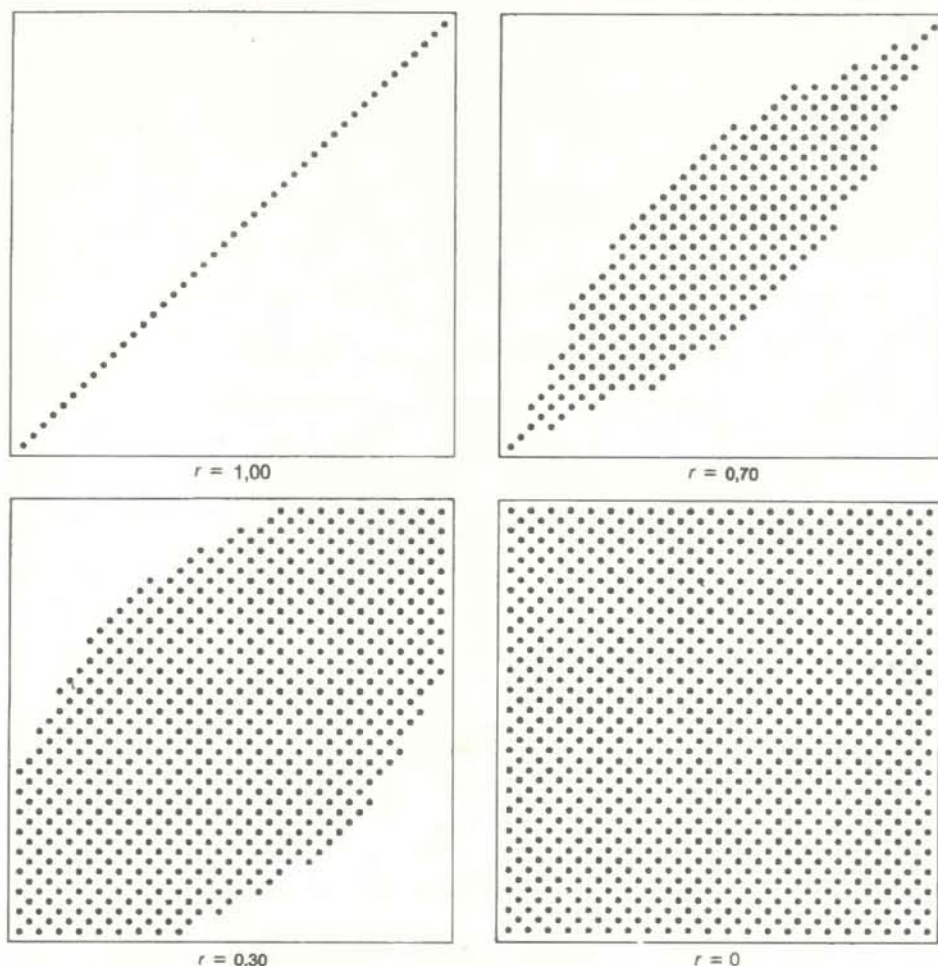


КАРТА БУТСТРЭПА 4

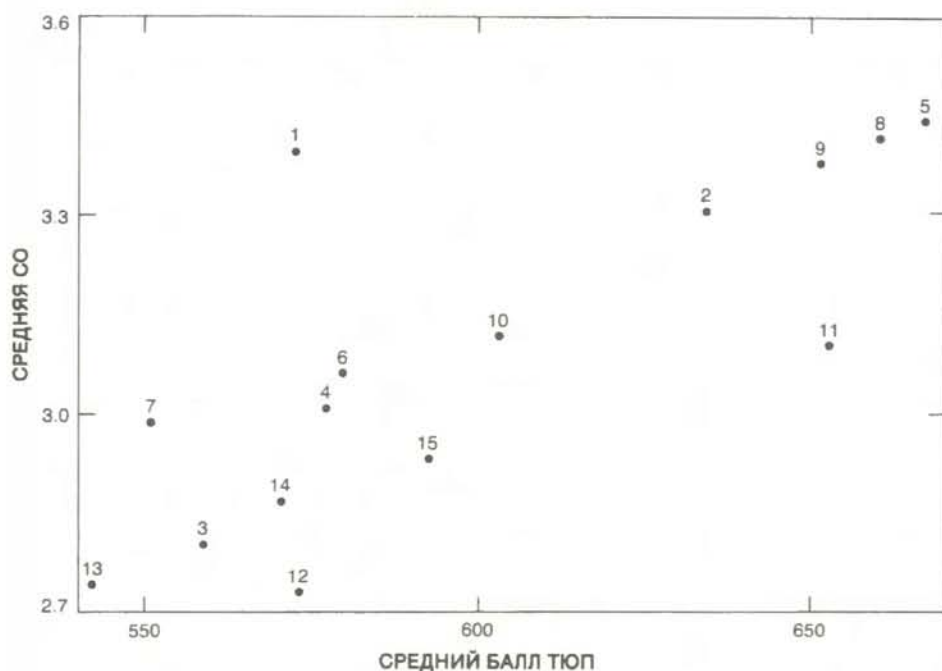


КАРТА БУТСТРЭПА 5





КОЭФФИЦИЕНТ КОРРЕЛЯЦИИ r — мера тенденции точек графика группироваться вдоль некоторой прямой. r принимает значения от -1 до 1 . Чем ближе к прямой группируются точки, тем больше абсолютное значение r .

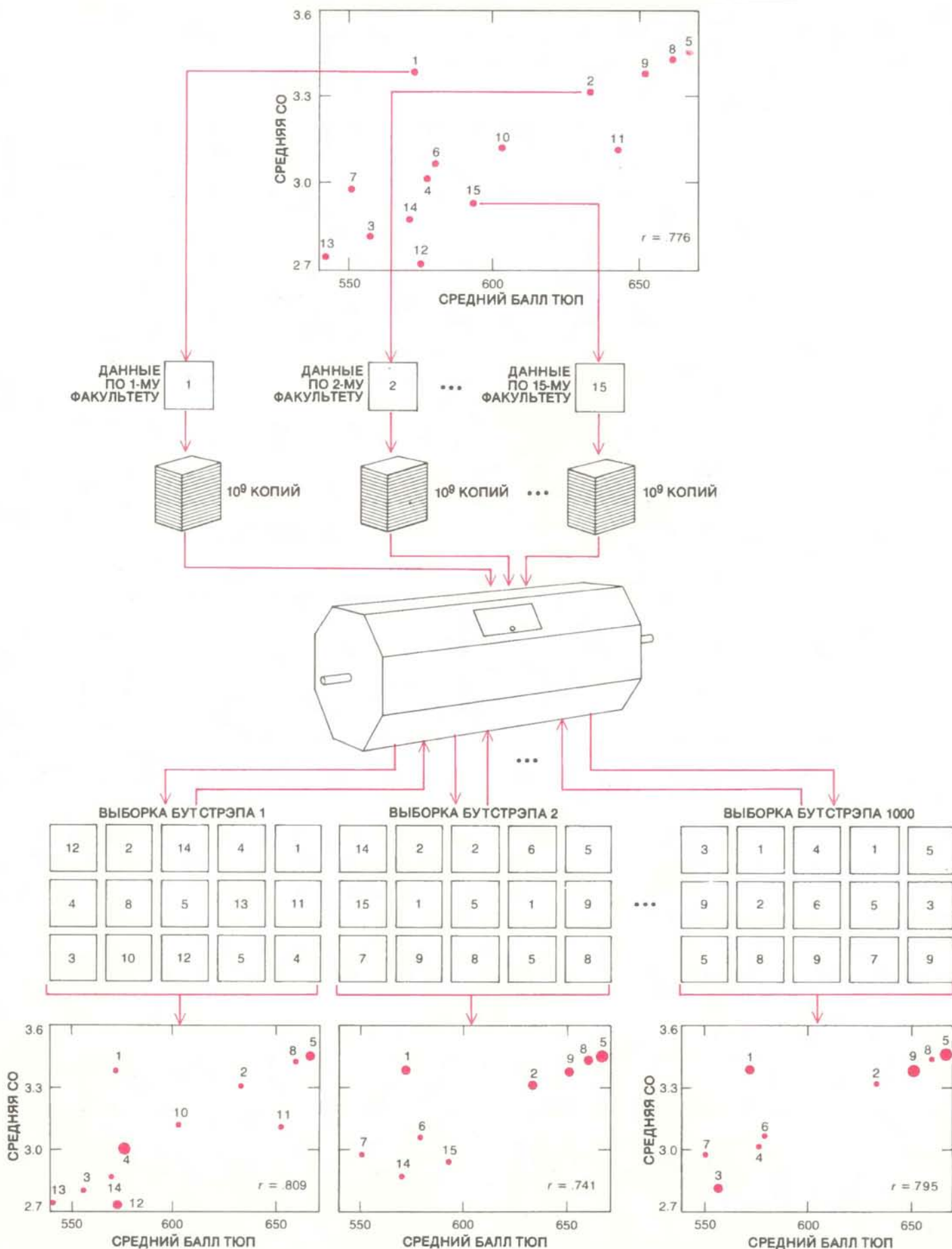


ДВЕ МЕРЫ потенциальной пригодности к обучению студентов первых курсов 15 юридических факультетов. Точки графика соответствуют усредненным значениям средних оценок (СО) при поступлении и баллов при тестировании по юридическому профилю (ТЮП). Видно, что для данной выборки эти меры имеют тенденцию к пропорциональной зависимости: $r = 0,776$. Нужно определить, насколько точно значение $0,776$ приближается к истинному значению r для всех юридических факультетов университетов США, т.е. насколько наблюдаемое значение r по случайной выборке в среднем отличается от истинного.

одно преимущество новых методов, которое дает еще большую свободу. Прежде арифметические операции выполнялись вручную или на настольном калькуляторе. Если формулы, по которым проводились такие вычисления, имели компактное аналитическое выражение, то работа значительно упрощалась. Поэтому в математической статистике появилась тенденция рассматривать лишь несколько характеристик статистической выборки: среднее значение, стандартное отклонение и коэффициент корреляции (поскольку с ними легко оперировать аналитически). Многие другие характеристики, хотя и представляли интерес для статистиков, оказались вне пределов досягаемости для аналитического подхода. Новые методы, опирающиеся на возможности ЭВМ, позволяют исследовать такие характеристики численно, несмотря на то, что их строгий анализ в настоящее время еще неосуществим. Таким образом, эти методы, расширив поле статистических средств, избавили статистиков от необходимости решать более сложные теоретические проблемы.

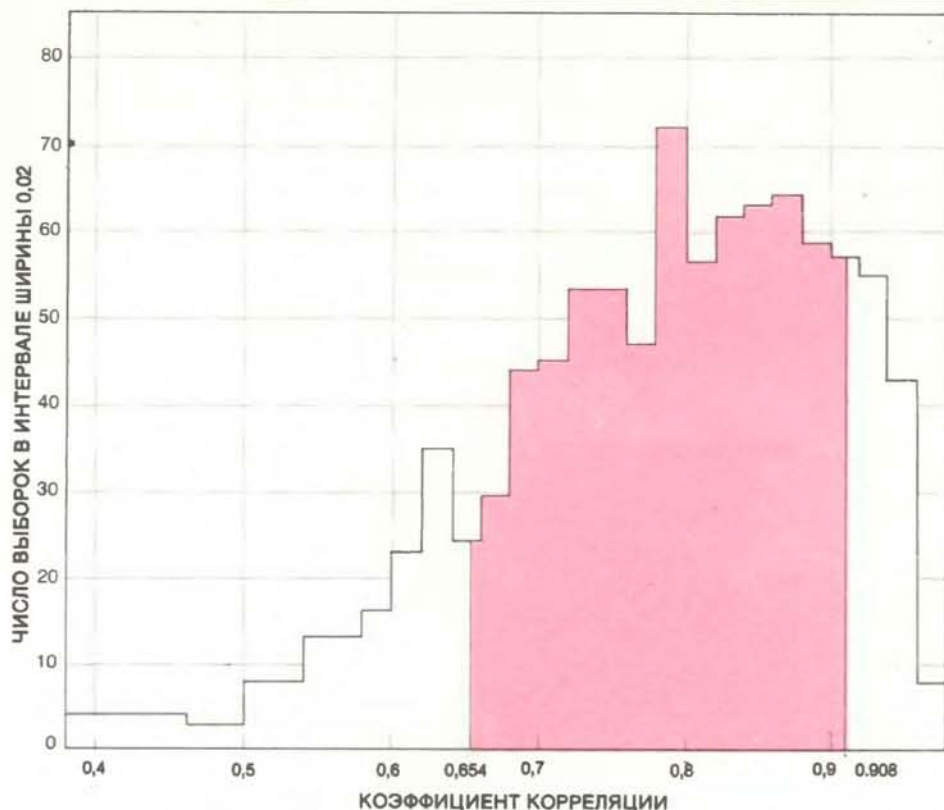
ДЛЯ ТОГО чтобы проиллюстрировать, как применять компьютер при статистических выводах, остановимся на задаче, данные которой содержат всего 15 точек. Обратимся к методу, разработанному одним из авторов (Эфроном) в 1977 г. и названному бутстрэпом. Идея метода чрезвычайно проста, но он так сильно зависит от возможностей ЭВМ, что каких-нибудь 30 лет назад был бы абсолютно невыполним.

Рассмотрим группу из 15 юридических факультетов, для только что скомплектованных первых курсов которых измеряются две общие характеристики: среднее значение из средних оценок (СО) первокурсников при поступлении и среднее значение баллов, набранных ими на вступительном тестировании юридического профиля (ТЮП). Казалось бы естественным предположить, что эти две меры, грубо говоря, пропорциональны друг другу: первый курс с высокой СО будет иметь тенденцию к высокому среднему баллу ТЮП. Маловероятно, однако, что эта пропорциональность будет строго соблюдаться: первокурсники одного-двух факультетов могут иметь высокое среднее значение СО, но низкий средний балл ТЮП, тогда как на других факультетах может наблюдаться прямо противоположная картина. Статистиков прежде всего интересует, насколько отношение между этими двумя мерами близко к пропорциональной зависимости. Более того, статистиков должно интересовать, насколько точно по тем данным, которыми мы располагаем, можно провести



МЕТОД БУТСТРЭПА применили к данным по 15 юридическим факультетам (см. предыдущий рисунок), чтобы убедиться в достоверности r , вычисленного по этой выборке. Данные по каждому факультету размножили до миллиарда экземпляров, и все 15 миллиардов перемешали. Выбирая

случайным образом 15 точек из 15 миллиардов, получили искусственные выборки (выборки бугстрэпа). Для каждой из них определили r . Метод прост, но требует большого объема вычислений, невозможных без ЭВМ.



ЧАСТОТНАЯ ГИСТОГРАММА для коэффициента корреляции r , полученная по 1000 выборкам бутстрэпа. Общепринятой мерой достоверности статистической оценки типа r является ширина полосы, находящейся под центральной частью частотной гистограммы. Ее площадь составляет 68% площади, лежащей под всей гистограммой. Центральная полоса для гистограммы бутстрэпа закрашена; ее ширина составляет 0,254. Половина этого интервала 0,127 представляет собой хорошую оценку среднего значения, на которое наблюдаемое значение r отличается от истинного значения r .

экстраполяцию на остальные юридические факультеты. Короче говоря, как убедиться в том, что выборка 15 юридических факультетов дает точную картину для всей совокупности юридических факультетов в целом?

Стандартной мерой близости отношения случайных величин СО и ТЮП к пропорциональной зависимости служит коэффициент корреляции; его обычно обозначают r . Предположим, что данные для юридических факультетов нанесены на график, вертикальная ось которого соответствует СО, а горизонтальная — ТЮП. Коэффициент корреляции позволяет оценить, насколько тесно точки такого графика группируются вдоль прямой. Значение r равно 0, если точки рассеяны случайным образом; чем ближе приближается значение r к 1 или к -1 , тем теснее группируются точки вдоль прямой с положительным или отрицательным наклоном. (Прямая имеет положительный наклон, если она направлена вправо вверх, и отрицательный — если вправо вниз.) Корреляция между температурой по Фаренгейту и температурой по Цельсию, например, равна единице, поскольку эти величины строго пропорциональны друг другу. Корреляция между весом отцов и весом их

сыновей составляет около 0,5. У полных отцов чаще бывают полные сыновья, но это соответствие не строгое. Корреляция между количеством ежедневно выкуриваемых сигарет и ожидаемой продолжительностью жизни должна быть, очевидно, отрицательной: чем больше ежедневное потребление сигарет, тем короче жизнь.

КОРРЕЛЯЦИЯ между показателями СО и ТЮП, полученными для первых курсов 15 юридических факультетов, оказалась равной 0,776. Иначе говоря, между этими величинами наблюдалась сильная корреляция, а точки графика, построенного в соответствующей координатной плоскости, весьма тесно группировались вдоль прямой с положительным наклоном. Значение r было определено при помощи обычной математической процедуры, которая заняла около пяти минут на настольном калькуляторе. Как именно производились вычисления — не существенно, достаточно знать, что при помощи этой процедуры можно найти верное значение r для любого набора данных.

Есть ли у нас, однако, основания верить, что истинное значение r для всех юридических факультетов будет хорошо совпадать с 0,776? Ведь в конце кон-

цов эта выборка юридических факультетов могла оказаться абсолютно нетипичной. Закон больших чисел дает полную гарантию того, что в случае выборки большого объема статистическая оценка r , вычисленная по такой выборке, с большой вероятностью совпадет с истинным значением r для всей совокупности. Но выборку, содержащую лишь 15 юридических факультетов, большой не назовешь. Следовательно, нам нужна некая мера, при помощи которой можно было бы оценить статистическую достоверность значения r , полученного по данной выборке (в нашем случае равного 0,776). Метод бутстрэпа как раз и дает нам такую меру.

Для того чтобы понять, что означает статистическая достоверность некой оценки, скажем r , предположим, что у нас имеются данные по другим множествам (по другим группам из 15 юридических факультетов), отличающимся от выбранного ранее. Для каждого такого множества можно вычислить значение r и, следовательно, определить количество тех r , которые отличаются друг от друга на определенную величину. Если, например, 99% значений r , вычисленных для этих гипотетических выборок, оказались в интервале между 0,775 и 0,777, то можно считать, что достоверность оценки 0,776 велика. Если же значения r равномерно распределились от -1 до 1, то полученное по первоначальной выборке значение r не будет статистически достоверным, и поэтому оно бесполезно. Иными словами, статистическая достоверность оцененного значения r зависит от ширины интервала, в который заключено это значение. Сам интервал отвечает определенному проценту всех выборок. К сожалению, мы, как правило, не располагаем данными для вычисления r по многим различным выборкам. Таким образом, поскольку пример с юридическими факультетами предназначался для того, чтобы продемонстрировать условия, реально существующие в статистической практике, мы временно будем предполагать, что нам доступны лишь те данные, которые касаются первоначально выбранных 15 факультетов. В самом деле, если бы мы располагали большим количеством данных, то могли бы получить более точную оценку, чем 0,776.

ПРОЦЕДУРА бутстрэпа позволяет произвести оценку статистической достоверности значения r по данным единственной выборки. Идея состоит в имитации процесса получения многих выборок такого же объема, как и исходная выборка (в данном случае 15), чтобы определить, с какой вероятностью значения их коэффициентов корреляции попадают в тот или иной интер-

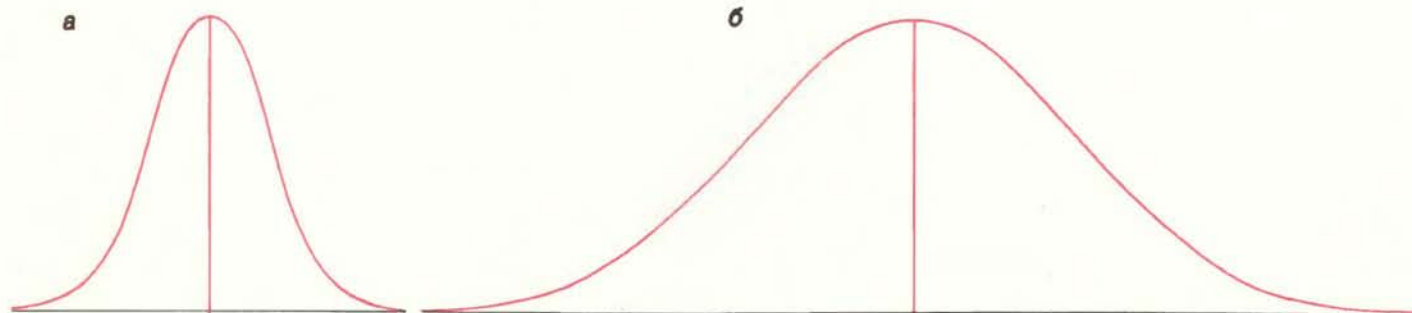
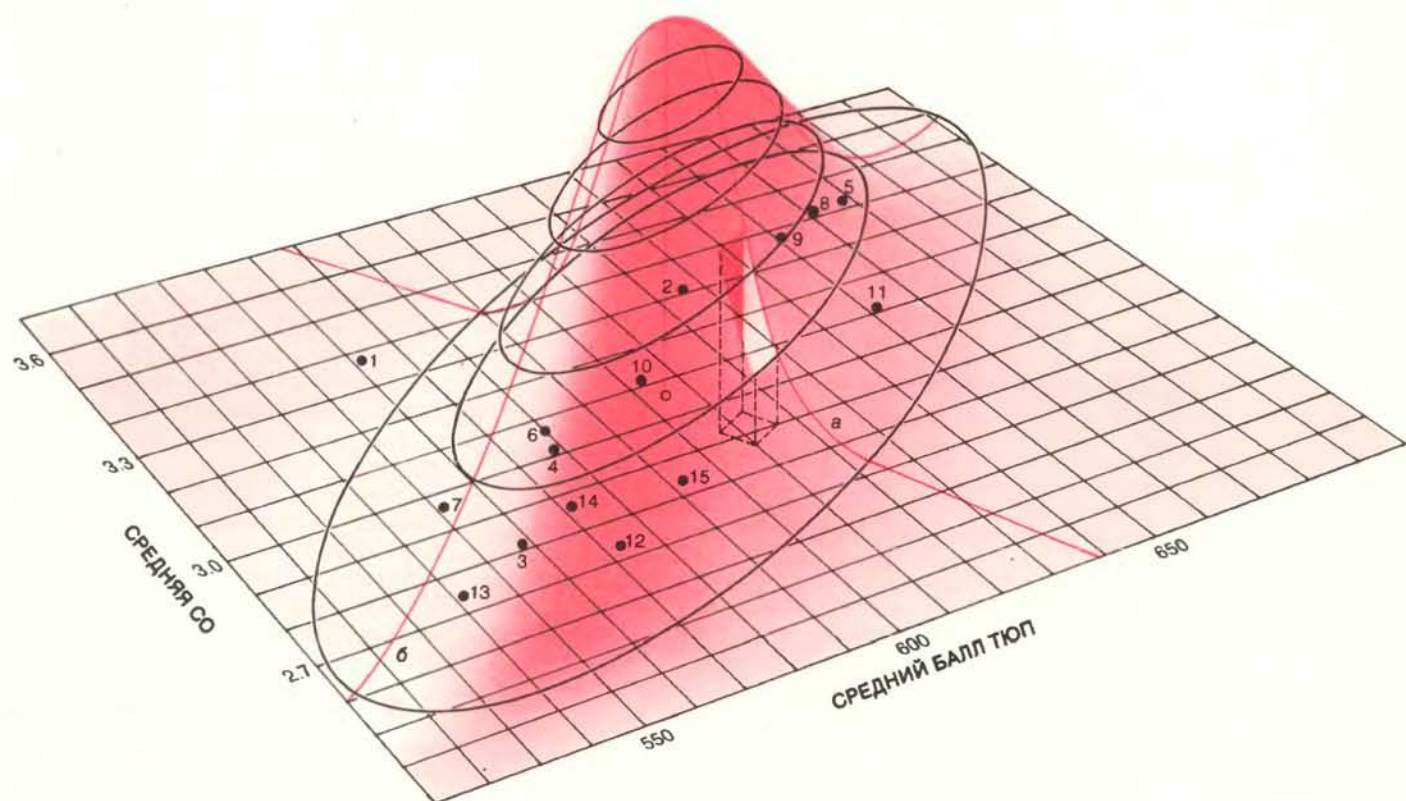
вал. Эти выборки генерируются из данных первоначальной (исходной) выборки. Название бутстрэп заимствовано из старого идиоматического выражения *pulling yourself up by your own bootstraps** и содержит в себе тот

* В переводе примерно означает «поднять себя за волосы», т.е. обойтись своими силами; английское слово *bootstrap* — ремешок на ботинке, при помощи которого ботинок легче натянуть на ногу. — Прим. перев.

смысл, что, располагая лишь одной выборкой, мы можем генерировать необходимое число других выборок, адекватных тем, которые в реальных условиях можно было бы получить случайным образом.

Выборки бутстрэпа генерируются следующим образом. Из данных по первому факультету получают колоссальное количество копий, скажем миллиард; то же самое продлевается с данными по остальным 14 факульте-

там. Затем 15 миллиардов копий тщательно перемешивают. Теперь выборки, состоящие из 15 наблюдений, выбираются случайным образом и для каждой выборки подсчитывается коэффициент корреляции. На вычислительной машине получение копий, перемешивание и выбор новых данных выполняются при помощи одной процедуры, которая значительно быстрее описанной выше, но эквивалентна ей с математической точки зрения: компьютер



КОЛОКОЛООБРАЗНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ была введена в 1915 г. Р. Фишером в его методе оценки по единственной выборке. Он пытался оценить, как сильно отличаются коэффициенты корреляции от выборки к выборке, предполагая, что все данные в выборке получены согласно вероятностям, задаваемым этой колоколообразной поверхностью. Поверхность подгонялась к данным из выборки. В примере с юридическими факультетами самая верхняя точка поверхности должна находиться непосредственно над точкой плоскости, в которой СО и ТЮП имеют их общее среднее значение (*открытая окружность*). Крутизна и ориентация поверхности относительно плоскости графика зависят от рассеяния точек. Контуры, соответствующие равным высо-

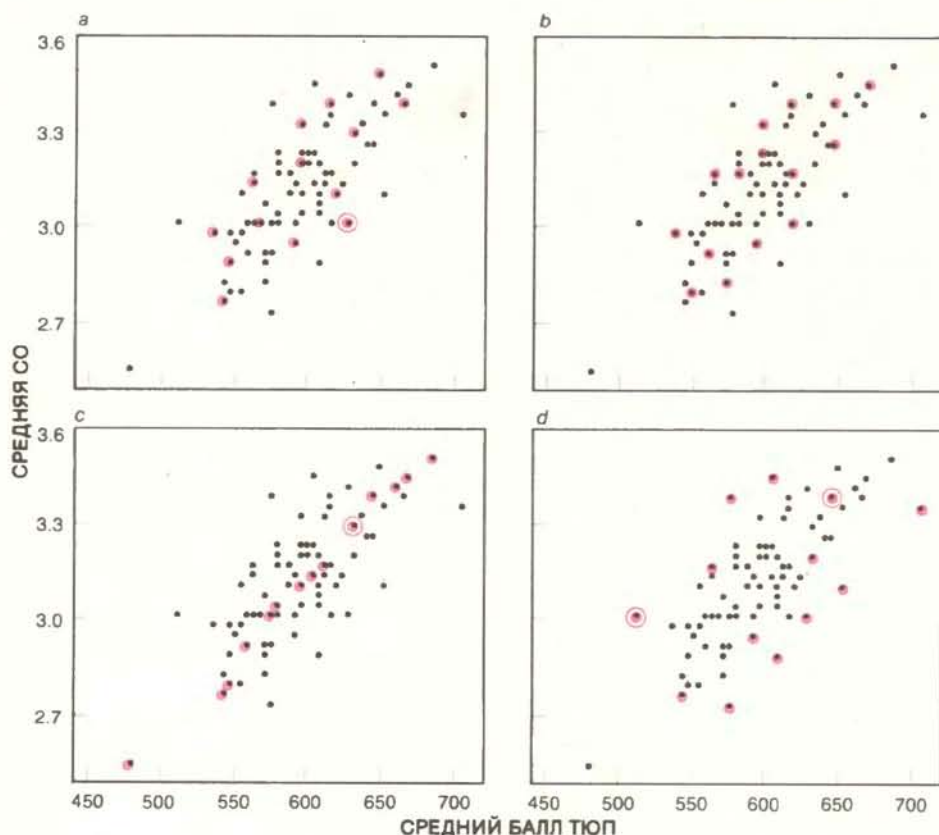
там, имеют форму эллипсов, а поперечные сечения дают колоколообразные кривые с различной шириной интервала: в нижней части рисунка изображены два поперечных сечения. Метод Фишера можно интерпретировать как получение выборок бутстрэпа из всех таких точек на плоскости графика. Вероятность выбора отдельной точки из некоторой данной области графика равна объему, заключенному между этой областью и колоколообразной поверхностью (*объем «дыры»*), деленному на весь объем между поверхностью и графиком. Для того чтобы получать выборки бутстрэпа на компьютере, используя лишь дискретные точки исходной выборки, в распределении, задаваемом колоколообразной поверхностью, нет никакой необходимости.

приписывает номер каждому юридическому факультету и затем генерирует выборку в соответствии с теми номерами, которые выдает случайное число.

Полученные таким образом выборки называются выборками бутстрапа. С распределением коэффициентов корреляции для выборок бутстрапа можно обращаться так же, как если бы это было распределение для реальных выборок: оно дает оценку статистической достоверности значения r , вычисленного на основании исходной выборки. Из данных по 15 юридическим факультетам, имеющимся в нашем распоряжении, мы получили 1000 выборок бутстрапа. Для 680 из них, т.е. для 68%, коэффициент корреляции оказался в интервале между 0,654 и 0,908. Ширина 0,254 этого интервала и служит мерой

бутстрапа достоверности значения r для данной выборки. Половина ширины интервала (0,127) интерпретируется как оценка среднего значения, на которое наблюдаемое значение r , полученное по случайной выборке объема 15, отличается от истинного значения r .

Важно отметить, что статистическую достоверность нельзя определять просто как достоверность отдельной оценки, например 0,776, т.е. как разность между оценкой и истинным значением r . В реальной задаче эта разность никогда не известна: если бы она была известна, то и задачи бы не было, потому что иначе достаточно вычесть разность из оценки и получить точное значение. Вместо этого статистическая достоверность измеряется, как было указано, средним значением отклонения оценки от истинного значения.



СТАТИСТИЧЕСКАЯ ДОСТОВЕРНОСТЬ значения r , наблюдаемого по случайной выборке, может быть определена корректно, если известно, как изменяется r при большом числе выборок. 15 юридических факультетов, по которым вычислялось значение r , были выбраны случайным образом из полной совокупности 82 юридических факультетов университетов США. Данные на четырех графиках представляют собой средние значения СО и баллов ТЮП для каждого из 82 юридических факультетов. Имеются 82^{15} способов получить из полной совокупности юридических факультетов выборки объема 15. Четыре такие выборки (с точками, обведенными цветными кружками) указаны на графике. (Каждый факультет может быть выбран более одного раза: соответствующие точки обведены несколькими кружками.) Наблюдаемые значения r для выборок *a* и *b* примерно равны истинному значению коэффициента корреляции, полученному по всем 82 факультетам. Значение r для выборки *c* оказалось значительно выше, а для выборки *d* — значительно ниже истинного значения. Истинную изменчивость значения r для выборок, содержащих 15 факультетов, можно определить, найдя значение r для многих таких выборок, поскольку у нас в распоряжении имеются данные, значительно превышающие 15 (фактически по всем 82). К сожалению, дополнительные данные зачастую получить невозможно. Бутстрап способен на основании одной выборки оценить величину изменчивости, которую могли продемонстрировать все выборки.

Если результаты по распределениям бутстрапа использовать в качестве меры статистической достоверности первоначальной оценки, то станет понятно, что оценка 0,776 грубая, но не бесполезная. Истинный коэффициент корреляции, т.е. значение r для совокупности юридических факультетов в целом, мог бы быть между 0,6 и 0,9, но это заведомо не нуль. В нашей теоретической работе показано, что мера бутстрапа статистической достоверности существенно зависит от разнообразия ситуации.

ТЕПЕРЬ можно признаться, что наше неведение было чистым притворством: в примере с юридическими факультетами достоверность оцениваемого коэффициента корреляции можно проверить непосредственно. В самом деле, мы выбрали этот пример потому, что все данные для среднего значения СО и среднего балла ТЮП по первокурсникам юридических факультетов университетов США за 1973 г. были уже собраны. Коэффициент корреляции между СО и ТЮП для юридических факультетов 82 университетов США оказался равным 0,761. (Следовательно, 0,761 есть то самое истинное значение, о котором неоднократно упоминалось выше, — величина, как, правило, неизвестная.) Но для нас более важно то, что можно определить истинную статистическую достоверность оценки, полученной по первоначальной выборке, потому что можно найти распределение значений r , вычисленных по многим реальным выборкам объема 15. Из 82 юридических факультетов 15 можно выбрать 82^{15} , или около $5 \cdot 10^{28}$, равновероятными случайными способами. В принципе значение r можно было бы вычислять для каждой выборки и, задав равные малые интервалы, построить график числа выборок, для которых значение r попадает внутрь определенного интервала. Полученный при этом график называется частотной гистограммой.

На самом деле можно получить только приближенную частотную гистограмму для выборок объема 15 из 82 юридических факультетов: если бы компьютер с быстродействием 1 млрд. операций в 1 с вычислял значения r для всех 82^{15} выборок, ему потребовалось бы больше лет, чем прошло со времени сотворения мира. Поэтому r вычисляют для большого, но реально осуществимого числа выборок, например для 1 миллиона.

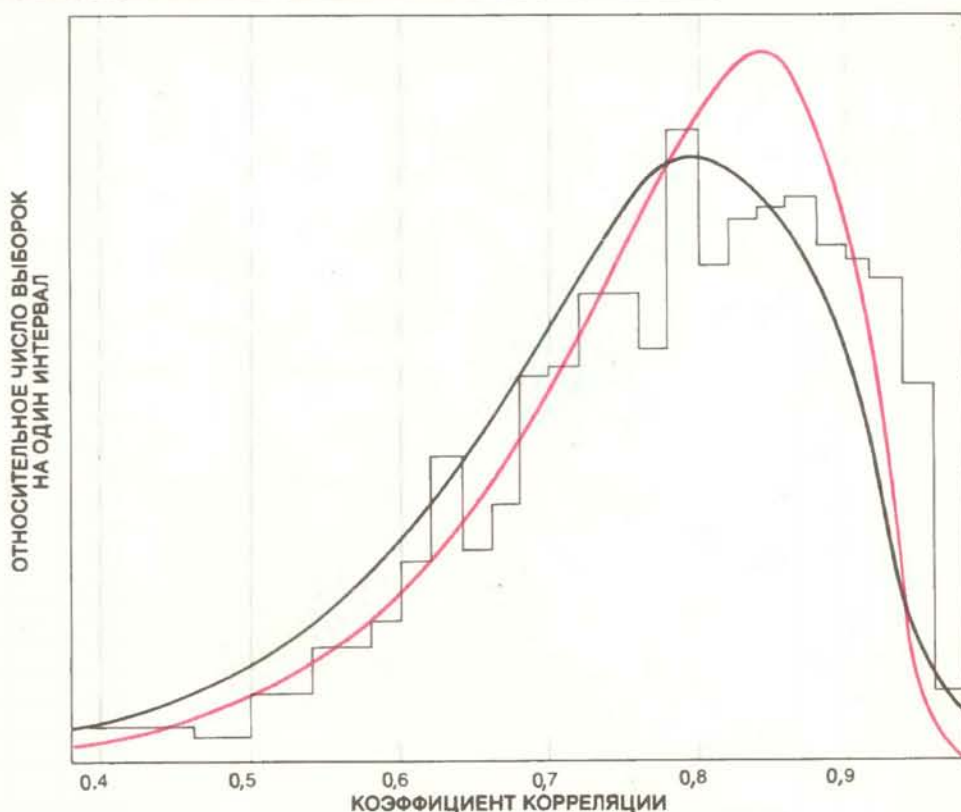
Было обнаружено, что 68% коэффициентов корреляции, подсчитанных для миллиона выборок, оказались в интервале между 0,606 и 0,876, ширина которого составляет 0,270. Иначе говоря, если 15 юридических факультетов выбраны случайным образом, вероятность того, что коэффициент корреляции

ции попадает в интервал между 0,606 и 0,876, равна 0,68. Заметим, что ширина этого интервала почти совпадает с шириной интервала, полученного для 68% выборок бутстрэпа, хотя в своих крайних точках интервалы различаются больше.

Оказывается, такое совпадение не случайно, и это подтвердили теоретические исследования, проведенные рядом ученых: Р. Бираном, П. Бикелом и Д. Фридманом из Калифорнийского университета в Беркли, а также Сингом из Ратгерского университета и авторами настоящей статьи из Стэнфордского университета. Для коэффициента корреляции и для многих других статистических характеристик ширина интервала, соответствующего распределению бутстрэпа, и ширина интервала, соответствующего реальному распределению, как правило, совпадают. (Обычно сравниваются интервалы, в которые попало 68% выборок, потому что для колоколообразной кривой 68% выборок находится по обе стороны от точки, где достигается максимальное значение кривой, на расстоянии, не превышающем стандартного отклонения.)

НА ПЕРВЫЙ взгляд этот теоретический результат кажется парадоксальным: выходит, что из информации об одной выборке можно получить вполне удовлетворительную аппроксимацию частотной гистограммы коэффициента корреляции для всех реальных выборок того же объема. Значит, статистики открыли нечто вроде статистического аналога голограммы — образа световых волн, застывших на поверхности. Объемный образ, послуживший источником этих волн, может быть во всех подробностях восстановлен по всей поверхности голограммы, но даже если голограмму разбить на фрагменты, то объект можно восстановить по любому фрагменту. Но, оказывается, не всякая выборка подобна фрагменту голограммы: хорошие качества бутстрэпа — это лишь хорошие качества в среднем. Подобно любой иной статистической процедуре, бутстрэп будет вводить нас в заблуждение для небольшого процента возможных выборок.

Предположим, что коэффициент корреляции для выборки, состоящей из данных по 15 юридическим факультетам, оказался примерно равным 1. Иначе говоря, все точки выборки расположились почти точно вдоль прямой. Учитывая, что реальные данные собраны по 82 факультетам, такая ситуация маловероятна, но тем не менее она возможна. В этом случае каждая выборка, полученная процедурой бутстрэпа, должна была бы тоже располагаться вдоль той же прямой, и поэтому все полученные бутстрэпом зна-

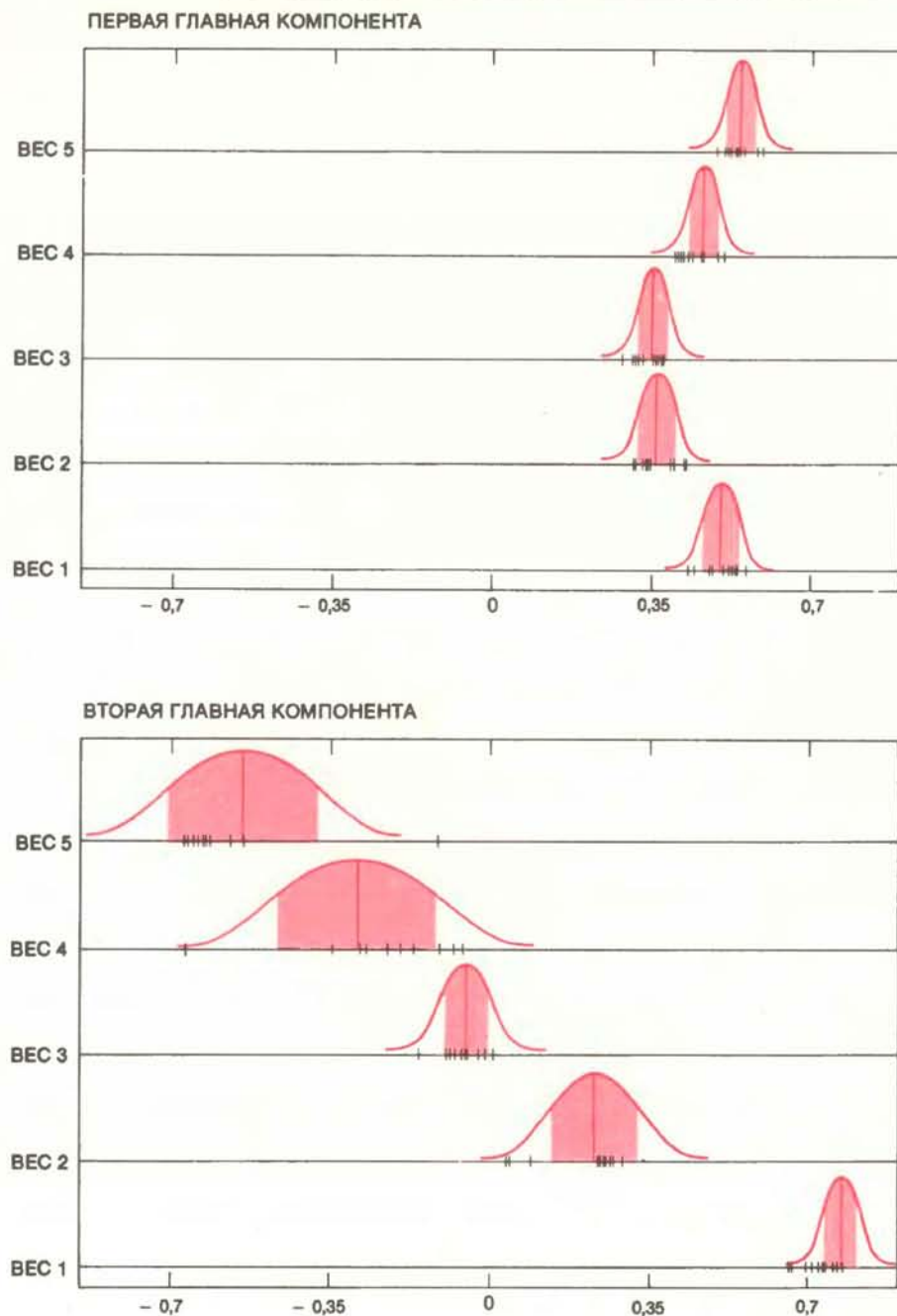


ГИСТОГРАММА БУТСТРЭПА для коэффициента корреляции r (чёрная линия, напоминающая очертания здания) даёт хорошее приближение для истинной плотности распределения коэффициента r (плавная чёрная кривая). Истинное распределение фактически было получено для миллиона выборок объёма 15, взятых случайным образом из 82^{15} всех возможных выборок из 82 юридических факультетов. Разница между распределением, изображённым здесь, и тем, которое может быть в принципе построено по всем 82^{15} выборкам, несущественна. Форма распределения бутстрэпа также очень близка к форме того распределения, которое можно оценить согласно вероятностям, задаваемым колоколообразной поверхностью (плавная цветная кривая). Такое хорошее совпадение позволяет полагать, что бутстрэп можно использовать в качестве меры точности, с которой коэффициент корреляции выборки совпадает с коэффициентом корреляции всей совокупности. Хорошее совпадение пиков распределения представляет собой некий артефакт выборки.

чения r равнялись бы примерно 1. Ширина интервала, соответствующего 68% выборок бутстрэпа, равнялась бы, таким образом, приблизительно нулю. Итак, на основании процедуры бутстрэпа заключаем, что статистическая достоверность оцениваемого значения r будет почти идеальной, тогда как на самом деле она ошибочна.

Бутстрэп не всегда может гарантировать, что статистическая достоверность выборочной оценки соответствует действительности. Единственное, что было доказано, — это то, что бутстрэп большей частью даёт хорошую картину достоверности оценки. Всегда существует небольшая доля выборок, для которых бутстрэп не работает, и никто заранее не знает, какие именно это выборки. Указанные ограничения не являются таким уж серьёзным недостатком процедуры бутстрэпа, а представляют собой всего лишь переформулировку условий неопределённости, при которых и должен проводиться всякий статистический анализ.

КАКИЕ ЖЕ достоинства имеет бутстрэп? Для того чтобы оценить их в полной мере, полезно описать, как вычислялась достоверность коэффициента корреляции (и большинства других статистических характеристик) в те времена, когда компьютеры не были столь широкодоступны. Эту процедуру можно описать в терминах бутстрэпа, хотя до изобретения компьютера статистики не пользовались такими терминами в своих работах. Английский статистик Р. Фишер в 1915 г. теоретически определил достоверность коэффициента корреляции r . Он полагал, что значения двух случайных величин (в нашем примере это средние значения СО и ТЮП) были получены случайным образом из нормального распределения, плотность которого представлена колоколообразной поверхностью. Это двумерный аналог одномерной колоколообразной кривой. Имеются семейства таких поверхностей, форму и ориентацию которых можно выбрать так, чтобы они служи-



ГЛАВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ представляют собой статистические оценки, широко применяемые при подсчете общего балла тестирования. Предположим, что все 88 учащихся подверглись пяти тестам. Для того чтобы вывести общий балл, нужно найти взвешенное среднее баллов по каждому из пяти тестов, которое бы давало самое большое различие среди учеников. Первая главная компонента представляет собой множество весов, дающее решение этой задачи. Вторая главная компонента есть множество весов, подчиняющихся некоему математическому допущению о независимости, и это множество порождает комбинацию баллов, дающую вторую наиболее сильную дифференциацию. Чтобы определить изменчивость двух главных компонент для многих дополнительных выборок объема 88, к единственной выборке был применен бутстрэп. Баллы, полученные каждым учащимся по пяти тестам, были выписаны на листке бумаги, и каждый такой список был многократно повторен. После тщательного тасования всех копий из них случайным образом получались выборки бутстрэпа объема 88. Для каждой выборки были найдены главные компоненты. Черные деления на графиках соответствуют возможным значениям весов для первых 10 выборок; красными вертикальными линиями указаны наблюдаемые значения этих весов. Ширина центральной полосы под малыми колоколообразными кривыми дает представление об изменчивости весов. Четвертый и пятый весовые коэффициенты второй главной компоненты совершенно неустойчивы.

ли подгонкой для имеющегося множества данных. Эта поверхность подгоняется к данным выборкам из юридических факультетов таким образом, чтобы вершина колокола располагалась прямо над точкой графика, в которой величины СО и ТЮП имеют их общее среднее значение. Крутизна спуска поверхности к графику зависит от того, как широко рассеяны точки (см. рисунок на с. 65).

Колоколообразная поверхность интерпретируется как плотность распределения вероятностей, точно так же как график значений r для выборок юридических факультетов представляет собой частотную гистограмму. Вероятность выбрать точку на графике СО и ТЮП из некоторой области равна объему между колоколообразной поверхностью и этой областью, деленному на весь объем между поверхностью и графиком. Теперь Фишер мог бы приступить к построению гистограммы для значений r методом бутстрэпа, исходя из колоколообразной плотности распределения. В самом деле, большое количество выборок, состоящих из 15 точек, выбиралось на графике в соответствии с вероятностью, задаваемой их расположением под колоколообразной поверхностью. Значение r вычислялось для каждой выборки и строилась гистограмма значений r . Согласно методу Фишера, ширина интервала, в который попадает 68% значений r , равна 0,226, что неплохо совпадает с истинным значением 0,270, но оценка 0,254 бутстрэпа совпадает с ним лучше.

Благодаря предположению, что данные в выборке получены из нормального распределения, весь объем вычислений в методе Фишера можно выполнить аналитически. Такое предположение — недостаток метода, поскольку оно не всегда выполняется. В нашем примере с юридическими факультетами дело именно так и обстоит. Кроме того, даже если такое предположение справедливо, нет простого способа проверить это: в большинстве ситуаций выборки, которые должны быть проверены на соответствие с формой поверхности, бывают значительно большего объема, возможно с несколькими сотнями данных.

30 лет назад вычисления по методу бутстрэпа — не будь упрощающих предположений относительно распределения вероятностей — были бы совершенно невыполнимы. Как уже говорилось, вычисление одного коэффициента корреляции занимает около пяти минут на настольном калькуляторе, а на получение частотной гистограммы для выборок бутстрэпа потребуется от 50 до 1000 таких вычислений.

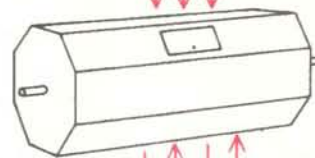
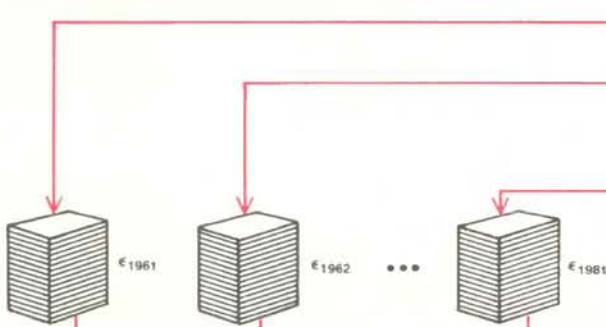
Сегодня вычисление одного значения r на компьютере средних возможностей длится 0,0001 с; при такой скорости бутстрэп становится доступным

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ БУТСТРЕПА				
ГОД	1960	1961	...	1981
ЛОГАРИФМ СПРОСА НА ЭНЕРГИЮ	D_{1960}	D_{1961}	...	D_{1981}
ЛОГАРИФМ ЧИСЛА ХОЛОДНЫХ ДНЕЙ	C_{1960}	C_{1961}	...	C_{1981}
ЛОГАРИФМ ЧИСЛА ЖАРКИХ ДНЕЙ	H_{1960}	H_{1961}	...	H_{1981}
ЛОГАРИФМ ЦЕНЫ ТОПЛИВА	P_{1960}	P_{1961}	...	P_{1981}
ЛОГАРИФМ УСЛОВНО-ЧИСТОЙ ПРОДУКЦИИ	V_{1960}	V_{1961}	...	V_{1981}

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ a, b, c, d, e и f , ПРИ КОТОРЫХ УРАВНЕНИЕ НАИЛУЧШИМ ОБРАЗОМ СООТВЕТСТВУЕТ ДАННЫМ:

$$D_t = a + bC_t + cH_t + dP_t + eV_t + fD_{t-1}$$

РАЗНОСТЬ ϵ_t МЕЖДУ ТОЧНЫМ ЗНАЧЕНИЕМ D_t И ЗНАЧЕНИЕМ D_t , ПОЛУЧЕННЫМ ИЗ УРАВНЕНИЯ:

$$\begin{aligned} \epsilon_{1961} &= D_{1961} - (a + bC_{1961} + cH_{1961} + dP_{1961} + eV_{1961} + fD_{1960}) \\ \epsilon_{1962} &= D_{1962} - (a + bC_{1962} + cH_{1962} + dP_{1962} + eV_{1962} + fD_{1961}) \\ &\vdots \\ \epsilon_{1981} &= D_{1981} - (a + bC_{1981} + cH_{1981} + dP_{1981} + eV_{1981} + fD_{1980}) \end{aligned}$$


ВЫБОРКА БУТСТРЕПА 1

ВЫБОРКА БУТСТРЕПА 2



ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ БУТСТРЕПА				
ГОД	1960	1961	...	1981
ЛОГАРИФМ СПРОСА НА ЭНЕРГИЮ	D_{1960}	D_{1961}^*	...	D_{1981}^*
ЛОГАРИФМ ЧИСЛА ХОЛОДНЫХ ДНЕЙ	C_{1960}	C_{1961}	...	C_{1981}
ЛОГАРИФМ ЧИСЛА ЖАРКИХ ДНЕЙ	H_{1960}	H_{1961}	...	H_{1981}
ЛОГАРИФМ ЦЕНЫ ТОПЛИВА	P_{1960}	P_{1961}	...	P_{1981}
ЛОГАРИФМ УСЛОВНО-ЧИСТОЙ ПРОДУКЦИИ	V_{1960}	V_{1961}	...	V_{1981}

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ a^*, b^*, c^*, d^*, e^* и f^* , ПРИ КОТОРЫХ УРАВНЕНИЕ НАИЛУЧШИМ ОБРАЗОМ СООТВЕТСТВУЕТ ДАННЫМ БУТСТРЕПА:

$$D_t = a^* + b^*C_t + c^*H_t + d^*P_t + e^*V_t + f^*D_{t-1}$$

МОДЕЛЬ СПРОСА НА ЭНЕРГИЮ RDFOR (Regional Demand Forecasting Model) была разработана Министерством энергетики США для анализа и предсказания спроса на энергию в 10 регионах страны. К данным по каждому региону была как можно ближе подогнана математическая модель, называемая уравнением регрессии. Предполагалось, что спрос на энергию в текущем году зависит от спроса на энергию в предыдущем году и от нескольких других факторов. Каждая ошибка ϵ_t представляет собой разность между предсказанным значением спроса на энергию в текущем году и наблюдаемым значением. Выборки бутстрэпа, состоящие из

ошибок, выбираются случайно, а искусственные данные спроса на энергию порождаются методом, представленным на диаграмме. К данным бутстрэпа затем подгоняются новые уравнения регрессии; изменчивость уравнений регрессии, порожденных бутстрэпом, дает оценку ожидаемой точности модели предсказания спроса на энергию. Анализ с помощью бутстрэпа, проведенный Д. Фридманом из Калифорнийского университета в Беркли и С. Питерсом из Станфордского университета, показал, что изменчивость уравнений регрессии в два-три раза выше, чем предполагалось прежде.

для повседневного применения. Если этим методом требуется получить 1000 выборок, все вычисления, необходимые для оценки ширины интервала, в который попадает 68% выборок, займут меньше секунды и обойдутся самое

большее в 1 долл. Предполагается, что быстродействие компьютера — 100 тыс. арифметических операций в секунду. На более тщательный анализ бутстрэпом, при котором выдается более подробная информация относительно до-

стоверности γ , потребуется около 1 млн. арифметических операций.

Использование метода бутстрэпа не ограничивается анализом изменчивости статистических характеристик вроде коэффициента корреляции — эти величины имеют простое математическое выражение. Он применялся и во многих задачах, в которых изменчивость интересующей нас статистической характеристики нельзя было получить аналитически. Рассмотрим семейство статистических данных, называемых главными компонентами, которое в 1933 г. ввел Х. Хоттеллинг из Колумбийского университета. Главные компоненты были придуманы для решения задачи типа приводимой ниже, взятой из учебника К. Мардна и Дж. Кента из Лидского университета и Дж. Бибби из Открытого университета.

Среди 88 учащихся колледжа проведены два тестирования без разрешения пользоваться учебниками и три тестирования — с разрешением. Предположим, для того чтобы вывести определенный балл каждому ученику, мы хотим найти взвешенное среднее по результатам пяти тестов, которое даст наибольшую дифференциацию знаний учащихся. (Для того чтобы сделать отношения, а не только разности по всем баллам настолько различными, насколько это возможно, веса должны быть нормированы таким образом, чтобы их сумма квадратов равнялась 1). Одно из множеств весов возникает, если рассматривается только количество баллов по последнему тесту: тогда нужно назначить веса 0, 0, 0, 0, 1. Если все учащиеся имеют высокие баллы по этому тесту, общий балл, полученный суммированием с такими весами, не даст эффективной дифференциации студентов. Другой общий балл выводится, если каждому тесту приписать один и тот же вес. Значением этого весового коэффициента будет $1/\sqrt{5}$, то есть примерно 0,45. Множество весов, при котором достигается максимальная дифференциация учащихся по пяти тестам, называется первой главной компонентой.

Первую главную компоненту невозможно представить в аналитическом виде — ее следует получить численно. Расчеты, проведенные для группы из 88 учащихся, показали, что веса первой главной компоненты оказались приблизительно равны друг другу. Следовательно, мы будем иметь наибольшую дифференциацию учеников, если возьмем средний балл по пяти тестам.

Второй главной компонентой служит множество весов, удовлетворяющее некоему математическому ограничению о независимости, что дает нам вторую наибольшую дифференциацию учащихся. Вторая главная компонента,

	№ истории болезни						
	149	150	151	152	153	154	155
ВОЗРАСТ	20	36	46	44	61	53	43
ПОЛ	М	М	М	М	М	Ж	М
НАЛИЧИЕ СТЕРОИДА	ЕСТЬ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	ЕСТЬ	ЕСТЬ	НЕТ
ВВЕДЕНИЕ ПРОТИВОВИРУСНОГО ПРЕПАРАТА	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ
УТОМЛЯЕМОСТЬ	НЕТ	НЕТ	ЕСТЬ	ЕСТЬ	ЕСТЬ	ЕСТЬ	ЕСТЬ
НЕДОМОГАНИЕ	НЕТ	НЕТ	ЕСТЬ	НЕТ	ЕСТЬ	НЕТ	НЕТ
АППЕТИТ	ЕСТЬ	ЕСТЬ	НЕТ	ЕСТЬ	ЕСТЬ	ЕСТЬ	ЕСТЬ
УВЕЛИЧЕННАЯ ПЕЧЕНЬ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	ЕСТЬ	НЕТ	НЕТ
ТВЕРДАЯ ПЕЧЕНЬ	*	НЕТ	НЕТ	ЕСТЬ	ЕСТЬ	НЕТ	НЕТ
ПРОЩУПЫВАЕМАЯ СЕЛЕЗЕНКА	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	ЕСТЬ	ЕСТЬ
НАЛИЧИЕ «ПАУКОВ»	НЕТ	НЕТ	ЕСТЬ	НЕТ	ЕСТЬ	ЕСТЬ	ЕСТЬ
НАЛИЧИЕ АСЦИТА	НЕТ	НЕТ	ЕСТЬ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	ЕСТЬ
НАЛИЧИЕ ВЕНОЗНЫХ УЗЛОВ	НЕТ	НЕТ	ЕСТЬ	НЕТ	НЕТ	ЕСТЬ	НЕТ
СОДЕРЖАНИЕ БИЛИРУБИНА	0,9	0,6	7,6	0,9	0,8	1,5	1,2
СОДЕРЖАНИЕ ЩЕЛОЧНОЙ ФОСФОТАЗЫ	89	120	*	126	95	84	100
СОДЕРЖАНИЕ АСПАРТАМИНО-ТРАНСФЕРАЗЫ	152	30	242	142	20	19	19
СОДЕРЖАНИЕ АЛЬБУМИНА	4,0	4,0	3,3	4,3	4,1	4,1	3,1
СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА	*	*	50	*	*	48	42
МНЕНИЕ ВРАЧА ОБ ИСХОДЕ	БЛА-ГОПО-ЛУЧ-НЫЙ	БЛА-ГОПО-ЛУЧ-НЫЙ	*	БЛА-ГОПО-ЛУЧ-НЫЙ	БЛА-ГОПО-ЛУЧ-НЫЙ	*	БЛАГО-ПО-ЛУЧ-НЫЙ
ИСХОД	БЛА-ГОПО-ЛУЧ-НЫЙ	БЛА-ГОПО-ЛУЧ-НЫЙ	ЛЕ-ТАЛЬ-НЫЙ	БЛА-ГОПО-ЛУЧ-НЫЙ	БЛА-ГОПО-ЛУЧ-НЫЙ	БЛА-ГОПО-ЛУЧ-НЫЙ	ЛЕ-ТАЛЬ-НЫЙ

ДАННЫЕ МЕДИЦИНСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ семи из 155 пациентов с острым или хроническим гепатитом представлены в виде 19 показателей для каждого больного, по которым в совокупности можно предсказать, умрет пациент или оправится от болезни. (Звездочка означает, что информация отсутствует.) До построения формальной модели данные внимательно изучаются. Это делается с целью исключить из рассмотрения все малозначимые показатели, кроме четырех-пяти самых важных. П. Грегори, сотрудник медицинского факультета Станфордского университета, при анализе исключил все переменные, кроме недомогания больного, наличия асцита (жидкости в брюшной полости), содержания билирубина и мнения врача о возможном исходе. На основании этих четырех переменных Грегори разработал модель, которая в 84% случаев давала правильный прогноз.

вычисленная для группы из 88 учеников, выявила то обстоятельство, что веса для средних баллов по тестам, в которых разрешалось пользоваться учебником, отличаются от весов по тестам, в которых это запрещалось. Главные компоненты предлагают полезные и неожиданные интерпретации средних баллов учеников. Заслуживают ли доверия эти интерпретации? Если им доверять можно, то нужно стараться определить, сколь сильно отличаются значения этих двух главных компонент для выборок, полученных случайным образом.

Вот уже 50 лет умы статистиков занимает проблема получения количественного выражения для изменчивости главных компонент применительно к выборкам данного размера. Если данные удовлетворяют нормальному распределению, то можно дать частичный ответ на вопросы, связанные с построением гистограммы для первой главной компоненты. Что касается второй компоненты и других компонент более высоких порядков, то здесь известно немного. Применение же метода бутстрэпа на ЭВМ может быстро дать оценку изменчивости для любой главной компоненты, даже без введения ограничения о гауссовости распределения.

В принципе анализ методом бутстрэпа здесь проводится так же, как и для коэффициента корреляции. Каждое множество баллов учащихся по пяти тестам было размножено в большом количестве (т.е. все пять полученных баллов записывались на одинаковых листах бумаги), и полученные копии были тщательно перетасованы. Из них случайным образом выбирается 88 экземпляров и вычисляется главная компонента. Этот процесс многократно повторяется, и для каждой главной компоненты строится частотная гистограмма.

Результаты показывают, что веса, связанные с первой главной компонентой, очень устойчивы: они отличаются только во вторых десятичных знаках. Веса, связанные со второй главной компонентой, менее устойчивы, но в некотором структурном смысле. Вспомним, что вторая главная компонента интерпретировалась как разность между средним баллом по тестам без учебника и средним баллом по тестам с учебником. Такая интерпретация подтвердилась анализом по методу бутстрэпа, но веса, задаваемые тестом с учебником, оказались самыми разнообразными. Распределение для главных компонент, полученное бутстрэпом, дает хорошую оценку истинного распределения главных компонент для выборок объема 88. На мощных компьютерах получение сотни распределений бутстрэпа занимает 2 с.

НЕ КАЖДАЯ статистическая оценка выражается каким-то числом. На девяти метеорологических станциях восточных и среднезападных штатов США регистрировался уровень рН (кислотности) всех осадков с сентября 1978 г. до августа 1980 г. (Значение рН, меньшее 7, означает кислую среду; чем ниже значение рН, тем выше кислотность.) За два года было получено 2000 значений рН. Для представления этих данных Б. Эйвон и П. Свитцер из Станфордского университета изготовили карты изолиний рН этого региона: вдоль изолиний значение рН постоянно. Такие карты получают по данным при помощи строгой математической процедуры, называемой методом Крайга (по имени горного инженера Х. Крайга из ЮАР). Хотя карта изолиний точно определяется данными, она представляет собой некую экстраполяцию данных, собранных на 9 метеорологических станциях, на множество точек в пространстве и во времени (фактически на бесконечное их число), которые не были включены в исходную выборку. Можно задаться вопросом: как будут меняться карты изолиний в зависимости от случайных изменений в различных выборках, состоящих из 2000 значений рН?

В этом примере не известны ни истинная карта изолиний, ни истинная изменчивость всех карт, порожденных выборками 2000 значений рН. Обе оценки должны быть получены из единственной исходной карты, если это вообще возможно. Методом бутстрэпа, сохраняя географическое расположение станций, Эйвон и Свитцер из 2000 значений рН исходной выборки получили карты, изображенные на с. 61. Вообще говоря, нет общепринятой меры изменчивости изолиний на карте, аналогичной ширине интервала для гистограмм. Интуитивно, однако, эта изменчивость легко различается. Поэтому исходную карту изолиний следует интерпретировать очень осторожно. Коридоры относительно низкой или относительно высокой кислотности под влиянием случайного «шума» могут сжаться на карте бутстрэпа до островков.

Нередко при статистическом оценивании к имеющимся в нашем распоряжении данным подбирают некоторую заранее заданную линию или модель так, чтобы она по возможности точно совпадала с ними. Простейшими моделями служат прямая, плоскость и ее аналоги более высокой размерности. Рассмотрим 15 точек, представляющие 15 юридических факультетов. Интуитивно понятно, что существует много линий, которые можно провести так, чтобы они отразили ту или иную тенденцию полученных точек. Поэтому разумно заранее оговорить некоторую меру достоверности метода подгонки.

По-видимому, наиболее популярна оценка статистических характеристик методом наименьших квадратов. Метод был изобретен Гауссом и Лагранжем в начале XIX в. для оценки предсказаний в астрономии.

Прямая наименьших квадратов представляет собой прямую линию, сумма квадратов всех расстояний от которой до имеющихся точек минимальна. Уравнение для прямой наименьших квадратов можно получить непосредственным вычислением. Если к данным применяется метод бутстрэпа, то порождаются фиктивные множества данных, к каждому из которых применяется метод наименьших квадратов для подгонки к ним новой прямой. Флуктуация таких прямых, порожденных бутстрэпом, показывает изменчивость метода наименьших квадратов как статистической оценки для этого множества данных.

Метод наименьших квадратов и его обобщения особенно полезны при решении сложных задач, когда исследователь нуждается в большом количестве разнообразной информации, относящейся к одному явлению. Министерство энергетики США, например, разработало модель Regional Demand Forecasting Model (RDFOR) предсказания спроса по регионам, которая представляет собой попытку предсказать спрос на энергию в 10 регионах США. Предполагается, что спрос на энергию в каждом регионе в данном году зависит неким элементарным образом от пяти переменных: количества дней летом, когда температура превысила 24° С, количества дней зимой, когда температура была ниже 18° С, цен на топливо, условно-чистой продукции обрабатывающей промышленности (мера экономических условий данного региона) и спроса на энергию в предыдущем году.

ЭТИ ПЯТЬ переменных можно представить графиком в пятимерном пространстве, который в сущности аналогичен двумерному графику: каждой точке пятимерного графика соответствует определенная комбинация из пяти переменных. Спрос на энергию в данном году, отвечающий известной комбинации переменных, можно тогда представить высотой, опущенной из некоторой точки шестимерного пространства в соответствующую точку графика в пятимерном пространстве. Представление данных в шестимерном пространстве аналогично представлению зависимости некоторой величины от двух других переменных: высоты, опущенной из точек в трехмерном пространстве на двумерный график. Таким образом, данные спроса на энергию определяют множество высот в шестимерном пространстве.

Метод наименьших квадратов дает способ получения пятимерного анало-

га плоскости (называемого гиперплоскостью), расположенной как можно ближе ко всем точкам. Поскольку имеется зависимость от спроса на энергию в предыдущие годы, гиперплоскость следует подгонять к переменным обобщенным вариантом метода наименьших квадратов. В обобщенном методе предусматривается минимизация взвешенных сумм ошибок после того, как веса были оценены по данным. В последние годы был разработан усовершенствованный метод оценки достоверности этой процедуры и достоверности даваемых при ее помощи прогнозов.

Фридман и С. Питерс из Станфорда применили бутстрэп для изучения общепринятых оценок достоверности этой процедуры. В их подходе предполагалось, что данные тесно примыкают к подходящей гиперплоскости, но не предполагалось, что ошибки между данными и точками на гиперплоскости не зависят друг от друга. Вместо этого допускалось, что отношение ошибок от точки к точке может иметь сложную структуру. Бутстрэп применялся к данным с учетом сохранения тенденции спроса на энергию от года к году. Изменчивость гиперплоскостей, порож-

денных бутстрэпом, показала, что ранее предполагаемая стандартная ошибка энергетической модели была очень занижена — вдвое или втрое. Таким образом, прогнозы на спрос энергии, полученные на основе модели RDFOR, оказались значительно менее надежными, чем считалось ранее.

ВЫБОРКИ в рассмотренных примерах имели четко определенные статистические свойства. На практике, прежде чем приступить к формальному анализу, данные тщательно проверяют, сортируют, изображают графически, подвергают предварительному неформальному анализу. Оценки, при которых не проводится такой неформальный анализ, не могут дать достоверную картину статистической изменчивости.

Рассмотрим группу из 155 больных острым и хроническим гепатитом, которых наблюдал П. Грегори, сотрудник медицинского факультета Станфордского университета. Из 155 пациентов выжили 122 и умерли 33; о каждом пациенте были собраны данные по 19 показателям, таким, как возраст, пол и результаты стандартных биохимических измерений. Грегори ставил

своей целью выяснить, можно ли эти данные свести в модель, позволяющую предсказывать шансы отдельного пациента на выздоровление.

Анализ данных проводился в несколько стадий. Прежде всего были исключены все переменные, кроме четырех самых важных, поскольку статистический опыт нам подсказывает, что было бы неразумно, имея только 155 точек, подгонять модель, зависящую от 19 переменных. Исключение переменных проводилось в два этапа: сначала каждая переменная изучалась по отдельности, после чего были исключены шесть, по-видимому не имеющих отношения к выживанию пациентов. К оставшимся 13 переменным была применена некая стандартная статистическая процедура, после чего их число сократилось до четырех. Остались следующие показатели: самочувствие больного, асцит (наличие жидкости в брюшной полости), содержание билирубина в печени и мнение лечащего врача относительно возможного исхода для больного. По этим переменным строилась подогнанная кривая, по которой можно было предсказать, как относительное число выживших пациентов зависит от значений переменных.

Анализ, состоящий из нескольких стадий, типичен для научной практики. Для того чтобы оценить общую изменчивость всех стадий, Г. Гонг из Университета Карнеги — Меллона провела всю процедуру целиком — от предварительного отбора до окончательной подогнанной кривой — по выборкам бутстрэпа, полученным из исходных 155 точек. Ее результаты оказались неожиданными и весьма информативными. Множество «самых важных» переменных, полученное на первой стадии анализа, уже само оказалось абсолютно ошибочным. Для некоторых выборок бутстрэпа важным был только прогноз лечащего врача относительно исхода, тогда как для других — такие переменные, как пол, возраст, переутомление, содержание альбумина и содержание белка. Не оказалась ни одной переменной, которая бы проявила себя как важная в 60% выборках бутстрэпа.

Хотя подогнанная кривая предназначалась для того, чтобы предсказывать, выживет или нет данный больной, в 16% случаев из 155 обследуемых пациентов классификация оказалась ошибочной. Оценка 16%, однако, тоже слишком занижена, поскольку данные, из которых она получена, использовались и для построения кривой. Анализ на основании выборок бутстрэпа дал улучшенную оценку для вероятности того, что подогнанная кривая будет ошибочно классифицировать данного пациента: оценка оказалась равной 0,20.

Если в перспективе методом бутст-

НОМЕР ВЫБОРКИ БУТСТРЭПА	ОТОБРАННЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ
491	АЛЬБУМИН, ПРОГНОЗ, ПОЛ
492	АСЦИТ, БИЛИРУБИН, ПРОГНОЗ
493	БИЛИРУБИН, АСЦИТ
494	БИЛИРУБИН, ПРОГНОЗ, НЕДОМОГАНИЕ
495	АСЦИТ
496	БИЛИРУБИН
497	АСЦИТ, ВЕНОЗНЫЕ УЗЛЫ
498	«ПАУКИ», ПРОГНОЗ, АЛЬБУМИН
499	ВОЗРАСТ, ПРОГНОЗ, БИЛИРУБИН, НЕДОМОГАНИЕ, БЕЛОК, «ПАУКИ»
500	АСЦИТ, ПРОГНОЗ, БИЛИРУБИН, БЕЛОК

ПЕРЕМЕННЫЕ, ПРИЗНАННЫЕ ВАЖНЫМИ при неформальном анализе, предшествующем построению формальной статистической модели, оказались самыми разнообразными. Применение бутстрэпа для моделирования формального и неформального аспектов статистического анализа осуществила Г. Гонг из Университета Карнеги — Меллона. Копирование 19 переменных, связанных с каждым пациентом, было запрограммировано на ЭВМ. Множества данных были тщательно перемешаны, и затем из них случайным образом делались выборки 155 множеств данных. Затем к каждой выборке бутстрэпа применялась формальная и неформальная техника анализа данных, точно так же, как это делалось для исходной выборки. Для 10 из 500 выборок, полученных бутстрэпом, приведены показатели, признанные для них важными. Не нашлось ни одной переменной, из четырех первоначально отобранных, которая была бы признана важной в 60% случаев. Следовательно, не стоит слишком серьезно относиться к переменным, признанным важными при неформальном анализе.

рпа можно будет проводить целиком весь процесс анализа данных, то есть надежда когданибудь подступиться и к одной чрезвычайно сложной задаче — к связи между математической теорией, лежащей в основе математической статистики, и реальной статистической практикой. Обычно считалось, что предварительно «совать нос» в окончательные результаты бесполезно, и для этого выдвигалось сомнительное основание, что их невозможно исследовать аналитически. Теперь очевидно, что бутстрэп, призвав на помощь компьютер, может начать оценивать пользу такого вмешательства.

БУТСТРЭП, разумеется, не единственный метод, полагающийся на мощь компьютера. Несколько других статистических методов, таких, как «метод складного ножа», перекрестная проверка достоверности, сбалансированное повторение экспериментов, по сути аналогичны бутстрэпу, но в деталях сильно от него отличаются. В каждой из этих процедур из исходных данных генерируются фиктивные множества и затем оценивается размер реальной изменчивости статистической характеристики по ее изменчивости, полученной по всем фиктивным множествам данных. Друг от друга и от бутстрэпа эти методы отличаются способом получения фиктивных множеств данных.

Первым появился «метод складного ножа». Его изобрел М. Кенуй в 1949 г., а усовершенствовали в 1950 г. Дж. Тьюки из Принстонского университета и сотрудники фирмы Bell Laboratories. Исследования практической возможности этого метода проводили К. Мэллоуз из фирмы Bell Laboratories, Л. Джевел из Университета в Беркли, Д. Хинкли из Техасского университета в Остине, Р. Миллер из Станфордского университета, У. Шуканы из Южного методического университета и многие другие. Название «складной нож», придуманное Тьюки, указывает на универсальность этого статистического инструмента.

В методе складного ножа предусматриваются удаление по одному наблюдению из исходной выборки и вычисление заново для каждого из полученных усеченных множеств интересующей нас статистической характеристики. Таким образом, можно описать изменчивость этой статистической характеристики по всем усеченным множествам данных. При оценке точности значения t для данных по 15 юридическим факультетам методом складного ножа проводится 15 новых вычислений t , по одному для каждой возможной выборки объема 14. В методе складного ножа меньше вычислений, чем в бутстрэпе, но это говорит о его меньшей гибкости, а порой и меньшей надежности.

В методе перекрестной проверки достоверности воплощена простая идея. Данные разбиваются пополам и кривые, подогнанные к одной части, одна за другой проверяются на наилучшее совпадение с другой частью данных. В результате перекрестной проверки достоверности получаем надежный показатель того, насколько хорошо подогнанная кривая будет предсказывать значения новых данных. Кстати, разбиение пополам не обязательно, данные с таким же успехом можно разбить в пропорции 90 к 10. Кроме того, нет никаких оснований проводить перекрестную проверку лишь один раз: данные можно разбивать многими способами и в каждом случае брать всевозможные случайные сочетания.

Перекрестная проверка достоверности широко применяется в ситуациях, когда процедура подгонки кривой корректно определена во всех отношениях, за исключением одного очень существенного. Пусть, например, методом наименьших квадратов требуется подогнать к данным многочлен, но его степень, или самый высокий показатель, все еще вызывает сомнения. (Чем выше степень многочлена, тем менее гладкой будет подогнанная кривая.) Если к одной половине данных подогнать многочлены разной степени, то перекрестной проверкой можно выбрать степень многочлена, лучше всего согласующегося со второй половиной данных. С. Гейсер из Университета штата Миннесота, М. Стоун из Лондонского университета и Г. Вазба из Университета штата Висконсин были пионерами в этом направлении.

Вместо разбиения данных пополам случайным образом была разработана более упорядоченная система разбиений. Выбирается такая система разбиений, что в некоторых простых ситуациях, допускающих полный статистический анализ, получились оптимальные результаты. В методе сбалансированного повторения экспериментов, разработанном Ф. Маккарти из Корнелльского университета, дается такое систематическое разбиение данных, при котором оцениваются изменчивость наблюдений и полный набор статистических характеристик. Родственный метод случайных подвыборок, разработанный Дж. Хартиганом из Иельского университета, предназначен для установления в некоторых ситуациях надежных доверительных интервалов.

МЕЖДУ описанными методами существует тесная теоретическая взаимосвязь. Все они, а также ряд других получены из бутстрэпа и объединены одной идеей. Следовательно, мы вправе спросить, как часто бутстрэп будет давать верный результат для определенного класса задач и насколько широк круг задач, к которым его можно

применить. На первый вопрос ответить просто. Бутстрэп был испытан на большом количестве задач типа задачи о юридических факультетах, правильный ответ для которых известен. Оценка получилась хорошей, и можно доказать математически, что для аналогичных задач метод также будет пригоден.

Ответ на второй вопрос можно дать лишь на основании уже имеющихся результатов решения множества сложных задач с помощью бутстрэпа. Однако необходимо убедиться, что в этих задачах достоверность оценки, полученной по методу бутстрэпа, столь же высока, как и в более простых задачах. В последних теоретических работах предпринимаются попытки найти такое обоснование и более строго определить точность, обеспечиваемую методом бутстрэпа. Фишер сумел дать нам статистическую теорию, которая использовала все преимущества, предоставляемые вычислительными средствами 20-х гг. Теперь перед нами стоит задача — осуществить нечто подобное для 80-х гг.

Издательство
МИР
предлагает:

К. Ициксон,
Ж. Б. Зюбер
КВАНТОВАЯ
ТЕОРИЯ ПОЛЯ

В двух томах

Перевод с английского

В монографии, написанной французскими физиками-теоретиками, рассмотрены квантование, взаимодействие с внешними полями, уравнение Дирака, изложены вопросы функциональных методов, симметрии, калибровочных полей и пр. В книге отражены последние достижения квантовой теории поля.

Для физиков-теоретиков, аспирантов и студентов.

1983, 49л. Цена 5 р. 50 к.
за комплект.



Социальное значение средневековых укреплений мотт и бейли

Мотт — это насыпной холм с фортификационными сооружениями, бейли — примыкающая к нему огороженная территория. Во второй половине X в. эти укрепления сыграли в Европе значительную роль в ослаблении королевской власти и способствовали распространению рыцарства

МИШЕЛЬ БУР

ПЕРВЫМ фортификационным сооружением, построенным по приказу Вильгельма Завоевателя сразу же после высадки его войск в Англии, был мотт — укрепление, прежде неизвестное на Британских островах. Поначалу мотт представлял собой окруженный рвом земляной холм. На его вершине сооружалась деревянная башня, фундаментом которой служили вкопанные в землю мощные бревна. Именно такие укрепления использовались норманнами в качестве опорных пунктов в Гастингсе. На территории Англии они возвели множество мотт, укрепив с их помощью свое господство на завоеванных землях.

Опыт строительства мотт норманны приобрели еще во Франции, где простейшие фортификации такого типа позволяли феодалам противостоять абсолютной власти наследников Карла Великого и учреждать собственные домены. Можно без преувеличения сказать, что появление нового оборонительного сооружения в Европе имело огромное значение. В плане политическом оно сыграло важную роль в децентрализации королевской власти. Еще более важным было, несомненно, социальное значение укрепления типа мотт: оно стало своего рода школой, где сеньоры и их ратники обучались рыцарским навыкам.

До недавнего прошлого сведения о французских мотт были крайне скудными. Археологов-медиевистов интересовали главным образом крупные средневековые сооружения, т.е. анализ и описание технических приемов строительства в камне. Изучением же других аспектов средневековой жизни занимались историки, географы и др. Однако несколько лет назад университеты и ряд других научных учреждений обратились к исследованию остатков средневековых поселений, и в их трудах начинают пересматриваться давно сло-

жившиеся в исторической науке представления.

Значительного прогресса ученые добились в исследовании укрепленных поселений. С конца X по XII в. включительно мотт был самым распространенным видом феодальных фортификаций. Благодаря работам археологов за пределами Франции, главным образом в Великобритании, где подробности нормандского завоевания до сих пор вызывают большой интерес, удалось многое узнать и о французских оборонительных земляных сооружениях.

Обычно мотт имел форму усеченного конуса или полусферы; диаметр его основания мог достигать 100 м, а высота — 20 м. В большинстве случаев к мотт примыкал бейли — участок, огороженный земляным валом, рвом и палисадом. Такая двойная линия земляных укреплений получила название «замок с мотт и бейли». Другой тип средневековой застройки — миниатюрный бейли на плоской вершине насыпного холма диаметром от 30 до 100 м с обязательным рвом и палисадом. Некоторые бейли служили только как загон для скота. Повсеместно сооружались также и малые земляные крепости, к которым примыкали загон для скота.

С 1961 г. во Франции составляется систематизированный каталог первых феодальных поселений в различных областях, начиная с Оверни. В 1968 г. в него вошла **Нормандия**, в 1972 г. — **Шампань**, а впоследствии — западные и восточные области, в том числе французская Фландрия, Дофине, Гасконь и Сентонж. Ученые поставили перед собой цель — обнаружить, описать и отметить на карте (масштабом 1 : 1000) остатки средневековых земляных сооружений. Археологические работы на местности ведутся наряду с из-

учением архивов, с тем чтобы наиболее точно определить время, когда замок был сооружен, покинут или разрушен, классифицировать каждый мотт (как «опорный пункт» или «замок») и установить общественный статус их обитателей. В конечном итоге полученные данные будут систематизированы (возможно, с применением ЭВМ), и в распоряжение ученых поступит обширный информационный материал, который позволит уточнить наши представления об указанном периоде.

Изучение лишь отдельных средневековых укреплений оказывается малоэффективным. Изыскание должно быть комплексным и постепенно охватить все районы. Только таким образом можно составить исчерпывающий каталог. А для этого требуется работа, сочетающая изучение архивов и следов средневековых поселений.

Замок с мотт и бейли стал называться во Франции *château* — это слово, как и английское *castle*, восходит к латинскому *castellum*. В замке постоянно проживал сеньор со своими ратниками. По размеру и назначению замки отличались от сооружений, предназначенных для укрытия от врагов. Такое разграничение очень важно, ибо в конце X столетия мотт как таковой представлял собой самое выдающееся достижение в фортификационном строительстве.

Первые мотт были построены в низменном заболоченном междуречье Луары и Рейна, а затем на отлогих холмах той же местности. Позже их стали сооружать по всей Европе — от Атлантики до Вислы и от Скандинавского полуострова до Средиземноморья. Деревянная башня мотт зачастую служила только сторожевой вышкой, но иногда в ней располагались и жилые помещения. В последнем случае она имела большие размеры. Земляные мотт были родственны донжонам — каменным

башням замков. Замки с каменными башнями появились на берегах Луары и в Нормандии почти одновременно с мотт. Следует отметить, что в Западной Европе, как тогда, так и в более поздний период, насчитывалось гораздо больше земляных, нежели каменных замков.

Время быстрого распространения мотт в Европе было богато событиями. В конце X в. в странах Западной Европы (прежде всего во Франции, Италии, а вслед за ними и в Германии) происходили глубокие политические и социальные изменения. Империя Каролингов была разрушена. В отличие от централизованной государственной власти Каролингов королевства фактически делились на множество почти независимых феодальных владений.

Местный люд искал себе знатных покровителей, а знать захватывала в свои руки власть, которую ранее осуществляла от имени короля. Это была революция землевладельческой аристократии — той самой социальной группы, из чьих рядов монарх по традиции комплектовал свое войско и административный аппарат. Во Франции землевладельческая аристократия, низложив в 987 г. потомков Карла Великого, вручила корону представителю своего сословия — Гуго Капету. Вслед за этим потребовалось всего несколько лет, чтобы в угоду землевладельческой аристократии были задушены идеалы мира и всеобщего благоденствия, провозглашавшиеся при Каролингах.

Эти изменения происходили в обстановке яростной междоусобицы. Вы-

сшая знать отказывалась подчиняться королю, борьба между самими феодалами, не только крупными, но и средними и мелкими, обострилась до крайности. X в. был периодом жестокого соперничества из-за земли и власти. Для сохранения власти феодалу необходимы были большие средства: на содержание войска, на вознаграждение преданности своих вассалов и т.д. Но даже самый отважный и решительный из сеньоров всегда рисковал потерпеть поражение, пусть даже временное, или погибнуть в схватке. Следовательно, феодал не мог прочно обосноваться на завоеванных территориях, не имея укрепления типа мотт, которое позволило бы ему одолеть противников и защитить свои владения от их дальнейших посягательств.



КРУПНЫЙ МОТТ В АРДЕННАХ (расположен слева от церкви); находится в деревне Корнэ, близ Вузье. Возведен семь веков назад. Имеет высоту 18 м, диаметр основания — 60 м,

вершины — 35 м. На вершине, площадь которой почти 110 м², теперь находится кладбище.

ПОЯВЛЕНИЕ мотт имело огромное политическое и социальное значение. Используя труд крестьян, можно было сравнительно быстро выполнять земляные работы, связанные с сооружением укрепления. Преимущество мотт состояло в том, что его практически невозможно было разрушить, если не считать деревянной надстройки.

В XI в. во многих провинциях Франции, включая Нормандию и Шампань, появляется множество мотт. Это было связано с обострением борьбы местной знати с провинциальной властью, которая сама по себе являлась продуктом распада централизованной власти. Без таких укреплений восставшие против местных правителей не смогли бы ни

удержать своих позиций в самом начале, ни упрочить их впоследствии.

Тактику соорудивших мотт можно сравнить с тактикой играющих в шахматы — максимально продвинуть свои фигуры и в то же время не дать противнику захватить их. Возводя мотт, феодал вместе со своим гарнизоном готовился к осаде, которую его соперник мог начать в любой момент, стремясь отвоевать утраченные территории. В большинстве случаев осада кончалась неудачей: мотт, к тому времени уже именовавшийся замком, был неприступен. Противник мог попасть в замок только в том случае, если ворота открывал изменник или сам сеньор попал в плен.

Хроники тех лет свидетельствуют,

что феодалы не могли полностью полагаться на своих приближенных и жили в постоянном страхе перед изменой. Всеми силами они стремились избежать плена, и, когда дело доходило до открытых баталий, сеньор, видя, что его войско терпит поражение, первым покидал поле битвы. Если же сеньор попадал в плен, то от него силой требовали, чтобы он заставил тех, кто остался в замке, включая его семью, открыть ворота. Если они отказывались сделать это, пленника вешали у входа в замок. Иногда неприятелю удавалось взять в заложники детей сеньора. Требуя сдачи крепости, он угрожал повесить их или ослепить. Менее драматичным, но достаточно действенным было давление, оказанное графом



МОТТ В ГАСТИНГСЕ, где произошла битва Вильгельма Завоевателя с Гарольдом. Сваи башни уже возведены, два чело-

века с кирками и трое с лопатами укрепляют их землей. [Фрагмент рисунка гобелена из Байё.]

Анжуйским на его пленника графа де Блуа в 1044 г. После трех дней заточения тот согласился в обмен на свою свободу сдать город Тур с окрестностями.

Существуют две гипотезы, объясняющие факт быстрого распространения укреплений типа мотт. Первая утверждает, что большинство замков было построено лицами, облеченными официальной властью. Согласно второй гипотезе, приверженцы которой ссылаются на фразу *château adultérin* («замок, построенный незаконно»), встречающуюся в нормандских летописях, мотт чаще всего сооружались без специального на то разрешения. Но в сущности не так уж важно, кто создавал замки — власти ли предержавшие или землевладельцы, главное — цель, к которой стремилась та или иная сторона.

Социальные отношения в среде военной аристократии основывались на вассалитете. Договор о вассалитете сопровождался клятвой верности вассала сеньору. За проявленную преданность вассал получал в качестве вознаграждения землю — лен. Этот принцип стал критерием нового типа законности: вассал признавался законным владельцем замка, если земельные владения были пожалованы ему сюзереном или сеньором. В этой политике взаимной выгоды, которая, естественно, поставила владельцев уже существующих замков в отношения оппозиции с теми, кто стремился построить новые, начало складываться определенное равновесие, не имевшее ничего общего с политической прямой конфронтации, с ее насильственными и часто бесплодными методами. Новые правовые отношения определялись феодальной иерархической структурой. По мнению наиболее опытных в политике представителей аристократии, для укрепления правопорядка требовалось не разрушать *château adultérins*, а обращать их владельцев в зависимых вассалов. Таким образом, «замки, построенные незаконно», постепенно были превращены в «феодальные замки», и их существование более не вызывало возражений.

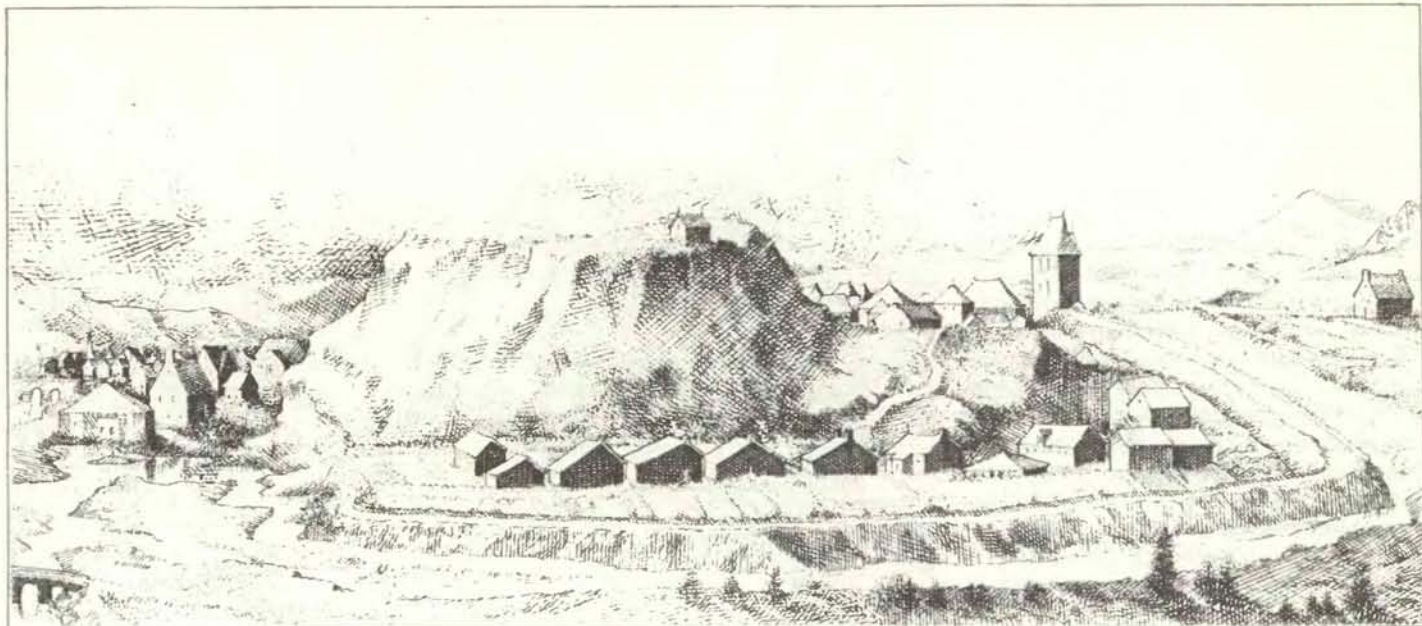
ПЕРВЫЕ замки во Франции сооружались вне связи с имевшимися населенными пунктами. Громада замка, огороженного палисадом, возводилась без учета интересов местных жителей. Охраняя домен от нападения соседей, отряд сеньора кочевал по всей округе; общение феодала с деревней сводилось к взиманию сборов и набору рабочей силы. Главное — изолировать замок от окружающего мира, а уж потом принимать в расчет прочие стратегические факторы. Место для строительства выбиралось так, чтобы было удобно наблюдать за движением по главной



НАПАДЕНИЕ НА МОТТ в Доле (Бретань). Слева легкий мост через крепостной ров. В центре мы видим герцога Бретонского Конана, который спасается бегством, спускаясь по веревке на противоположную сторону рва. Ему удалось укрыться в другом мотт, в Динане. [Другой фрагмент рисунка гобелена.]



МОТТ В ДИНАНЕ капитулирует. Гарнизон еще продолжает сопротивляться, но герцог Конан уже протягивает копье с надетыми на него ключами, передавая их Вильгельму в знак своего поражения. [Третий фрагмент рисунка гобелена.]



БУРГ ДАМПЬЕР-ЛЕ-ШАТО в департаменте Марна (гравюра XV в.) вырос рядом с замком в период между XII и XV вв. На вершине мотт сохранилось только одно строение. Бейли обнесен крепостным валом и окружен рвом. Некоторые из

надворных строений [расположены рядом со сторожевой башней (справа)] возведены на насыпи. Слева за валом и рвом видны дома и церковь бурга.



ПЛАН МОТТ И БЕЙЛИ, изображенных на верхнем рисунке. Размеры мотт: 120 м × 60 м в основании и 75 м × 35 м в вер-

шине, высота насыпи 15 м. Соотнести размеры мотт и бейли позволяет сечение вдоль линии А — В (слева вверху).

дороге. Часто замок строили в центре частного домена, на земле, отрезанной незаконно у церкви или даже у городской общины, а иногда и в непосредственной близости к крепостным стенам укрепленного города. Помимо этих соображений долгосрочного порядка сеньор при выборе места заботился о том, чтобы его гарнизон мог выдерживать осаду и быстро переходить в наступление.

Неудивительно, что многие из первых замков, сооруженных в неудачных местах, были позже покинуты владельцами. Однако они в конце концов находили площадки, удобные не только для обороны и несения дозора, но и ведения боевых действий в случае защиты территории.

ОПИСАНИЕ жилой башни в Ардре (французская Фландрия), относящееся к XII в., дает представление о внутреннем строении замка. Башня эта имела три яруса. В нижней части помещались зерновые и винные склады. В следующем ярусе были расположены апартаменты сеньора, а рядом — комнаты поменьше для младших детей и столовой прислуги («подателей вина и хлеба»). В верхнем ярусе находился сторожевой пост, а также спальни старших детей — одна для сыновей, другая для дочерей. К жилой башне примыкало еще одно трехъярусное строение, где в нижнем ярусе хранилось мясо, в следующем располагались кухни и комнаты поваров, а в верхнем — капелла, обращенная окнами на восток. Конечно, далеко не все первые замки были столь просторны и удобны, как Ардрский; очевидно, строители, боясь пожаров, располагали кухни подальше от жилой башни.

В Ардре господин, его семья, столовая прислуга и прочие служители обитали в жилой башне. Повара жили в примыкающем к башне строении и, видимо, там же была комната капеллана и помещение для стражи. Остальные обитатели замка: управляющие, охрана, кузнецы, оружейники, конюхи и др. жили в постройках в пределах бейли, огороженного палисадом. Конюшни, амбары, печи, мастерские и прочие надворные постройки были также собственностью господина и находились под его защитой.

Малочисленное население замков почти не общалось с жителями окрестных деревень. Однако такая отчужденность обычно была недолгой. Начиная примерно с 1050 г. вблизи замков стали возникать поселения. Причины этого коренятся, по-видимому, в росте населения и вытекающей отсюда социальной нестабильности. Европа эпохи Каролингов была сплошь покрыта глухими лесами, а в XI — XII вв. леса стали вырубаться под пашни. К этим расчищенным участкам были прикованы ин-

тересы самых разных социальных групп. Одна представляла собой свободное крестьянство, стремившееся обосноваться на новых землях. Вторую составляли так называемые «предприниматели» — отпрыски представителей знатных родов, жаждущие учредить собственный домен. Общность целей обусловила появление нового типа застроек, где господский замок и подвластная ему деревня находились внутри единого оборонительного укрепления с земляным валом. Примеры тому встречаются в Южной Аквитании и Шампани.

Затем начиная приблизительно с 1070 г. повсюду, особенно в Западной Франции, начали вырастать небольшие города. Как правило, в непосредственной близости от замка закладывалась церковь и рыночная площадь. Люди, привлеченные этими удобствами, стремились обосноваться в тех местах, и вскоре владелец замка становился властителем и прилегающего бурга, превратившегося в экономический и административный центр довольно обширного района.

Бурги были разновидностью других поселений как в провинции, так и близ городов, которые также переживали период бурного роста. И города, и бурги процветали благодаря одной и той же социальной динамике и часто пользовались одними и теми же юридическими привилегиями. И тем не менее деревни без замков встречались в то время чаще. Из этого следует, что попытки сеньора привлечь в сферу своего влияния массы свободного крестьянства и извлекать таким образом экономические выгоды от разрастания новой деревни отнюдь не всегда приводили к тому, что поселяне спешили обосноваться рядом с замком.

Присутствие сеньора и его ближайшего окружения играло важнейшую роль в процветании нового поселения, однако, для того чтобы пустить прочные корни, бург нуждался и в других благоприятствующих факторах. Одним из них было плодородие местных почв. Близость к главной дороге также имела большое значение. Нельзя забывать и о неблагоприятных факторах: многие бурги приходили в упадок, когда замок разрушали стихия или злой умысел.

Однако все это относится уже к периоду феодальной консолидации (середина XI — XII вв.), а далеко не к раннему феодализму, этапу, когда привычные способы обороны населенных пунктов были крайне ненадежны и впервые начало применяться новое средство защиты территории — мотт. Вернемся к этому раннему этапу, чтобы установить роль, которую играл мотт в формировании новых отношений.

Отметим прежде всего разительные противоречия того времени: с одной

стороны, произвол имущих, с другой — угнетенное положение крестьян; с одной стороны, войны, с другой — проповедь духовенства о мире. Сеньор жил в изоляции и страхе; чтобы отстоять свои владения, воспитать детей приспособленными к суровой и опасной действительности, ему необходимо было оградить себя земляным валом и обосноваться в башне. Что могло служить опорой хозяину замка в этих трудных условиях? Только родственные связи или, что считалось более надежным, вассальная верность. Но все равно сеньору приходилось постоянно быть настороже. Не только дома, но и в сражении он все время опасался измены. Даже такое дело, как выбор жены, было связано с торгом и сватовством.

Но мало-помалу повсеместное насилие и нестабильность раннего феодализма породили свои же противоядия. Боязнь предательства в конечном итоге привела к возвеличиванию вассальной верности. Военное искусство, которому обучали с малолетства, не свернуло на окольный путь искусства устраивать засады. Напротив, оно прославляло доблесть и честь, так что победитель, оказавшись лицом к лицу со своим отважным, но менее удачливым соперником — фактически, таким же как и он — строго соблюдал правила честной игры. По тем же понятиям чести отношение воина к дамам выражалось в преклонении перед ними.

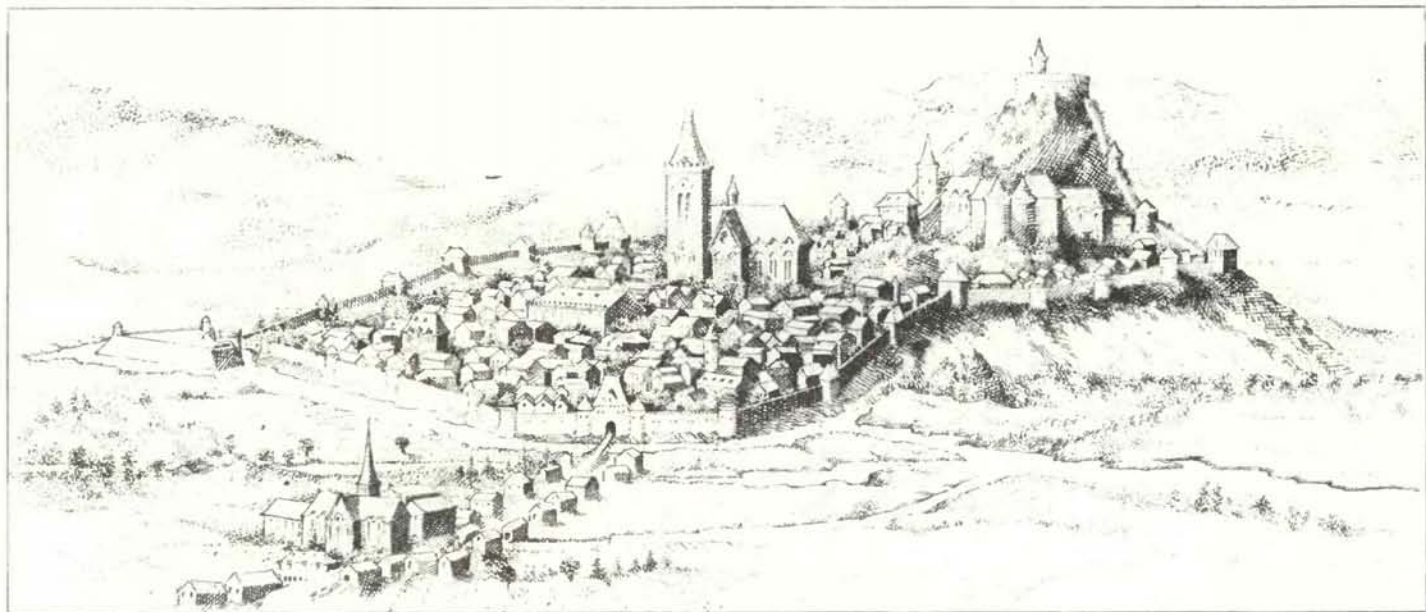
ГАЛАНТНОСТЬ и обходительность проявлялись не только в отношении мужчины к женщине. Этими принципами руководствовались во всем своем поведении воины из свиты сеньора. Жизнь в замке ставила их перед выбором: либо поддерживать отношения товарищества, либо постоянно враждовать друг с другом. Таким образом, приходилось терпимо относиться к окружающим и для этого придерживаться определенных правил поведения или по крайней мере не допускать проявлений насилия. Утвердившиеся в огороженном палисадами мире моральные нормы позже, на втором этапе развития феодального общества, в конце XI в., вдохновили трубадуров. В их гимнах воспевались рыцарство и любовь, а по сути в них прославлялось двойное достижение общества — стабилизация и колонизация. Многие знаменитые рыцари были поначалу простыми воинами в свите феодала, но за проявленную в сражениях доблесть получили высокий ранг. В то же время воин не мог добиться почестей, если он не вел себя как настоящий рыцарь.

Итак, можно сделать вывод, что мотт в X — XI вв. имел историческое значение — обстоятельство, которое

до сих пор игнорировалось. Мотт необходимо рассматривать прежде всего с точки зрения его технической эффективности. Сопоставимую роль играли в сельском хозяйстве средневековья водяная мельница и использование тягловой силы скота. Правление Людовика

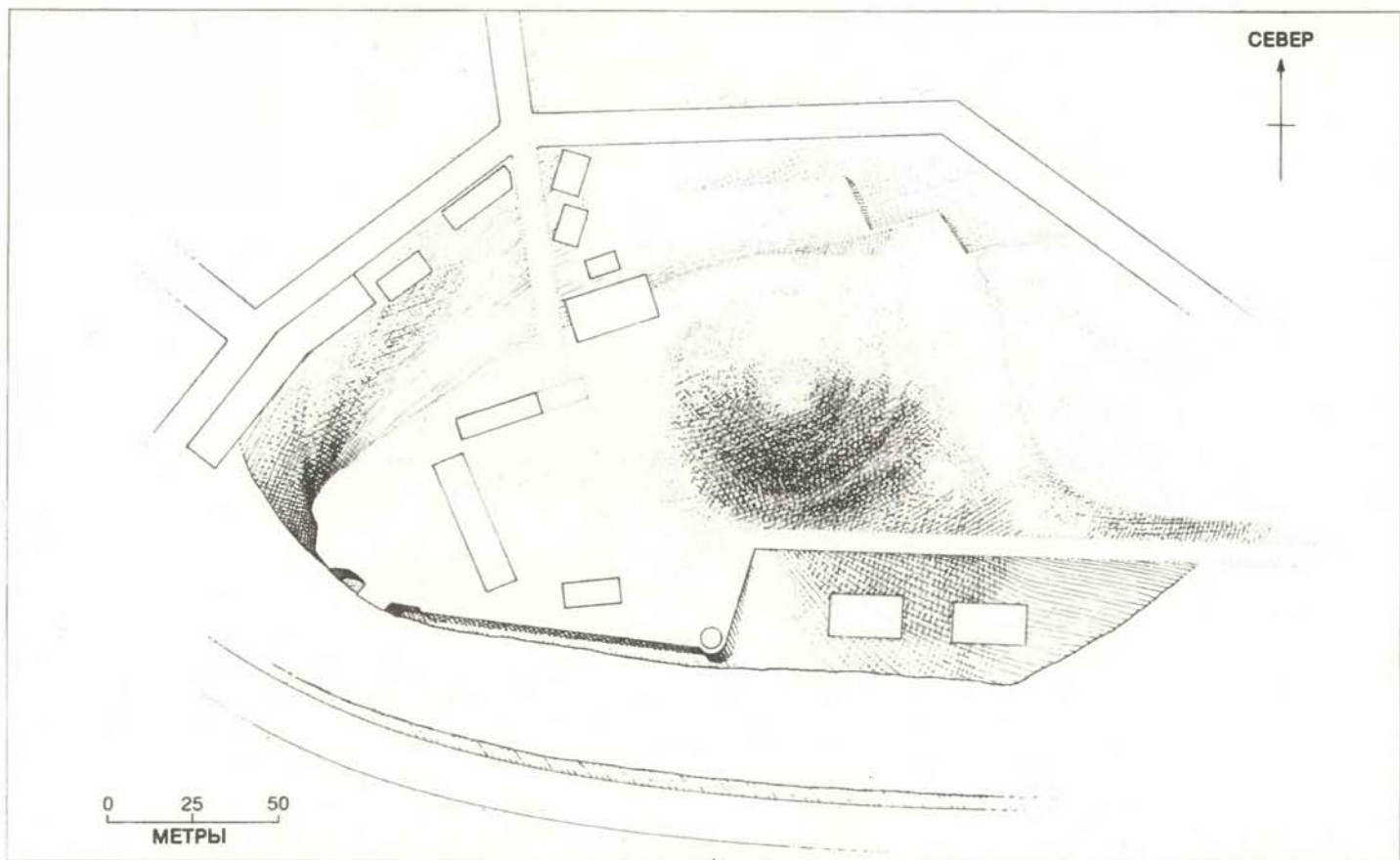
XIV, длившееся во Франции на протяжении более половины XVII в. и захватившее XVIII в., всегда считалось вершиной абсолютизма. И тем не менее Король-солнце при всем его могуществе пользовался меньшей властью, чем любой министр нынешней Французс-

кой республики. Приказы Людовика XIV достигали самых отдаленных уголков королевства крайне медленно, и местные чиновники имели возможность по-своему трактовать высочайшую волю. Ныне дело обстоит иначе. Министру внутренних дел, чтобы абы-



БУРГ РЕТЕЛЬ В АРДЕННАХ (гравюра XV в.) вырос рядом с замком. Ко времени создания гравюры бург был окружен каменной стеной с башнями. В центре возвышается собор мо-

настыря Нотр-Дам. Как и в Дампьер-ле-Шато, крепость постепенно превратилась в город.



ПЛАН МОТТ, изображенного на верхнем рисунке, показывает, какие преимущества извлекались из неровностей рельефа. Мотт расположен на скалистом отроге, простирающимся к востоку, с почти вертикальным обрывом на южной сто-

роне и более покатыми склонами на восточной и северной. Диаметр мотт в основании 70 м, в вершине 10 м, высота от основания до вершины 15 м. Предполагается, что возведен в 1026 г.

нирывать, например, конференц-зал, достаточно снять телефонную трубку, и около 100 префектов на другом конце провода будут готовы немедленно выполнить его распоряжения. Более того, если министр пожелает оговорить все подробности, будет исключен всякий повод к недопониманию.

Укрепления типа мотт были значительным техническим достижением в свое время. Появление мотт привело к ослаблению централизованной власти. В сущности каждый замок стал небольшим государством. Королю, неспособному удержать свою власть, пришлось довольствоваться статусом феодального сюзерена и впредь рассчитывать не на повиновение подданных, а на преданность своих вассалов. Вывод напрашивается сам собой: какой бы неограниченной властью ни пользовались правители и как бы решительно ни были настроены непокорные подданные, положение той или иной стороны определялось имевшимися у них средствами защиты.

ДРУГОЙ вывод состоит в том, что мотт оказал влияние на сельское население. Многие хозяйства попали в зависимость к феодалу, которому крестьяне теперь были обязаны платить налог. Однако в среде самих господ произошли, пожалуй, еще более глубокие социальные изменения. Привычные к жизни в усадьбах в сельской местности, населенной свободными крестьянами, сеньоры всего за несколько десятилетий перебрались в замки, вооружившись до зубов сначала для того, чтобы захватить власть, затем — чтобы удержать ее. Для таких существенных сдвигов понадобилось всего несколько десятилетий. Завладев мотт как оружием устрашения, феодалы и их вассалы начали создавать новую систему социальных отношений — примитивную, но весьма самобытную. С одной стороны, это была лживая политика подавления, с другой стороны, в среде рыцарства провозглашались идеалы чести и отваги. Именно эти идеалы воспевали средневековые рыцарские баллады.

Так, со сменой поколений установилось некое социальное равновесие. Новые отношения закрепили сословную общность сеньоров, ослабившую чувство постоянной опасности. Замки открыли свои ворота друзьям и соседям, войны уступили место турнирам, на рыцарских щитах красовались теперь фамильные гербы. Где ранее царили хитрость и жестокость, теперь воспевались доблесть и щедрость. Так, со второй стадии развития феодализма в обстановке средневекового мотт закладывались основы наследия, которое оставила потомкам та эпоха и которое по праву заслужило название «замковая культура».

Издательство МИР предлагает:

МЕХАНИКА ОБРАЗОВАНИЯ ВОРОНОК ПРИ УДАРЕ И ВЗРЫВЕ

Перевод с английского



В книге рассматривается механизм образования воронок на поверхности грунта в результате падения метеорита или взрыва. Анализ ударного или взрывного воздействия и последующего состояния кратеров проводится с учетом влияния прочности и неоднородности грунта, силы тяжести и атмосферного давления. Выяснено сходство и различие процессов при ударе и взрыве. Широко используются результаты исследований крате-

ров на лунной поверхности. Показана эффективность применения голографии для наблюдения за поверхностными волнами в грунте. Среди авторов статей — известные специалисты США по механике ударных и взрывных процессов и космическим исследованиям.

Книга будет полезна широкому кругу специалистов, работающих в области механики взрывных процессов, космических исследований и механики грунтов.

Заказ на эту книгу вы можете направить по адресу:
121019 Москва, просп. Калинина, 26, п/я 42, магазин № 200
«Московский Дом книги»;
191040 Ленинград, Пушкинская ул., 2, магазин № 5
«Техническая книга».

Книга будет выслана наложенным платежом.

1977, 228 с.
Цена 1 р. 48 к.



Внезапная сердечная смерть: топологический аспект проблемы

*Часто причиной внезапной сердечной смерти
является фибрилляция — нарушение
координированных сокращений волокон сердечной мышцы.*

*Механизм фибрилляции, возможно,
связан с одной математической теоремой*

АРТУР Т. УИНФРИ

УТРО 7 ноября 1914 г. выдалось в Монреале солнечным и холодным. Была суббота, двор медицинской школы Макгиллского университета был почти пуст, и мало кто обратил внимание на Джорджа Ральфа Майнса, который шел в свою лабораторию, чтобы начать очередной эксперимент. Майнс, 28-летний физиолог, исследовал фибрилляцию — одно из серьезных нарушений сокращений сердца. Обычно сердце сокращается как единое целое, а при фибрилляции каждый маленький участок сердечной мышцы сокращается с большой частотой и без видимой связи с соседней тканью. Майнс пытался определить, могут ли относительно небольшие короткие электрические стимулы вызывать фибрилляцию. Для этой цели он сделал прибор, позволявший подавать на сердце электрические импульсы, амплитуду и время подачи которых можно было точно регулировать. Вначале с помощью этого прибора ставили опыты на животных. А когда Майнс решил, что настало время начать работать с человеческим сердцем, он выбрал наиболее доступный экспериментальный объект — свое собственное сердце. Примерно в шесть часов вечера привратник, обратив внимание на необычную тишину в лаборатории, вошел в комнату. Майнс лежал на полу, опутанный электрическими проводами. Какой-то разбитый механизм был прикреплен к его груди около сердца, и регистрирующее устройство все еще записывало замирающие сердечные сокращения. Майнс умер, не придя в сознание.

Смерть Джорджа Майнса могла бы остаться частной трагедией, не слишком интересной для науки, если бы она не была связана с темой его последней работы. Фибрилляция — одна из основных причин так называемой внезапной клинической смерти, которая в США каждый год уносит несколько сотен тысяч жизней, и притом наименее понятная причина. Фибрилляция мо-

жет возникать почти без всяких предшествующих симптомов у практически здоровых людей. Очень часто при посмертном вскрытии патологоанатомы не находят в сердце умершего никаких видимых причин для нарушения нормальных сокращений. Работа Майнса отчасти прояснила проблему. Он показал, что фибрилляцию можно вызвать относительно небольшим электрическим импульсом, если этот импульс приложен к сердцу в определенную фазу сердечного цикла. Хотя с 1914 г. внезапную сердечную смерть и фибрилляцию исследовали довольно интенсивно, до сих пор окончательно не выяснено, как небольшой электрический импульс может столь драматически сказаться на деятельности сердца.

Как ни странно, на помощь пришла одна из областей математики — топология. Подобно некоторым другим физиологическим системам, сердечная ткань способна к ритмическим электрическим разрядам. Если на нее подать электрический импульс извне, то чаще всего наблюдается сдвиг вперед или назад во времени всех последующих импульсов без изменения интервала между ними. С помощью топологической теоремы можно показать, что должен существовать относительно небольшой электрический стимул, такой, что если он приложен в определенную фазу цикла, то с ним нельзя связать никакого однозначно определяемого сдвига. Экспериментальные данные указывают, что после такого стимула, называемого сингулярным, сокращения могут совсем прекратиться.

Остановка сокращений в малой области сердечной мышцы не является фибрилляцией. Однако можно показать с помощью топологических аргументов, что вокруг участка ткани, где сокращения прекратились, создаются благоприятные условия для циркуляции волны электрических импульсов. Такая волна может циркулировать по сердцу, взяв на себя функцию водителя ритма. Распространяясь по ткани, цир-

кулирующая волна может породить много более мелких волн, из-за чего каждый маленький участок сердечной мышцы сокращается с большой частотой и некоординированно с остальными. Теперь считается, что именно это и происходит при фибрилляции.

Доводы, которые я приведу в пользу того, что сингулярный стимул может вызвать фибрилляцию, еще не доказаны. По сути своей они математические, и чтобы их подтвердить, нужно серьезное экспериментальное исследование физиологии явления. Даже если принять, что эти доводы верны, не очень ясно, какое возможно практическое применение. Тем не менее топологический подход позволяет по-новому взглянуть на проблему внезапной сердечной смерти.

ПРЕЖДЕ чем применить топологию к анализу сердечных сокращений, мы должны кратко рассмотреть структуру и функционирование сердца млекопитающих в норме. Сердце — сложный орган, и я не буду описывать его здесь подробно, а остановлюсь на тех свойствах сердца, которые важны для топологического анализа. Сердце состоит из четырех камер: левое и правое предсердия расположены в верхушке сердца — это предварительные насосные камеры; большие по размерам желудочки расположены под ними — это основные насосные камеры. Хотя в норме сердце сокращается более или менее как единое целое, надо отметить, что сокращения начинаются в предсердиях, а затем распространяются на желудочки.

Координация сокращений всех четырех камер сердца обеспечивается тем, что по сердечной ткани распространяется волна электрических импульсов, которые быстро передаются от клетки к клетке. Сердце построено из нескольких типов специализированных мышечных клеток, имеющих форму длинных волокон. Когда волокно находится в состоянии покоя, электрический

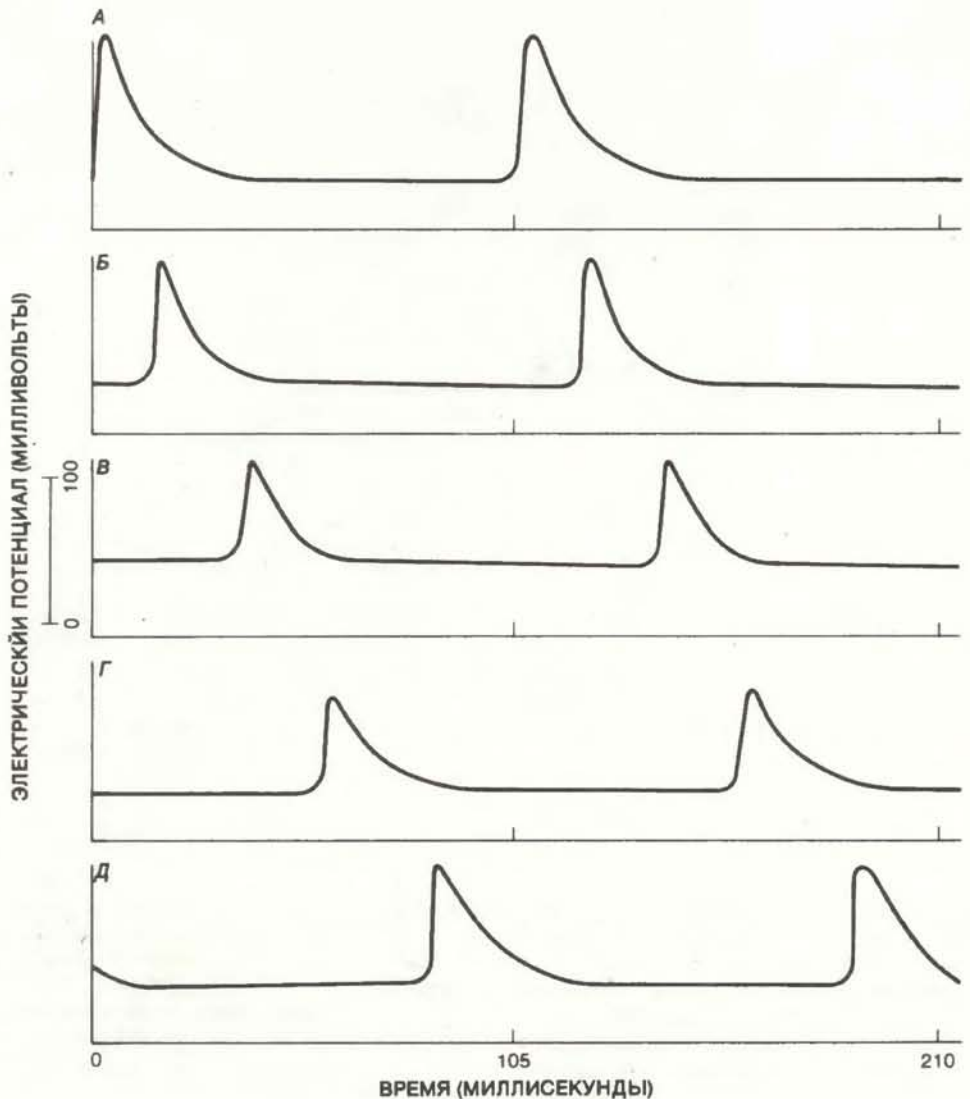
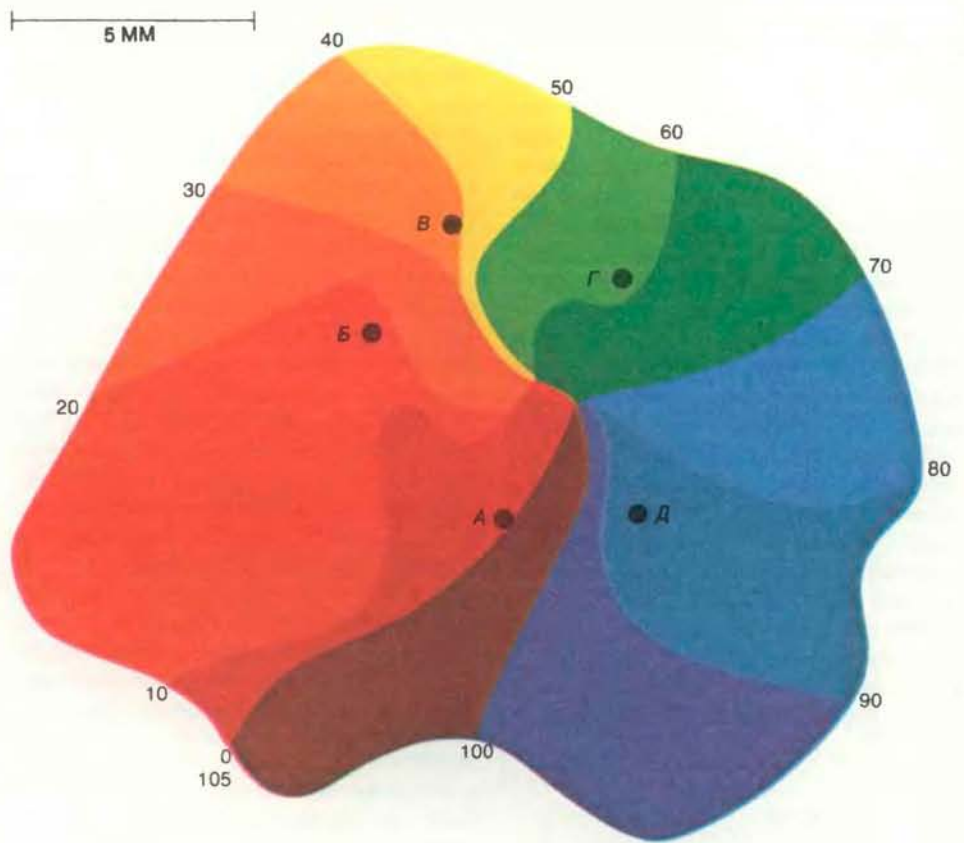
потенциал с внутренней стороны клеточной мембраны несколько ниже (т.е. более отрицательный), чем снаружи. Стимулом, вызывающим сокращение каждого отдельного волокна, служит быстрое увеличение потенциала с внутренней стороны мембраны, в результате чего внутреннее содержимое клетки на краткое время заряжается положительно по отношению к окружающей ткани.

Электрический потенциал изменяется вследствие движения ионов через клеточную мембрану. Быстрое увеличение потенциала называется деполяризацией; она может распространяться по мышечному волокну в качестве «потенциала действия», очень похожего на нервные импульсы. Когда пройдет потенциал действия, наступает рефрактерный период длительностью в несколько десятых долей секунды, в течение которого нормальная стимуляция не может вызвать следующий потенциал действия в волокне.

Волокна в сердце упакованы довольно плотно. Кроме того, в клеточной мембране есть особые области с низким электрическим сопротивлением. Благодаря им электрический импульс передается от одной клетки к другой. Следовательно, импульс, возникший в одной части сердца, может быстро распространиться по всему органу. Более того, определенные участки в сердце — так называемые пейсмекеры — способны спонтанно генерировать импульсы через правильные интервалы времени. Пейсмекер с самой высокой собственной частотой навязывает свой ритм всему сердцу.

Самой быстрой спонтанной импульсацией в здоровом сердце обладает небольшая масса ткани возле верхушки предсердия, известная под названием «синусовый узел». Синусовый узел не-

ВРАЩАЮЩАЯСЯ ВОЛНА электрических импульсов может циркулировать в сердце неопределенно долго. Она и лежит в основе фибрилляции. Малые области ткани в фибриллирующем сердце сокращаются независимо друг от друга, несогласованно. Если фибрилляция продолжается больше пяти минут, наступает смерть. Сигналом для сокращения клетки является электрохимический импульс. При некоторых условиях импульс может распространяться по круговому пути. На верхнем рисунке изображен путь вращающейся волны, наблюдавшейся в эксперименте на сердце кролика (работа М. Эллесси и его коллег). Каждую область, раскрашенную одним цветом, фронт волны проходит за 10 мс; на полный оборот требуется 105 мс. Кривые на нижнем рисунке — запись электрического потенциала в пяти отмеченных на ткани точках. Пик на кривой соответствует фронту вращающейся волны.



посредственно вызывает сокращение предсердий. Его импульсы также распространяются на атриовентрикулярный узел — второй пейсмейкер, лежащий между правым предсердием и правым желудочком. От атриовентрикулярного узла импульсы передаются на мышечную стенку желудочков по волокнам Пуркинью. Волокна Пуркинью способны очень быстро проводить электрические импульсы. Они проходят через желудочки и ветвятся наподобие корней дерева. Когда импульсы доходят по волокнам Пуркинью до мышцы желудочка, волна сокращения распространяется по желудочкам за несколько миллисекунд. Сердце человека в покое сокращается примерно раз в секунду. Однако на собственный ритм импульсации синусового узла, определяющий частоту сокращений сердца, влияют импульсы, приходящие по нервам из мозга, нервных ганглиев и внутренних органов. Все сердце пронизано нервами, их окончаний особен-

но много в области пейсмейкера. Например, вагусный нерв может оказывать большое влияние на частоту сокращения отдельных участков сердечной ткани и на координацию сокращений всего сердца.

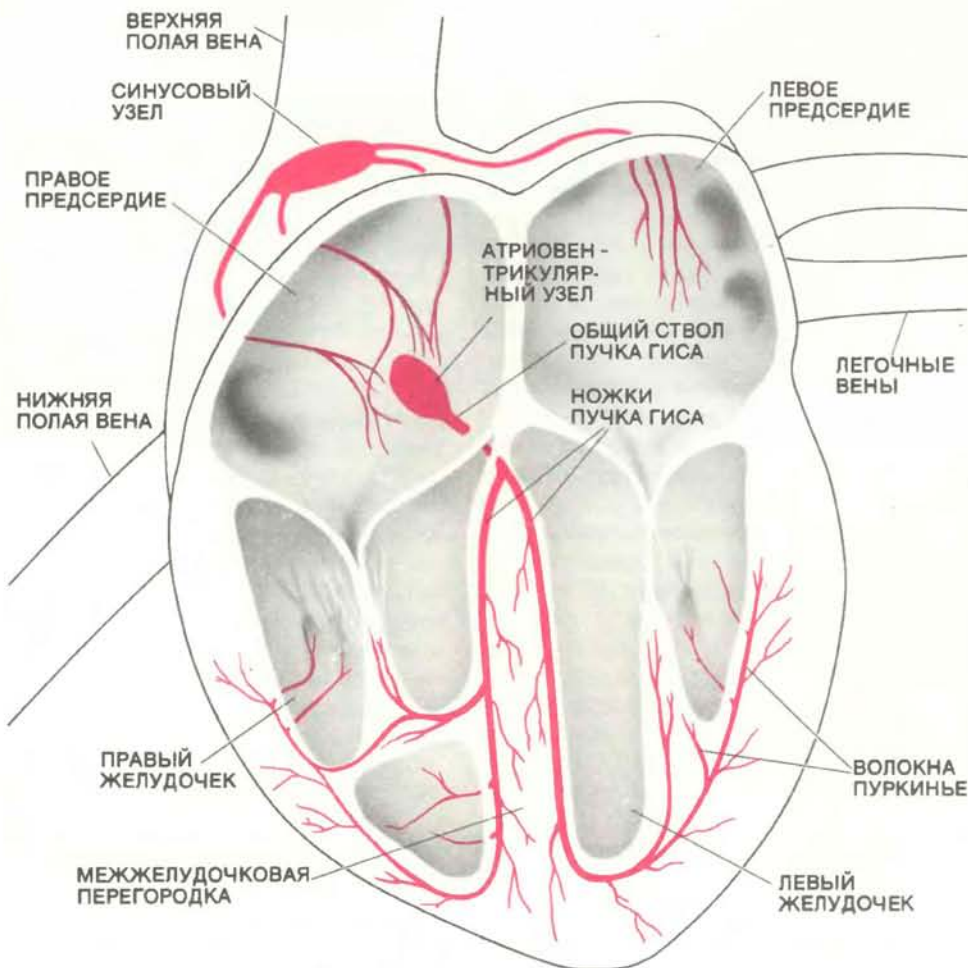
УСКОРЕНИЯ или замедления сердечных сокращений обычно хорошо синхронизированы. Синхронизация, однако, может нарушиться, например при инфаркте, когда к части сердца перестает поступать кровь, или же под влиянием необычайно высоких концентраций гормонов либо ионов. Но даже и без физического повреждения или химического стресса синхронизацию можно нарушить, если подвергнуть сердце воздействию достаточно сильных электрических стимулов, как это бывает при поражении электрическим током. Тот же самый результат вызывает и небольшой импульс, если его подать в определенную фазу сердечного цикла. Мы увидим ниже, ка-

ким образом такие небольшие стимулы могут привести к внезапной сердечной смерти.

Термин «внезапная сердечная смерть» был предложен в 1887 г. Дж. Мак-Вильямом из Абердинского университета, хотя сам феномен был известен задолго до этого. Мак-Вильям заметил, что в некоторых случаях внезапной сердечной смерти сердце не просто останавливается, но перед этим некоторое время бурно и беспорядочно подергивается. В XIX в. это явление называли *delirium cordis*, или «сумасшествие сердца». Современный термин «фибрилляция» был введен в 1870 г. У. Тэккер и Л. Гедде из Университета Пардю описывают это явление так: «Когда держишь в руках фибриллирующее сердце, создается впечатление, что это — клубок копошащихся червей. Порой частота хаотических сокращений так велика, что поверхность сердца словно дрожит. Иногда ясно видны множественные волны сокращений и релаксаций». Если фибрилляция продолжается дольше пяти минут, смерть практически неизбежна. Сделав несколько конвульсивных вдохов, человек перестает дышать совсем, и кожа его становится синей из-за недостатка кислорода в крови. Остановку дыхания иногда сопровождают судороги и стоны.

Между физиологами нет согласия относительно механизма фибрилляции. Изучение мембран одиночных клеток дало много информации о том, как в физиологических системах возникают и передаются электрические импульсы. Особенно ценные данные были получены при исследовании клеток нервной системы. Работа с одиночными клетками, однако, оказалась недостаточной для понимания фибрилляции. Дело в том, что фибрилляция — это нарушение упорядоченности сердечных сокращений, а не функций отдельных волокон, нарушение синхронизации и координированности активности сердечных волокон, их связи друг с другом. В фибриллирующем сердце каждое волокно может отвечать на стимул и нормально, но распространение электрических импульсов нарушено, из-за чего и теряется синхронизация.

ЧТО МОЖЕТ заставить тысячи волокон человеческого сердца внезапно утратить четкую координацию активности, которая поддерживалась в течение всей жизни организма? М. Элесси из Медикобиологического центра в Маастрихте (Нидерланды) обратил мое внимание на то, что Майнс в своей статье, отправленной им в медицинский журнал незадолго до смерти, в качестве причины фибрилляции рассматривал электрическую волну, циркулирующую в сердечной мышце.



ЧЕЛОВЕЧЕСКОЕ СЕРДЦЕ — это четырехкамерный насос. Предсердия — предварительные насосные камеры, желудочки — основные. Сердечные сокращения синхронизированы электрическими импульсами, которые периодически генерирует синусовый узел, являющийся водителем ритма для всего сердца. Его импульсы непосредственно инициируют сокращение предсердий. Каждый импульс передается на атриовентрикулярный узел и с него на мышечные стенки желудочков по специализированным проводящим волокнам (в том числе по волокнам Пуркинью). Обычно сердце сокращается почти как единое целое.

В своих экспериментах Майнс подавал электрические импульсы на сердце, меняя время подачи стимула так, чтобы перекрыть весь интервал между сокращениями. Большинство стимулов не приводило ни к каким сколько-нибудь длительным эффектам, и ни один не вызвал четкой циркуляции волны в сердечной ткани. Майнс отметил, однако, что «при некоторых условиях очень короткий стимул может вызвать фибрилляцию... если его правильно сфазировать... Приложенный стимул не вызывает фибрилляцию до тех пор, пока он правильно не сфазирован». То, что между сокращениями сердца существует краткий интервал, когда слабый стимул может вызвать фибрилляцию, было заново открыто много лет спустя после смерти Майнса. Теперь этот интервал называют периодом уязвимости, или фазой уязвимости.

Мой интерес к фазе уязвимости возник, пожалуй, когда я оказался беспомощным свидетелем двух случаев внезапной сердечной смерти. В то время я работал над изучением биологических механизмов циркадных ритмов — внутренних 24-часовых циклов активности, которые свойственны многим организмам. Определенные топологические свойства систем с циркадным ритмом привели меня к предположению, что одиночный короткий стимул, если он правильно сфазирован, может заставить организм потерять его обычный ритм. Я обнаружил такие стимулы и продемонстрировал их эффект; впоследствии и другие исследователи наблюдали похожие явления.

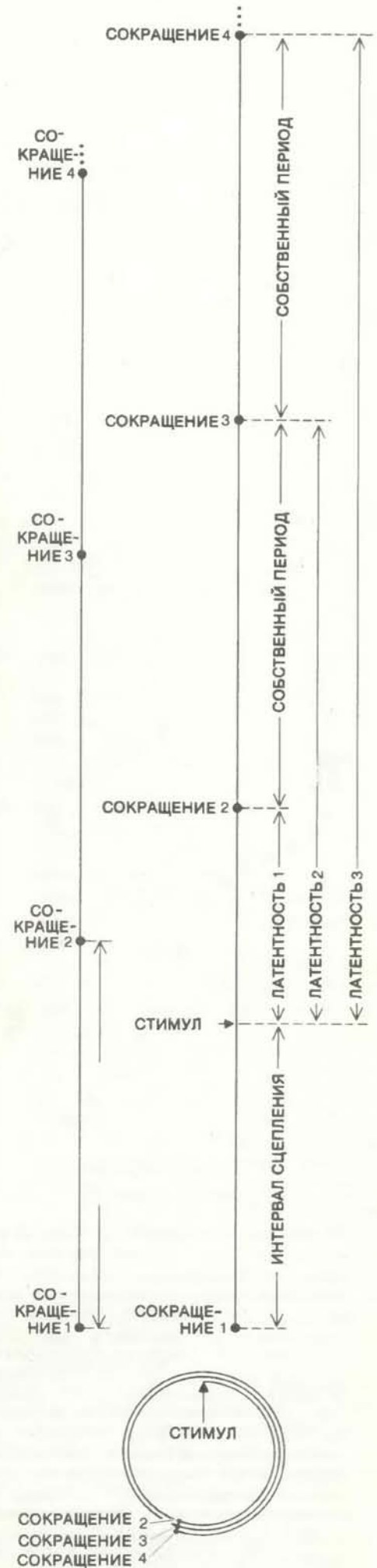
Оказалось, что те топологические свойства циркадных часов, которые делают их уязвимыми к действию одиночных стимулов, характерны и для физиологических систем, способных генерировать регулярные электрические разряды, — таких как нервные клетки, волокна сердечной мышцы и даже сердце в целом. Топологическое свойство — это свойство геометрической фигуры, которое сохраняется, если фигуру сгибать, скручивать, растягивать или еще как-нибудь деформировать непрерывным образом. Например, изображение, которое создает искажающая линза, топологически эквивалентно неискаженному изображению.

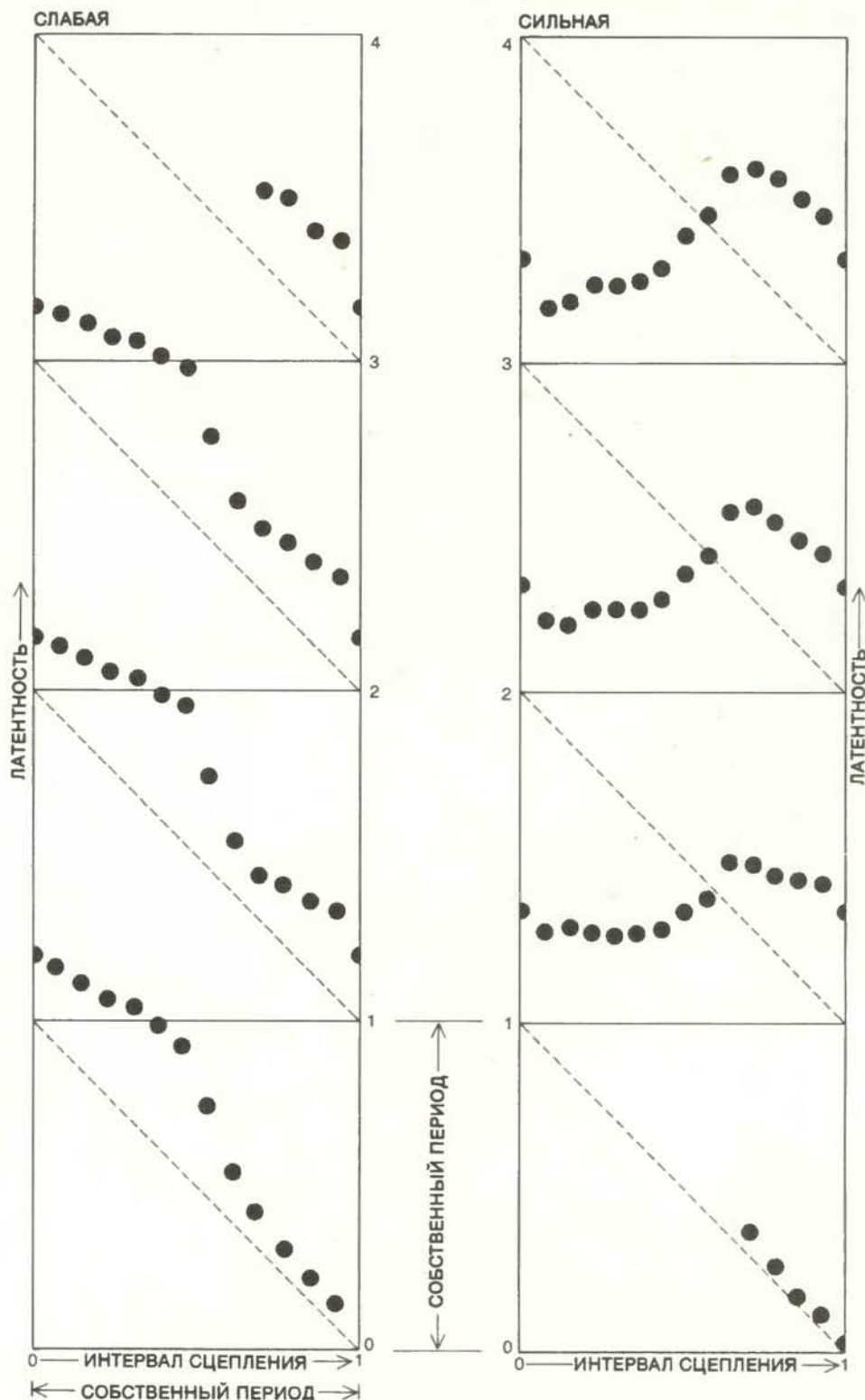
Топологию можно определить как науку о свойствах, которые сохраняются неизменными, несмотря на количественные изменения объекта (но не качественные!). Выводы, основанные на топологических свойствах физической системы, могут быть весьма эффективны, так как позволяют предсказывать ее поведение, не рассматривая точные количественные характеристики системы. Топологические рассуждения особенно пригодились в моей работе по циркадным ритмам, потому что

о механизмах ритмов было известно очень мало и всякие количественные модели были по этой причине в значительной степени эвристическими. И наоборот, накопилось так много количественных данных о координации сердечных сокращений, что информация по этому поводу оказалась избыточной. Сконцентрировав внимание лишь на определенных топологических свойствах сокращений сердца, удалось отбросить несущественное и достигнуть понимания того, как возникает фибрилляция.

На те топологические свойства сердечных сокращений, которые нам сейчас интересны, впервые обратил внимание примерно в 1930 г. Дж. Эклс из Оксфордского университета. Как и Майнс, он исследовал влияние времени подачи внешнего стимула на последующие сокращения сердца. Эклс, однако, занимало главным образом время возникновения нескольких последующих сокращений, а не циркуляция волн или фибрилляция. Он стимулировал сердце собаки, активируя вагусный нерв, который, как я отметил выше, в норме является одним из регуляторов частоты сокращений сердца. Эклс наблюдал, что сразу после стимуляции сердечный ритм нарушался, но очень быстро восстанавливался и во многих случаях так быстро, что первый же полный цикл после стимула даже имел нормальную длительность. Эффект стимула состоял просто в том, что импульсация на время выключалась, а

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СТИМУЛ, приложенный к сердцу, может сдвинуть следующее сокращение вперед или назад во времени. В невозмущенном цикле (вертикальная линия вверху слева) интервал между сокращениями называется естественным периодом. Когда к сердцу приложен внешний стимул (вертикальная линия вверху справа), промежуток времени от исходного сокращения до стимула называется интервалом сцепления. Время от стимула до следующего сокращения называется латентностью. Поскольку после стимула сердце сокращается многократно, имеется и много значений латентности. Любое целое число периодов можно изъять из латентности, наматывая шнур, представляющий латентность, на кольцо, длина окружности которого равна величине естественного периода (внизу). Если сделать это, точки, обозначающие сокращения после стимула, окажутся одна над другой. Главный эффект стимула — сдвиг обычного ритма вперед или назад; естественная периодичность остается неизменной. Терминологию, которой пользуются для описания таких сдвигов, можно применять к любым системам, способным к ритмическим пульсациям: «сокращение» означает просто событие, отмечающее конец цикла.





СЛАБАЯ И СИЛЬНАЯ ПЕРЕСТРОЙКИ ФАЗЫ по данным, полученным Дж. Джейлифом и Дж. Сэлета в экспериментах с сердцем кролика. Точки означают сокращения, возникающие в ответ на стимул определенной силы, интервал сцепления которого меняется от нуля до одного периода. Если стимул слишком мал, то интервал сцепления и латентность будут меняться реципрокно и в каждом квадрате точки попадут на диагональ. Если стимул достаточно силен, следующее сокращение произойдет раньше или задержится и точки не попадут на диагональ. Если сила стимула ниже определенного уровня, латентность тем не менее уменьшается плавно в течение периода по мере возрастания интервала сцепления. Такой график соответствует слабой перестройке фазы (слева). Если сила стимула превышает некоторый уровень, латентность по мере возрастания интервала сцепления может изменяться на любую величину, но, когда интервал достигает одного полного периода, возвращается к исходному значению. Такой график называется сильной перестройкой фазы (справа). То, что эти два графика топологически различны, можно увидеть, соединив левый и правый края каждого графика так, чтобы получился вертикальный цилиндр (поскольку циклы повторяются каждый период, то края эквивалентны). Тогда точки на левом графике образуют непрерывную спираль, а на правом графике — три отдельных кольца.

потом восстанавливалась с исходным периодом.

С 1930 г. словарь понятий, описывающих изменения фазировки, значительно расширился. Период от исходного сокращения до приложения стимула назвали интервалом сцепления, а промежуток времени от стимула до последующего сокращения — латентностью. Поскольку после стимула возникает много сокращений, есть много значений латентности: каждое последующее значение отличается от предыдущего на один период. (Необходимо отметить, что рассматриваемые топологические принципы могут быть применены к различным биологическим системам. Поэтому в данном контексте термин «сокращение» относится вовсе не только к сердцу: под сокращением имеется в виду всякое событие, которое отмечает начало и конец каждого цикла в рассматриваемой системе.)

В зависимости от длительности интервала сцепления и силы стимула первое сокращение может возникнуть раньше или позже, чем «положено». И Майнс, и Экклс наблюдали, какой эффект дает стимул одной и той же определенной амплитуды, если его подавать в различные фазы цикла. Когда интервал сцепления увеличивали, обнаруживались два различных вида зависимости между ним и латентностью. Которое из них наблюдалось, определялось амплитудой стимула.

Одна из этих двух зависимостей была названа слабой перестройкой фазы. Чтобы понять, что это такое, рассмотрим случай, когда стимул слишком мал для того, чтобы повлиять на время последующего сокращения. При этом сумма интервала сцепления и латентности до первого после стимула сокращения должна быть равна нормальному периоду, т.е. интервалу между сокращениями в невозмущенной системе. Следовательно, интервал сцепления и латентность должны меняться реципрокно: чем позже подается стимул, тем короче латентность. На графике зависимости латентности от интервала сцепления все сокращения лежат на диагонали, наклоненной вниз вправо под углом 45° . При монотонном увеличении интервала сцепления от нуля до значения периода латентность уменьшается так же плавно в течение одного полного цикла. В результате каждое возможное значение латентности от нуля до равного периоду появляется только один раз.

Для слабой перестройки фазы характерно, что, пока интервал сцепления проходит весь диапазон значений, каждое значение латентности появляется нечетное число раз. Рассмотренный выше пример сокращений, вызываемых стимулом пренебрежимо малой амплитуды, — это просто предельный

случай слабой перестройки фазы. Если амплитуду стимула увеличить, следующее сокращение либо возникнет раньше, либо задержится в зависимости от времени подачи стимула. Если сила стимула не превышает некоторого уровня, латентность меняется по мере возрастания интервала сцепления плавно и непрерывно. Однако эти две величины более не обязаны меняться реципрокно. При увеличении интервала сцепления график латентности может искривляться и проходить как выше, так и ниже диагонали. Тем не менее каждое значение латентности появляется обязательно нечетное число раз.

ЕСЛИ ЖЕ сила стимула превышает некоторый определенный уровень, появляется другая зависимость, называемая сильной перестройкой фазы. При этом, когда интервал сцепления изменяется на величину периода, латентность не обнаруживает ни суммарного увеличения, ни суммарного уменьшения. Латентность может уменьшаться или увеличиваться на любую величину по мере изменения интервала сцепления, но она возвращается к исходному значению, когда интервал сцепления проходит полный период. Например, когда интервал сцепления равен нулю (это означает, что стимул подается в момент естественного сокращения), латентность может составлять 1,5 периода. Когда же интервал сцепления увеличивается так, что стимул попадает во все более позднюю фазу цикла, латентность уменьшается до минимального значения, затем увеличивается до максимума и в конце концов возвращается к исходному значению, когда интервал сцепления приближается к значению периода. При изменении интервала сцепления в течение всего цикла латентность принимает не все значения. Более того, те значения, которые появляются, встречаются дважды: один раз, когда латентность уменьшается, и другой раз, когда она увеличивается.

Кривая, описанная выше, лишь один из возможных примеров сильной перестройки фазы. Возможны и другие типы кривых. Общим для них является то, что каждое значение латентности, которое возникает, появляется обязательно четное число раз. Большинство значений вообще не появляется. Диапазон значений латентности, которые не регистрируются, расширяется при увеличении силы стимула. В предельном случае сильной перестройки фазы возникает лишь одно значение латентности. Это происходит, когда стимул так силен, что приводит к одному и тому же результату независимо от момента подачи: скажем, следующее сокращение возникает всегда через 0,5 с после стимула.

И при слабой, и при сильной перест-

ройке фазы пейсмейкер восстанавливает свой нормальный ритм после второго — задержанного или ускоренного — сокращения. Слабая перестройка фазы известна давно. Почти каждый ритмический биологический процесс обнаруживает слабую перестройку фазы, если стимул достаточно мал. Топологически отличную от нее сильную перестройку фазы обнаружили в нервных клетках лишь пять лет назад. Некоторые данные о ней были опубликованы еще до этого, но потребовалось почти десятилетие, чтобы идентифицировать этот тип перестройки. Существование сильной перестройки фазы в пейсмейкерных нервных клетках подтвердили многие исследователи. Одна из последних работ — эксперименты Д. Джейлифа и его ученика Дж. Сэлета (Медицинский центр Университета шт. Нью-Йорк, г. Сиракьюс). Джейлиф и Сэлэт обнаружили как слабую, так и сильную перестройку фазы, стимулируя синусовый узел сердца кролика и изучая возникающие импульсы пейсмейкера.

КАК МЫ увидим далее, тот факт, что задающий ритм аппарат сердца способен к сильной перестройке фазы, играет решающую роль в механизме фибрилляции под воздействием слабого одиночного стимула. Чтобы понять, как это может быть, необходимо рассмотреть латентность детальнее. Как уже отмечалось, для каждого стимула имеется много значений латентности — соответственно тому, что за стимулом следует много сокращений. Для топологического анализа удобно вычесть из каждого значения латентности целое число периодов, входящих в него. Ниже приводится схема, делающая наглядными результаты этой операции и позволяющая применить топологическое рассмотрение.

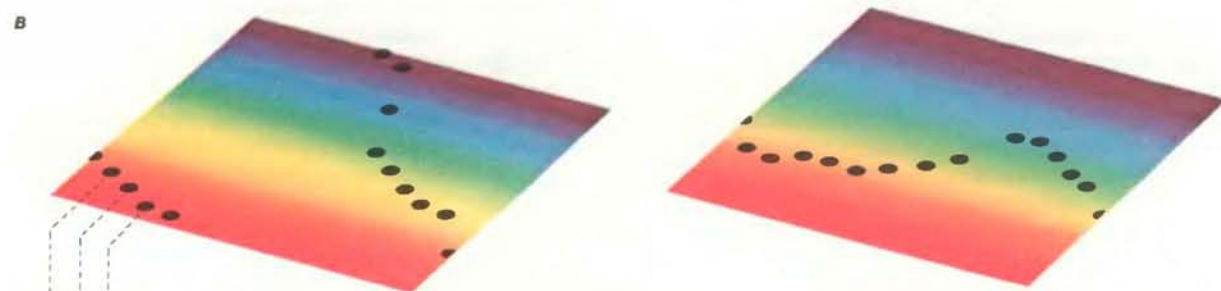
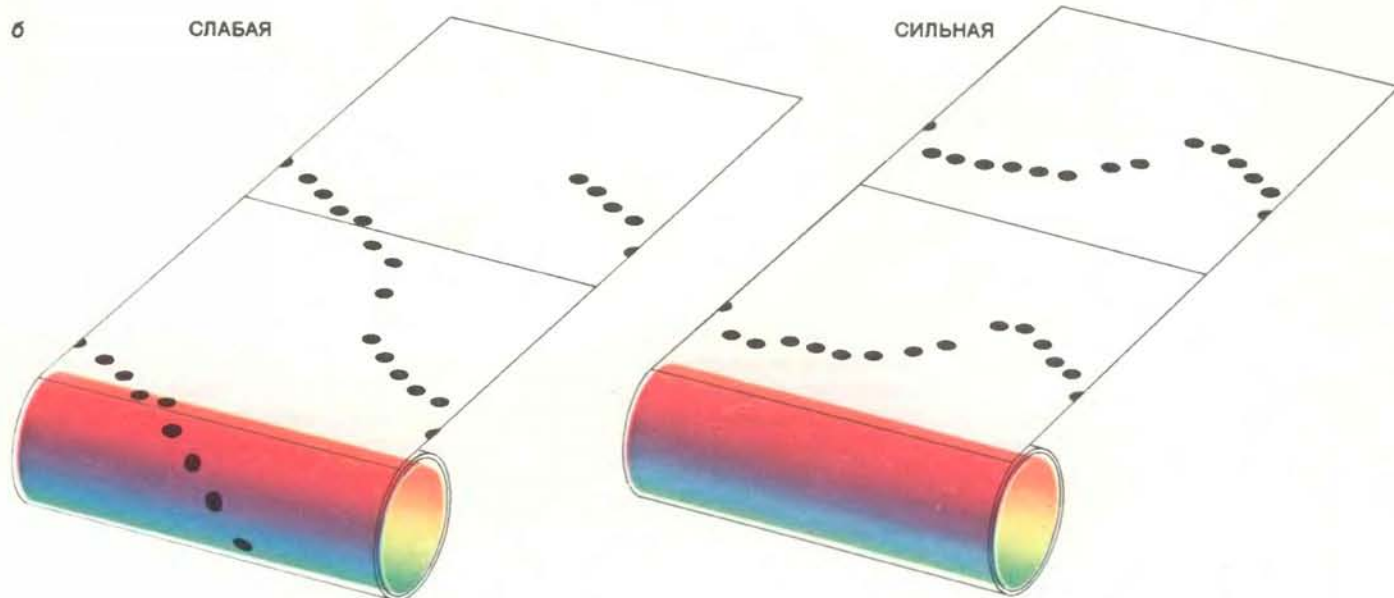
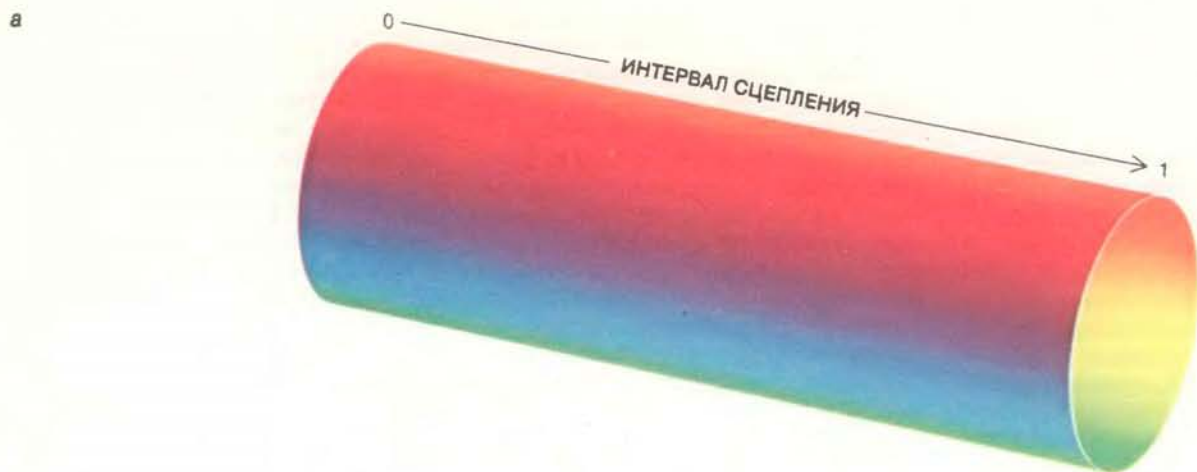
Представим себе кольцо, длина окружности которого равна естественному значению периода пейсмейкера. Раскрасим кольцо во все цвета радуги в том порядке, в каком они располагаются в спектре, и так, чтобы спектр растянулся на все кольцо. Поскольку длина окружности равна естественному значению периода, каждый цвет будет соответствовать определенной части периода. Например, если красный цвет соответствует пренебрежимо малому значению латентности, тогда желтый будет обозначать латентность, равную примерно 1/3 периода, голубой — латентность в 2/3 периода; дойдя по кругу опять до красного цвета, мы получим латентность, равную одному целому периоду. Отложим значения латентности, возникающей после какого-либо стимула, на длинном бесконечно тонком шнуре. Один конец шнура соответствует времени приложения стимула. Вблизи него располо-

жена точка, соответствующая первому после стимула сокращению. Точки, обозначающие последовательные сокращения, следуют вдоль шнура на равных расстояниях друг от друга. Конец шнура, соответствующий стимулу, установим против красного цвета кольца и намотаем весь шнур на кольцо. Тогда точки, представляющие сокращения после стимула, окажутся одна над другой. Их положение на кольце обозначает фундаментальную латентность, т.е. промежуток времени от стимула до каждого из последующих сокращений минус максимальное целое число периодов, которое из него можно вычесть. Если случится так, что точки лежат в красной части кольца, фундаментальная латентность равна нулю или же полному естественному периоду сокращений системы. Если точки попали на желтый цвет, фундаментальная латентность составляет около 1/3 периода. Так как цвета на кольце соответствуют долям периода, каждому значению латентности приписывается цвет, соответствующий ее длительности.

Всякий стимул, который приводит к слабой или сильной перестройке фазы, просто сдвигает весь цикл срабатывания пейсмейкера вперед или назад во времени. Каждый такой стимул в зависимости от его фазировки можно, следовательно, связать с фундаментальным значением латентности и, стало быть, с каким-то цветом на кольце. Теперь рассмотрим, что получится, если цвета, обозначающие латентность, нанести на прямоугольный график в системе координат, по осям которой отложены интервал сцепления и сила стимула.

Интервал сцепления отложен вдоль нижней горизонтали прямоугольника: слева нуль, а правый край соответствует полному периоду. Сила стимула отложена вдоль левой вертикали (нуль внизу). Тогда точки вдоль нижнего края прямоугольника изображают результат приложения пренебрежимо слабого стимула, интервал сцепления которого меняется от нуля до величины полного периода. Как я уже указывал, в этом случае латентность плавно уменьшается в течение всего периода. Следовательно, если каждой точке нижнего края прямоугольника приписать цвет, соответствующий ее фундаментальной латентности, здесь в правильной последовательности расположится весь спектр.

Точки верхнего края соответствуют результату приложения очень сильного стимула, интервал сцепления которого меняется от нуля до величины периода, что соответствует сильной перестройке фазы. Как мы видели, латентность в этом случае сначала будет 1,5 периода, затем уменьшится до минимума, возрастет до максимума и, на-



РАСКРАСКА ГРАФИКОВ ЛАТЕНТНОСТИ. Возьмем цилиндр и нанесем по окружности полный набор цветов в том порядке, который они имеют в спектре (а). Длина окружности цилиндра равна одному естественному периоду. Каждый цвет изображает долю естественного периода. Красный обозначает латентность, равную нулю или полному периоду. Графики сильной и слабой перестроек фазы, показанные на предыдущем рисунке, расположены против цилиндра так, что нижняя грань каждого графика, эквивалентная нулевой латентности, попадает на участок красного цвета. Обернем графики вокруг цилиндра (б). Каждый квадрат графика уложится по окружности ровно один раз. При слабой и сильной перестройках фазы последовательные сокращения после стимула происходят через один период. Поэтому последовательные ряды точек на обернутом вокруг

цилиндра графике окажутся в точности один на другом. Эта процедура изымает из латентности максимальное целое число периодов. Цилиндр с графиком, обернутым вокруг него, разрежем по краю красной полосы и развернем (в). На квадрате получится ряд точек. Они представляют латентности, возникающие, когда стимул одной и той же силы прикладывается с интервалом сцепления, меняющимся на величину периода. Цвета, на которые попадают точки, расположим по горизонтали соответственно интервалу сцепления (г). Последовательность цветов слева изображает слабую перестройку фазы, а последовательность справа — сильную перестройку. Если стимулы слишком малы для того, чтобы повлиять на время следующего сокращения, то по горизонтали возникнет последовательность цветов от красного через весь спектр опять к красному.

конец, вернется к исходному уровню. Значит, верхний край прямоугольника следует раскрасить так, чтобы слева был зеленый цвет, затем шел оранжевый, зеленый и голубой в середине и, наконец, справа опять зеленый. Цвета вдоль левого и правого краев прямоугольника должны соответствовать результату приложения стимулов возрастающей амплитуды с интервалом сцепления нуль (слева) и полный период (справа). Вдоль вертикальных краев может быть много различных последовательностей цветов, но, как мы увидим, с топологической точки зрения точная последовательность не важна. Необходимо отметить, однако, что она должна быть одной и той же на обоих краях, так как интервал сцепления, равный нулю, эквивалентен интервалу сцепления, равному полному периоду, и поэтому стимулы, примененные при этих интервалах, должны приводить к одному и тому же распределению латентностей.

Итак, края прямоугольного графика мы раскрасили. Теперь вообразим колесо наподобие кольца латентностей, на обод которого нанесен весь спектр цветов. Колесо поместим в нижний левый угол и будем катить его по периметру прямоугольника, двигаясь вправо вдоль нижнего края. По мере того, как колесо катится, его переворачивают так, чтобы цвета на ободке все время соответствовали цвету, лежащему под ним на графике.

Сколько всего оборотов совершит колесо, обойдя весь прямоугольник? Вдоль нижнего края колесо делает один полный оборот вперед, поскольку оно движется вдоль латентностей, соответствующих пренебрежимо малому стимулу. Двигаясь вдоль правой вертикали, колесо проворачивается от красного цвета до зеленого. Затем, двигаясь вдоль верхнего края, оно повернется от зеленого цвета через голубой, зеленый и оранжевый, снова к зеленому, следовательно, суммарный оборот на этом участке равен нулю. Спускаясь вдоль левой вертикали прямоугольника, колесо встретит ту же последовательность цветов, что и справа, но в обратном порядке; значит, каков бы ни был результат в верхней точке правой вертикали, он скомпенсируется при движении вдоль левой вертикали.

Ясно, что верхний и вертикальные края прямоугольника не влияют на суммарное число оборотов колеса, так как их вклады взаимно уничтожаются. Когда колесо возвращается на красный цвет в нижнем левом углу прямоугольника, нескомпенсированным остается только вклад нижнего края. Получается, что, обойдя периметр прямоугольника латентностей, колесо делает один полный оборот вперед.

Что будет с точками внутри прямоугольника? Считая, что каждая воз-



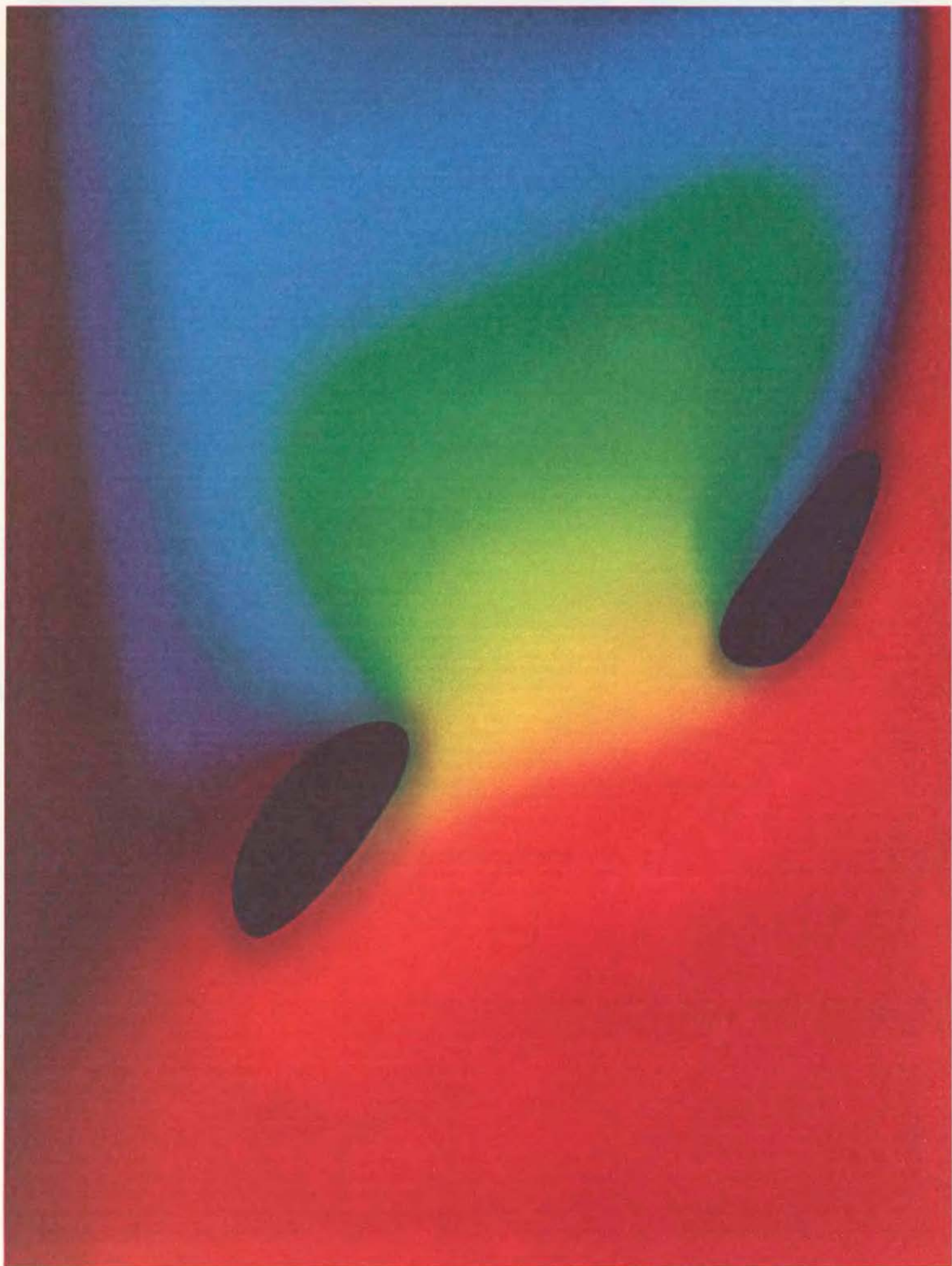
ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ГРАФИК, каждая точка которого отвечает определенной комбинации интервала сцепления и силы стимула, а ее цвет — возникшей латентности. Точки нижнего края прямоугольника соответствуют стимулам пренебрежимо малой амплитуды, когда интервал сцепления меняется от нуля до величины периода. Левый и правый края соответствуют приложению все более сильного стимула с интервалом сцепления 0 (слева) и 1 (справа). Верхний край соответствует сильной перестройке фазы. Если двигаться от нижнего левого угла направо, вдоль нижнего края графика встречается полный цикл цветов, вдоль правого края — гладкая последовательность цветов от красного до зеленого, вдоль верхнего — последовательность от зеленого через голубой, зеленый, оранжевый опять к зеленому. При движении вниз вдоль левого края цвета меняются гладко от зеленого до красного, т.е. в той же самой последовательности, что и на правом краю, но в обратном порядке. Таким образом, вдоль периметра прямоугольника имеется один полный цикл цветов. Тогда в прямоугольник можно вписать окружность, на которой цвета располагаются в определенном порядке и каждый цвет встречается только один раз. Топологическая теорема о невозможности гладкого отображения утверждает, что невозможно отобразить все внутренние точки круга на окружность, сохранив исходную непрерывность. Следовательно, на графике есть по крайней мере одна внутренняя точка, которой нельзя приписать никакого цвета. Другими словами, существует такая комбинация силы стимула и интервала сцепления, которая не приводит ни к какому определенному значению латентности. Такой стимул является сингулярным. Результат его воздействия на регулярный ритм нельзя предсказать, но он не сводится просто к временному выключению пейсмекера.

можная комбинация интервала сцепления и силы стимула связана с некоторой определенной фундаментальной латентностью, мы можем каждой точке внутри прямоугольника приписать определенный цвет. Можно ожидать, что при любом малом изменении интервала сцепления или силы стимула латентность должна меняться непрерывно, так что цвета внутри прямоугольника будут переходить один в другой «гладко», без разрывов. Удивительное предсказание топологии состоит в том, что такое гладкое окрашивание каждой точки невозможно.

Согласно топологической теореме, которая называется теоремой о невозможности гладкого отображения, невозможно отобразить все точки круга на окружность так, чтобы две соседние точки круга оказались соседними также и на окружности. Только если хотя

бы одна точка не будет отображена, все остальные точки сохраняют непрерывность после отображения на окружность. Например, тонкую мыльную пленку, натянутую на кольцо, нельзя стянуть к краям до тех пор, пока пленка не проколота. Топологический смысл прокалывания состоит в устранении одной точки из круга, что и позволяет всем остальным точкам найти соответствующие места на окружности и сохранить непрерывность. Когда одна точка пленки удалена, остальные могут быть непрерывно стянуты на кольцо.

КАК МЫ видели на примере с колесом, периметр прямоугольника включает полный набор цветов. Некоторые цвета появляются, однако, на периметре более одного раза. Зеленый, например, встречается по крайней мере



четыре раза: один раз на нижнем краю и три раза вдоль верхнего края. Можно показать, что если колесо совершает один полный оборот вдоль периметра прямоугольника, то в прямоугольник возможно вписать окружность, на которой цвета располагаются в определенном порядке и встречаются по одному разу каждый. По теореме о невоз-

можности гладкого отображения все точки внутри круга нельзя отобразить на окружность, сохранив их непрерывность. Вообразим, что все внутренние точки круга непрерывно текут по направлению к окружности, например так, что каждая точка движется по кратчайшему пути. Собственно, неважно, как именно перемещаются точ-

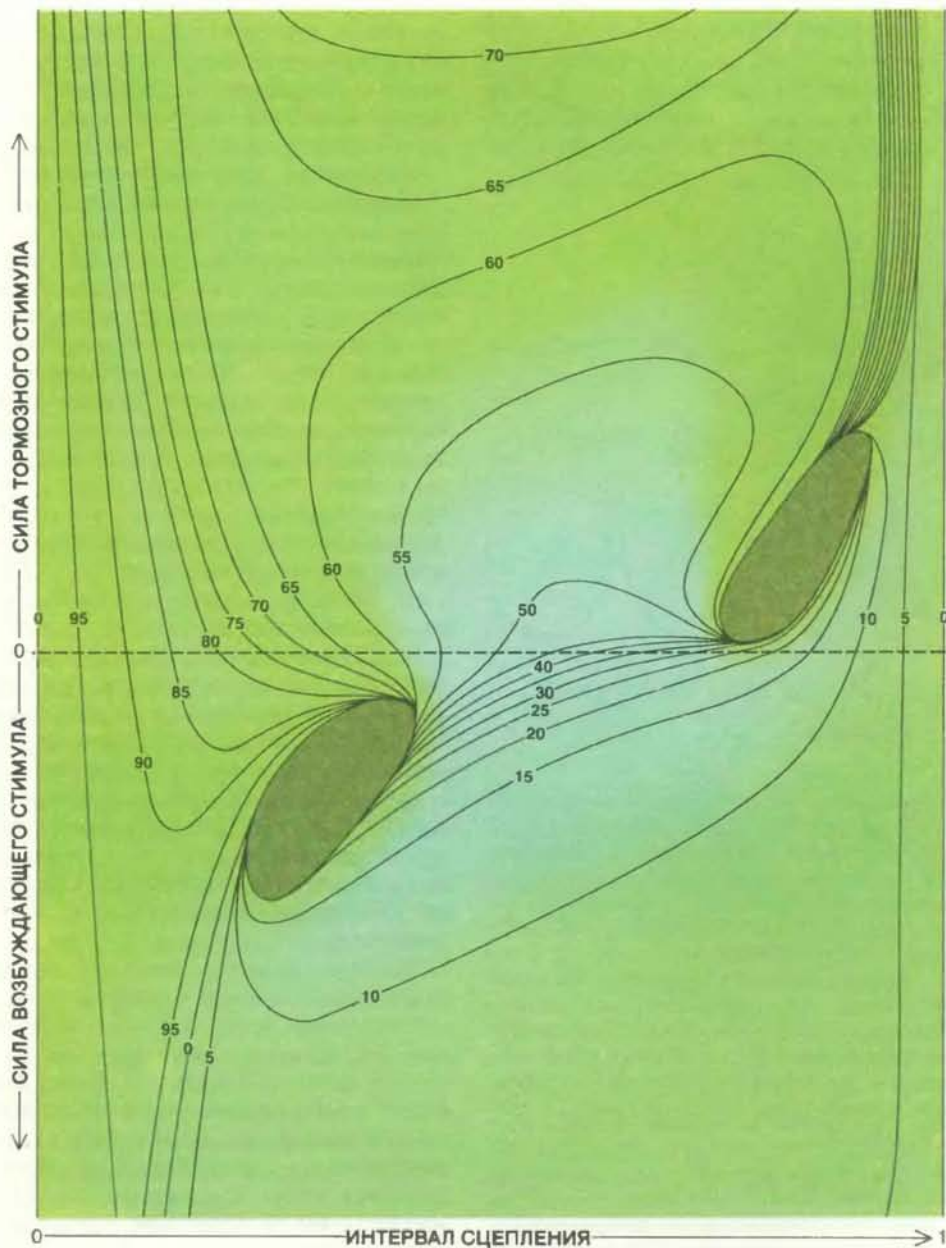
ки, но должна быть такая точка, соседней которой расходятся в противоположные стороны — вот эту точку и нельзя отобразить на окружность.

Если некоторой точке внутри круга не соответствует никакая точка на окружности, то внутри круга (и, следовательно, внутри прямоугольника) должна быть такая точка, которой нельзя приписать никакого определенного цвета. Поскольку каждая точка прямоугольника означает определенную комбинацию силы стимула и интервала сцепления, а каждый цвет — определенное значение фундаментальной латентности, то должен существовать такой стимул, что если его подать в определенную фазу цикла, то вообще не будет никакого значения фундаментальной латентности.

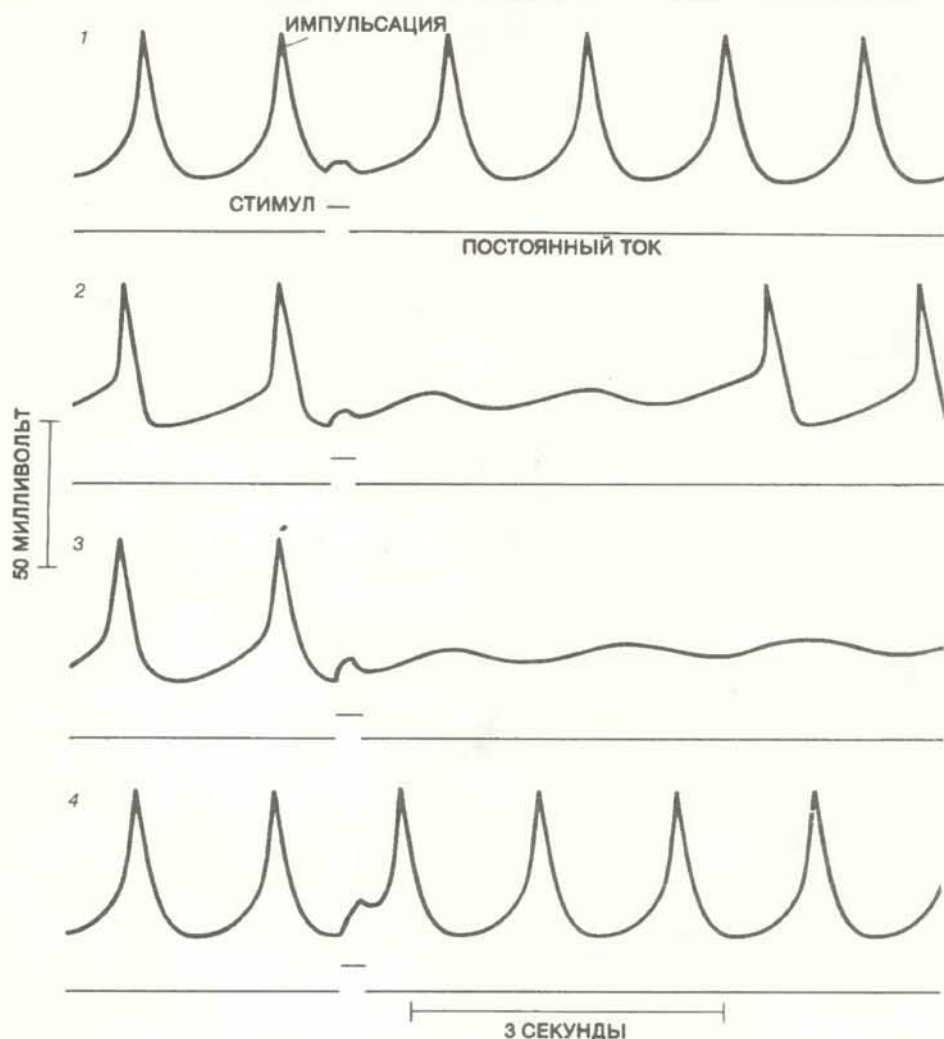
Точка внутри прямоугольника, которой нельзя приписать никакого цвета, называется сингулярной, а соответствующая ей комбинация силы стимула и интервала сцепления называется сингулярным стимулом. Сингулярный стимул не должен быть особенно большим, поскольку он отвечает точке внутри прямоугольника. Верхний край прямоугольника соответствует стимулам, которые приводят к сильной перестройке фазы, а нижний — стимулам, которые приводят к слабой перестройке. Следовательно, амплитуда сингулярного стимула промежуточная между амплитудами стимулов этих двух типов.

Как отмечено выше, тот факт, что для каждого значения стимула есть определенное значение фундаментальной латентности, означает, что стимул выключает обычный ритм пейсмекера, не влияя на систему, задающую величину периода. По теореме о невозможности гладкого отображения существует по крайней мере одно значение стимула, которое не приводит к такому выключению. Каков бы ни был эффект этого стимула, нормальный ритм пейсмекера не сохраняется. Теорема о невозможности гладкого отображения ничего не говорит о результатах применительно к физиологической системе. Последующие сокращения непредсказуемы или их вообще нет. Конкретная комбинация интервала сцепления и силы стимула, которая приводит к такой ситуации, есть математическая сингулярность: «дыра» в графике фазировки.

Возникновение сингулярности зависит от того, существует ли сильная перестройка фазы. Если пейсмекер обнаруживает лишь слабую перестройку фазы, на верхнем краю прямоугольника будет полный цикл цветов, как и на нижнем. Движение колеса вдоль верхнего края компенсирует результат его перемещения вдоль нижнего края, и суммарный оборот колеса будет равен нулю. В этом случае теорема о невоз-



«ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ», соответствующие сингулярным стимулам (т.е. не приводящим ни к какому значению латентности), обнаружил Э. Бест, моделируя на ЭВМ ритмические разряды в гигантском аксоне кальмара в ответ на различные стимулы. Силу стимула и интервал сцепления варьировали. Аксон кальмара чувствителен как к возбуждающим, так и к тормозящим стимулам, поэтому моделирование дало два прямоугольника — таких, как на предыдущем рисунке. Когда эти прямоугольники соединили вдоль линии, соответствующей стимулу нулевой амплитуды, получился цветной график, показанный слева. Черная область в каждом прямоугольнике обозначает стимулы, после которых ритмическая импульсация аксона не восстанавливается. Черная область окружена полным набором цветов в правильной последовательности. Если соединить точки с одной и той же латентностью плавными кривыми (изохронами), окажется, что изохроны упорядоченно «текут» из одной черной области в другую. (Число на изохроне показывает долю естественного периода в процентах.) Топология цветного графика остается неизменной, если график накладывают на участок сердечной мышцы. Изохроны тогда будут представлять латентности клеток в данном участке ткани, то есть интервал, после которого каждая клетка возбуждается.



СИНГУЛЯРНЫЕ СТИМУЛЫ в волокнах Пуркинье из сердца собаки; по данным Джейлифа и Анцелевича. На каждом рисунке верхняя кривая — запись электрического потенциала волокна (пики соответствуют импульсации), нижняя кривая — запись слабого постоянного тока, приложенного к волокнам, чтобы вызвать регулярную импульсацию; маленькая ступенька обозначает небольшой дополнительный стимул продолжительностью 200 мс. Если стимул приложен вскоре после сокращения, следующее сокращение немного задерживается (1). Если стимул приложен несколько позже, импульсация волокон прекращается, но затем ритм восстанавливается (2). Если стимул приложен еще позже, импульсация прекращается и не восстанавливается (3). Тот промежуток времени, в который стимул может вызвать такой эффект, называется фазой уязвимости. Стимул «правильной» амплитуды, приложенный в фазу уязвимости, соответствует черным областям на предыдущем рисунке. Если стимул приложен после фазы уязвимости, следующее сокращение возникает несколько раньше (4).

возможности гладкого отображения неприменима.

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ понятия «слабая перестройка фазы», «сильная перестройка фазы» применимы и к простым системам, и к сложным — таким, как человеческое сердце. Чтобы определить, действительно ли предсказанная сингулярность может иметь место в физиологической системе, мой ученик Э. Бест смоделировал на ЭВМ работу одиночной нервной клетки — относительно простой системы, способной к периодическим «сокращениям». Моделирование основывалось на хорошо известной системе дифференциальных

уравнений, предложенной А. Ходжкином из Кембриджского университета и Э. Хаксли из Лондонского университетского колледжа для описания того, как распространяется потенциал действия вдоль гигантского аксона кальмара. С помощью уравнений Ходжкина — Хаксли Бест построил модель ритмических разрядов в аксоне кальмара и затем моделировал различные по силе стимулы, подававшиеся с различными интервалами сцепления. Возникшая при этом латентность регистрировалась.

Гигантский аксон кальмара чувствителен как к возбуждающим, так и к тормозным стимулам. Поэтому моде-

лирование дало два прямоугольника описанного выше вида: один — для тормозных стимулов и один — для возбуждающих. Прямоугольники можно соединить по горизонтали, соответствующей пренебрежимо малым стимулам. Измеренные значения латентностей откладывали внутри прямоугольников и затем плавными кривыми соединяли точки с одними и теми же значениями латентности — наподобие того, как на топографических картах проводятся линии через точки, лежащие на одной и той же высоте. Изолинии для латентностей называются изохронами. Изохроны нарисовали внутри прямоугольника и раскрасили в цвета, обозначающие доли естественного периода.

Результаты построения такого графика оказались очень интересными. В обоих прямоугольниках изохроны сходились к «черной дыре» — сингулярности, где значение латентности неопределенно. Пучок изохрон, отвечающий полному циклу, исходил из периметра каждой черной дыры — это очень важно в связи с фибрилляцией. Когда два прямоугольника соединили по горизонтальному краю, оказалось, что изохроны упорядоченно выходят из одной сингулярности и входят в другую. Хотя теорема о невозможности гладкого отображения гарантирует существование лишь сингулярной точки, черные дыры, получившиеся при моделировании, были достаточно большими по площади. Дело в том, что условия при моделировании специально подбирали так, чтобы легче было найти сингулярную точку. Как мы увидим, в тех условиях, которые существуют в сердце, также появляется целая область сингулярности.

Результаты Беста с тех пор были подтверждены на реальных биологических системах другими исследователями. Дж. Ринцель (Национальный институт артрита, нарушений обмена веществ и заболеваний пищеварительного тракта) и Рита Гутман (Лаборатория биологии моря в Вудс-Холе) обнаружили в опытах с гигантским аксоном кальмара как возбуждающие, так и тормозные сингулярности. Джейлиф и Ч. Анцелевич (Лаборатория медицинских исследований в Мазоне) обнаружили возбуждающие и тормозные сингулярности, прерывающие спонтанную импульсацию в волокнах Пуркинье собаки и синусового узла кошки.

Оказалось, что импульсацию любого пейсмекера, способного как к слабой, так и к сильной перестройке фазы, можно прекратить коротким стимулом, если правильно подобрать его амплитуду и время подачи. Сокращение человеческого сердца, однако, происходит в трех измерениях, и сердечная аритмия, т.е. отклонение от обычного ритма, часто проявляется в виде быст-

ро циркулирующих вращающихся волн, а не в виде непредсказуемо возникающих импульсов или прекращения импульсации. В частности, фибрилляция — это пространственная дезорганизация нормальных сокращений. Может ли обнаружение топологически сингулярных точек, как бы это ни было интересно само по себе, пролить свет на причину фибрилляции?

Между сингулярностями и вращающимися волнами существует связь, но, чтобы ее понять, необходимо рассмотреть, как волны электрических импульсов распространяются в сердце. В сердечной мышце электрохимические импульсы, которые вызывают сокращение, распространяются без затухания. Это значит, что в каждом волокне распространяющийся сигнал восстанавливается до исходного значения, прежде чем передается соседней клетке. Следовательно, если сигнал направить по круговому пути, он будет циркулировать по сердцу неограниченно долго. Этот феномен известен в современной клинической терминологии под названием «риэнтри».

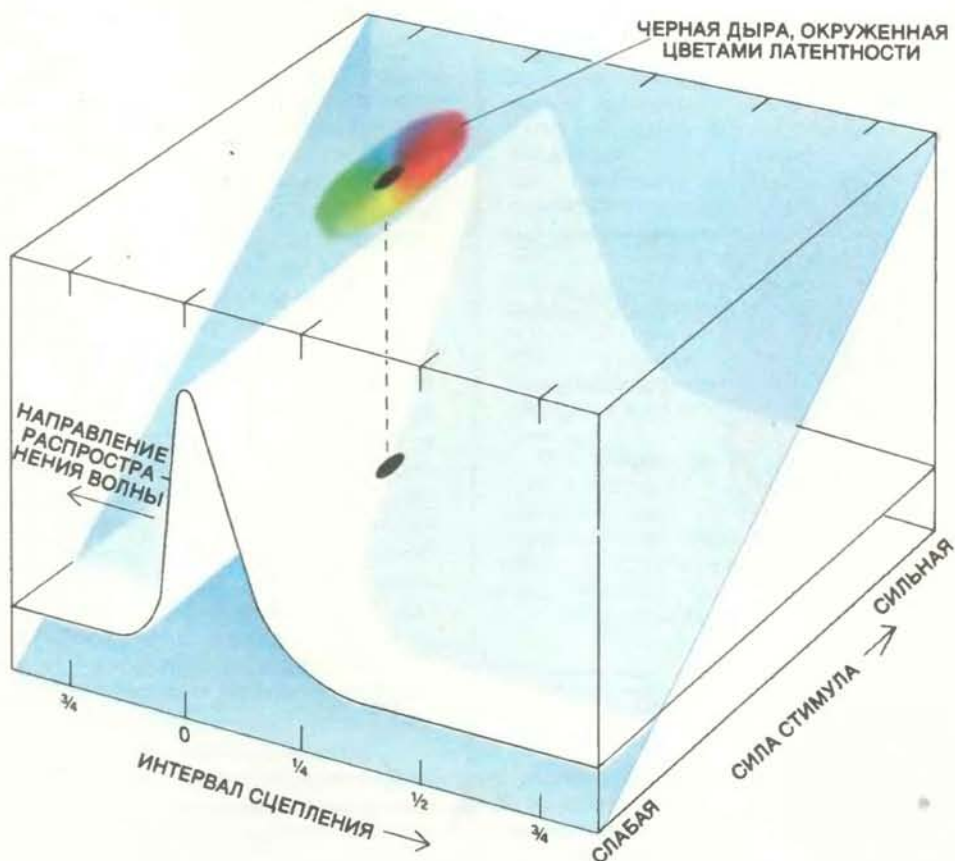
НЕПРЕРЫВНАЯ циркуляция электрической волны в сердце может установиться, только если длина кругового пути достаточно велика, чтобы в ней уложился весь рефрактерный период, который наступает сразу за потенциалом действия. Если период вращающейся волны короче, чем рефрактерный период, волна исчезнет, сделав один оборот, так как встретит волокна, не способные возбудиться. Теперь известно, что в сердце волны могут циркулировать по определенным путям. В частности, было доказано, что волны, циркулирующие вокруг каких-либо препятствий, например вокруг мест входа кровеносных сосудов или вокруг омертвевших участков, лежат в основе механизма нескольких различных форм аритмий.

Долгое время думали, что такие волны не могут циркулировать в ткани **без отверстий или препятствий**, поскольку они должны достаточно быстро гасить друг друга, распространяясь по ткани через центральную область кругового пути. Однако недавно с помощью моделирования работы сердечной мышцы на ЭВМ было установлено, что волна может циркулировать даже в непрерывной ткани, в данном случае в здоровой мышце желудочка. Первыми это показали Г. Моу из Лаборатории медицинских исследований в Мазоне, Дж. Абилдскоф из Медицинского центра Университета шт. Юта (г. Солт-Лейк-Сити) и В. Райнболдт из Мэрилендского университета (г. Колледж-Парк). В. И. Кринский и его коллеги из Института биофизики АН СССР обнаружили, что одиночная вращающаяся волна (ротор) может раз-

множаться, фрагментироваться и распространяться по ткани, если в ткани есть неоднородности, подобные тем, которые часто возникают при нарушении кровообращения сердечной мышцы. Такие роторы могут вращаться чаще и быть гораздо меньше по размерам, чем считалось прежде. В результате этой работы была построена лучшая теоретическая модель фибрилляции. Элесси и его коллеги Ф. Бонк и Ф. Шопман первыми наблюдали роторы в сердечной ткани. Им удалось вызвать волну, циркулировавшую по неповрежденной ткани сердца кролика с частотой примерно 10 раз в секунду.

Чтобы регистрировать импульсы в ткани, они использовали набор перемещающихся электродов. Положение волнового фронта изображалось в виде последовательности изохрон. По мере вращения волны внутренний конец каждой изохроны описывал нерегулярную петлю диаметром меньше 1 см. Аналогичные карты изохрон для фибрилляции желудочков были получены М. Джансом и Ф. ван Капелле (больница Амстердамского университета).

Как я уже отмечал, теорема о невозможности гладкого отображения не предсказывает, какой тип аритмии вызовет стимул, попавший в сингуляр-



ГИПОТЕЗА о механизме возникновения фибрилляции требует наличия градиентов двух параметров — силы стимула и времени его подачи. Пересечение этих градиентов в сердце приводит к возникновению сингулярности. На рисунке схематически изображен прямоугольный кусочек сердечной ткани. Волна, распространяющаяся справа налево по ткани, — это импульс от пейсмекера сердца. По мере распространения волны волокна сердечной мышцы возбуждаются по очереди. Волокна слева от пика возбуждались почти целый период назад и готовы возбудиться опять. Волокна в области пика возбуждены сейчас, волокна сразу справа от пика были возбуждены только что. То есть вдоль переднего края прямоугольника лежат все значения интервала сцепления от нуля до полного периода. Окончания одного из нервов, регулирующих сокращения сердца, сконцентрированы в основном в задней части прямоугольника, а в направлении от заднего края прямоугольника к переднему число окончаний уменьшается. В результате сила стимула от нерва максимальна вблизи заднего края прямоугольника и уменьшается при движении к его переднему краю (наклонная плоскость). Таким образом, мы расположили диаграмму латентности в координатах сила стимула — интервал сцепления на прямоугольном кусочке сердечной ткани. Отсюда следует, что где-то в прямоугольнике есть такая комбинация силы стимула и интервала сцепления, которая не приводит ни к какому определенному значению латентности. Из области сингулярности исходит пучок изохрон, отвечающий полному циклу. Когда стимул от нерва приходит в прямоугольник ткани, волокна вокруг сингулярности начинают возбуждаться в порядке, определяемом величинами их латентностей и соответствующим последовательности изохрон. Это — идеальная ситуация для возникновения вращающейся волны.

ную область. Теорема утверждает только, что такой стимул существует, так что предсказательная сила топологического подхода здесь весьма ограничена. Правда, топологические принципы можно интерпретировать гораздо более общим образом, чем это сделал я. Принципы работы пейсмекера, приведенные выше, применимы не только к точечной сокращающейся массе, но и к распределенной системе. Прямоугольный график с изохронами можно отобразить на участок ткани, и изохроны будут представлять электри-

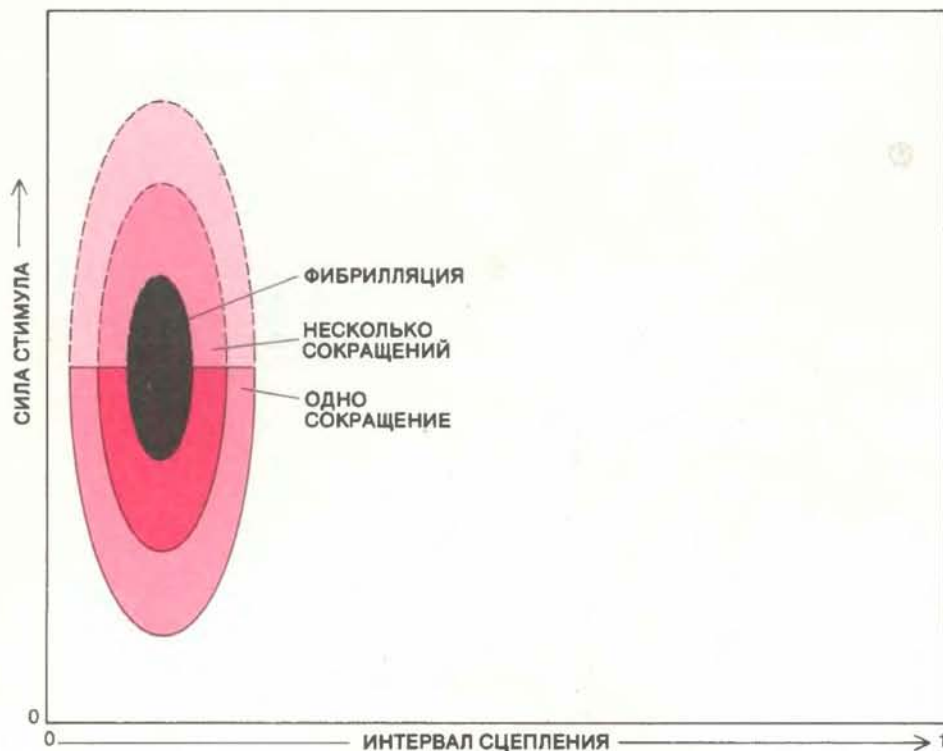
ческую активность в ткани в данный момент времени, а не суммарные результаты стимулирования одиночного волокна или одиночного пейсмекера, полученные во многих экспериментах, охватывающих период. Логика топологического подхода остается той же. Каждая точка графика будет соответствовать комбинации силы стимула и интервала сцепления, а также будет представлять какое-то место в системе. Цвет точки будет обозначать значение латентности в этом месте. Кроме того, предположим, что перестрой-

ка фазы в человеческом сердце качественно близка к перестройке фазы в гигантском аксоне кальмара, изучавшейся Бестом на уравнениях Ходжкина — Хаксли. Главное, что требуется для их сходства, — это существование вокруг каждой сингулярности полного цикла изохрон: «радуги», окружающей черную дыру.

КАК МОЖЕТ такая радуга возникнуть на поверхности человеческого сердца и что отсюда следует? Рассмотрим маленький прямоугольный участок мышечной стенки желудочка. По ткани непрерывно движутся последовательные электрические волны из пейсмекера. Для наглядности вообразим, что волновые фронты движутся справа налево через прямоугольник. Теперь предположим, что длина прямоугольника приблизительно равна длине волны импульса, тогда на прямоугольнике придется один пик волны. Волокна на пике возбуждены и генерируют импульс. Волокна, расположенные чуть влево от пика, возбуждались почти за период до того и готовы возбудиться снова. Волокна справа от пика были возбуждены только что, а расположенные еще правее были возбуждены несколько раньше. Таким образом, вдоль переднего края прямоугольника лежат все возможные значения интервала сцепления от нуля до полного периода.

Сердечную ткань пронизывают окончания нескольких основных нервов. Но распределены они неоднородно. Влияние нервных импульсов пропорционально плотности нервных окончаний. Предположим, что в задней части прямоугольника плотность окончаний выше, чем в передней области. Сила импульса от какого-либо одного из нервов будет, следовательно, уменьшаться от задней части прямоугольника к передней. Стало быть, когда нервный импульс поступает на прямоугольник, градиент его силы пересекает градиент интервала сцепления, который существует вдоль направления движения волны. В результате прямоугольный график интервалов сцепления и силы стимула ложится на прямоугольный участок сердечной мышцы упорядоченно. Если эти условия выполнены, тогда где-то в ткани должна быть черная дыра, т.е. точка, где заданные интервал сцепления и сила прикладываемого стимула не приводят ни к какому определенному значению латентности.

Если, как я предположил, перестройка фазы в сердце по существу та же, что и в аксоне кальмара, тогда вокруг черной дыры должна быть радуга цветов изохрон, соответствующая полной последовательности латентностей. Каждая изохрона проходит через те сердечные волокна, которые импульсируют с одинаковой задержкой после стимула



МИШЕНЬ изображает стимулы, которые могут вызвать фибрилляцию в здоровом неповрежденном сердце. Верхняя ее часть основана на качественных клинических данных о человеческом сердце, а нижняя часть помимо этого еще и на более точной информации, полученной в экспериментах с животными. Наружное кольцо соответствует стимулам, которые вызывают одно дополнительное сокращение сердца; внутреннее кольцо — стимулам, которые вызывают несколько дополнительных сокращений; центральная область — стимулам, которые вызывают фибрилляцию. Топологические соображения гарантируют, что существует лишь одна такая комбинация силы стимула и интервала сцепления, которая может вызвать вращающуюся волну в определенной точке сердца. Реально, однако, в сердце всегда есть градиенты фазы и силы стимула, что расширяет диапазон стимулов, которые могут привести к возникновению вращающейся волны. Если стимул в точке приложения слишком силен, на некотором расстоянии от этого места его амплитуда может оказаться как раз подходящей. Точно так же если время подачи стимула в точке приложения не «правильное», на некотором расстоянии от нее оно может вполне подойти. Всем тем различным комбинациям силы стимула и времени его подачи, которые могут привести к возникновению вращающейся волны в человеческом сердце, соответствует центральная область мишени *

* Вращающиеся волны (или вихри; автор называет их роторами) возникают и вне центра мишени, в ее внутреннем кольце, но там они имеют конечное время жизни. Если под действием некоторого стимула возникает вихрь, который, прежде чем «умереть», совершит, скажем, 3 оборота, то сердце в ответ на такой стимул сократится 3 раза, а не один, как обычно. В сердце происходят также процессы размножения вихрей. В центре мишени скорость размножения вихрей превышает скорость их умирания. В результате (аналогично цепным реакциям) число вихрей быстро растет и режим сокращений становится неупорядоченным, т.е. развивается фибрилляция. Изучение этих явлений и разработка способов управления ими относятся к области физики сильно нелинейных волн. — *Прим. перев.*

от нерва. Таким образом, вокруг точки, соответствующей сингулярности, стимул может вызвать вращающуюся волну импульсов.

Радуга цветов изохрон ограничена площадью около 1 см^2 , что примерно соответствует площади роторов, которые наблюдались в сердечной ткани. Трудно представить себе лучшие начальные условия для запуска вращающейся волны, чем такая черная дыра, окруженная радугой латентностей. Более того, если в сердечной мышце много неоднородностей, ротор разобьется на множество меньших волн. Поэтому ротор, вызванный сингулярностью фазовой перестройки, может в конце концов трансформироваться в катастрофическую аритмию фибрилляции.

ГРАДИЕНТЫ времени подачи и силы стимула, которые существуют в человеческом сердце, могут благоприятствовать фибрилляции. Чтобы понять, как это может быть, будем рассуждать следующим образом. Топологический анализ гарантирует существование лишь одной сингулярной точки — уникальной комбинации интервала сцепления и силы стимула. Если бы сердце человека состояло из идеальной ткани, в которой все импульсы передаются мгновенно и все волокна сокращаются одновременно, тогда, чтобы вызвать фибрилляцию, понадобилась бы в точности такая же комбинация силы стимула и интервала сцепления. Черная дыра при этом была бы бесконечно маленькой — точкой.

Однако у крупных млекопитающих, например у человека, сердце весьма отличается от такого идеализированного органа. Как отмечено выше, время возникновения импульсов и сила стимула меняются довольно существенно даже в пределах небольших участков. В результате очень многие комбинации силы стимула и момента его подачи могут создать ротор. Например, если некоторый стимул слишком силен, чтобы вызвать ротор в той точке, где он приложен, то на некотором расстоянии от нее он может иметь как раз необходимую силу. Аналогично, если время подачи стимула не то, которое нужно в точке стимуляции, оно может оказаться подходящим на некотором расстоянии от этого места.

Вообразим снова график, по горизонтали которого отложен интервал сцепления и по вертикали — сила стимула. На нем отмечены стимулы, которые могут вызвать фибрилляцию. Для сердца из идеально однородной ткани мишень, создаваемая таким образом, представляет собой точку. В реальном сердце мишень гораздо больше, и, следовательно, в нее намного легче попасть. Эксперименты с животными показывают, что и в самом деле есть целая область, где может возник-

нуть фибрилляция. Стимулы вне области мишени не вызовут фибрилляцию. Этот принцип иллюстрируется случаями внезапной смерти при поражении электрическим током. Он давно уже используется в медицине, когда нужно прекратить сокращения сердечной мышцы во время тонкой хирургической операции на открытом сердце.

В своей последней статье Джордж Майнс сделал о фибрилляции три вывода, которые с тех пор многократно подтвердились в медицинской практике. Во-первых, фибрилляцию можно вызвать электрическим импульсом, поданным в определенную фазу цикла, а именно в фазу уязвимости. Во-вторых, фибрилляция часто связана с ризентри — циркулирующей импульсов. В-третьих, фибрилляции способствуют всякие отклонения от пространственной однородности в ткани или же в стимулах, которые поступают от нервов, иннервирующих ткань. Майнс пришел к этим утверждениям эмпирически; топологический подход, который мы здесь применили, позволяет уяснить себе связь между ними. Но дальше нам не помогут пройти ни наблюдения, ни топология. Хотя топологический механизм, предложенный здесь, верен, возможности его практического применения неясны. На сердце постоянно поступают электрические импульсы от множества различных источников. Угрозу сингулярности, которую они могут вызвать, нельзя исключить, не устранив явления сильной перестройки фазы, свойственного пейсмекерным мембранам. Если это невозможно или нежелательно, то нужны какие-то профилактические способы, которые делали бы черные дыры минимальными по размеру и сколь возможно недостижимыми.

Среди нерешенных вопросов, предложенных топологическим анализом, есть такие, которые крайне интересны с точки зрения медицины. У всех людей на сердце постоянно поступает множество импульсов. Однако фибрилляция возникает далеко не у всех. При каких условиях сингулярность перестройки фазы превращается в ротор? Когда ротор разбивается на меньшие волны? Когда он исчезает, превратившись в безвредную синхронизированную активность? Можно ли четко определить условия превращения сингулярности в фибрилляцию и можно ли их контролировать с помощью лекарственных препаратов, влияющих на электрические свойства сердечной ткани? Эти вопросы давно интересуют кардиологов. Привлекая к ним внимание в математическом аспекте, топология вносит важный вклад в изучение серьезной практической проблемы — выяснения природы внезапной смерти от фибрилляции сердца — и, надо надеяться, поможет ее решить.

Издательство
МИР
предлагает:

*А. Козаннэ, Ж. Флёре,
Г. Мэтр, Н. Руссо*
ОПТИКА И СВЯЗЬ

Перевод с французского

Книга представляет собой первое в мировой литературе учебное пособие по оптической волоконной связи и оптическим методам обработки информации. Впервые в одной книге с единых позиций рассмотрен весь комплекс вопросов, связанных с этой областью знания: распространение света в направляющих системах, теория голографического метода регистрации и восстановления волновых полей, оптические методы обработки информации, измерение характеристик оптических волокон и методы их изготовления. Рассматривается также элементная база оптических систем передачи и обработки информации.

Для студентов, аспирантов и преподавателей, а также для инженеров и научных работников в области оптической волоконной связи и оптической обработки информации.

1984, 31 л. Цена 2 р. 50 к.

К. Хандрих, С. Кобе
**АМОРФНЫЕ ФЕРРО-И
ФЕРРИМАГНЕТИКИ**

Перевод с немецкого

Авторы обобщили результаты исследований аморфных ферро- и ферримагнетиков, начиная от технологических методов получения металлических сплавов в аморфном состоянии до квантово-статистических моделей такого состояния. Показано, как аморфные ферримагнетики могут быть использованы для создания запоминающих устройств на цилиндрических магнитных доменах, для магнитной записи и магнитной контактной печати.

Книга предназначена для физиков, материаловедов и инженеров, работающих в области создания и применения магнитных материалов.

1983 г., 13 л. Цена 2 р.



Наука вокруг нас

Почему на стенках бокала с вином появляются «слезы»?

ДЖИРЛ УОЛКЕР

НАЛЕЙТЕ вино в бокал, и несколько минут спустя вы станете свидетелем любопытного явления, известного как «слезы крепкого вина». На стекле выше уровня жидкости появится множество крошечных капель, особенно если вино с высоким содержанием спирта. Еще в 1885 г. английский физик Дж. Томсон, изучая это явление, пришел к выводу, что появление капель на стекле нельзя объяснить конденсацией воды на холодной поверхности, так как они образуются на стенках бокала, имеющих комнатную температуру. Он считал, что капли появляются в результате изменения поверхностного натяжения при испарении спирта с тонкой пленки вина, образующейся на стенке бокала.

С тех пор это явление рассматривалось при изучении циркуляций в жидкостях с меняющимся поверхностным натяжением. Несмотря на то что такие циркуляции исследуются более ста лет, их физическая сущность остается до конца не выясненной. Результаты этих исследований используются для изучения поверхностного натяжения и условий устойчивости циркуляционных процессов в жидкостях. Они представляют интерес еще и потому, что циркуляции зачастую играют немаловажную роль в промышленных и биологических процессах.

Хотя Томсон в основном правильно объяснил возникновение «слез крепкого вина», его исследование никого не заинтересовало. В 1869 г. в одном из бельгийских журналов появилась обширная статья Г. ван дер Менсбрюгге, в которой рассматривались циркуляционные явления в жидкостях, связанные с изменением поверхностного натяжения. Два года спустя итальянский ученый К. Мараньони опубликовал результаты своих исследований в этой области. Работа Томсона к тому времени была забыта, и приоритет в исследовании этой проблемы остался за Мараньони, чье имя сегодня связывают с исследованиями циркуляций в жидкостях, вызванных изменением поверхностного натяжения.

Томсон нашел простое объяснение этому явлению. Он заметил, что если в воду добавить спирт, то поверхностное натяжение полученной смеси будет меньше, чем у воды. Следовательно, вино имеет меньшее поверхностное натяжение по сравнению с водой. Если

вино оставить в открытом сосуде, то содержащийся в нем спирт будет испаряться, образуя на поверхности участки более высокого поверхностного натяжения. Именно они и вызывают перемещение жидкости, как бы притягивая ее из соседних участков. Такие быстрые и незначительные перемещения обычно незаметны.

Гораздо легче наблюдать образование капель на стенках бокала с вином также вследствие изменения поверхностного натяжения. Поверхность жидкости у стенок бокала искривляется, так как поверхностное натяжение на границе раздела жидкости и стекла заставляет вино подниматься немного вверх по стенке бокала в виде тонкой пленки.

При испарении спирта с этой пленки поверхностное натяжение в ней увеличивается, поэтому все больше вина поднимается по стенке бокала. Постепенно на верхней границе пленки образуется хорошо заметное кольцо. По мере испарения спирта и увеличения поверхностного натяжения в этом кольце жидкость начинает собираться в маленькие капли. Поскольку жидкость продолжает подниматься по стенкам бокала, размер капель увеличивается. Наконец они становятся настолько тяжелыми, что соскальзывают вниз. Вскоре на их месте образуются новые капли. Когда спирта испарится настолько много, что изменение поверхностного натяжения станет совсем незначительным, процесс прекращается.

Роль испарения Томсон определил следующим образом. Закрыв пробкой бутылку, частично наполненную вином, и встряхнув ее, он стал наблюдать, что образуется на ее стенках. Ничего, кроме обычного стока вина по ним, он не заметил. Откупорив бутылку, Томсон увидел, что «по ее стенкам сразу стала подниматься вверх тонкая пленка, с которой стекали вниз густые струйки жидкости, напоминавшие бахрому на занавеске». При встряхивании закупоренной бутылки воздух в ней настолько насыщался парами спирта, что дальнейшее испарение становилось невозможным. При доступе воздуха в откупоренную бутылку процесс испарения спирта возобновлялся, и в результате изменения поверхностного натяжения жидкость начинала перемещаться.

Мне удалось наблюдать процесс об-

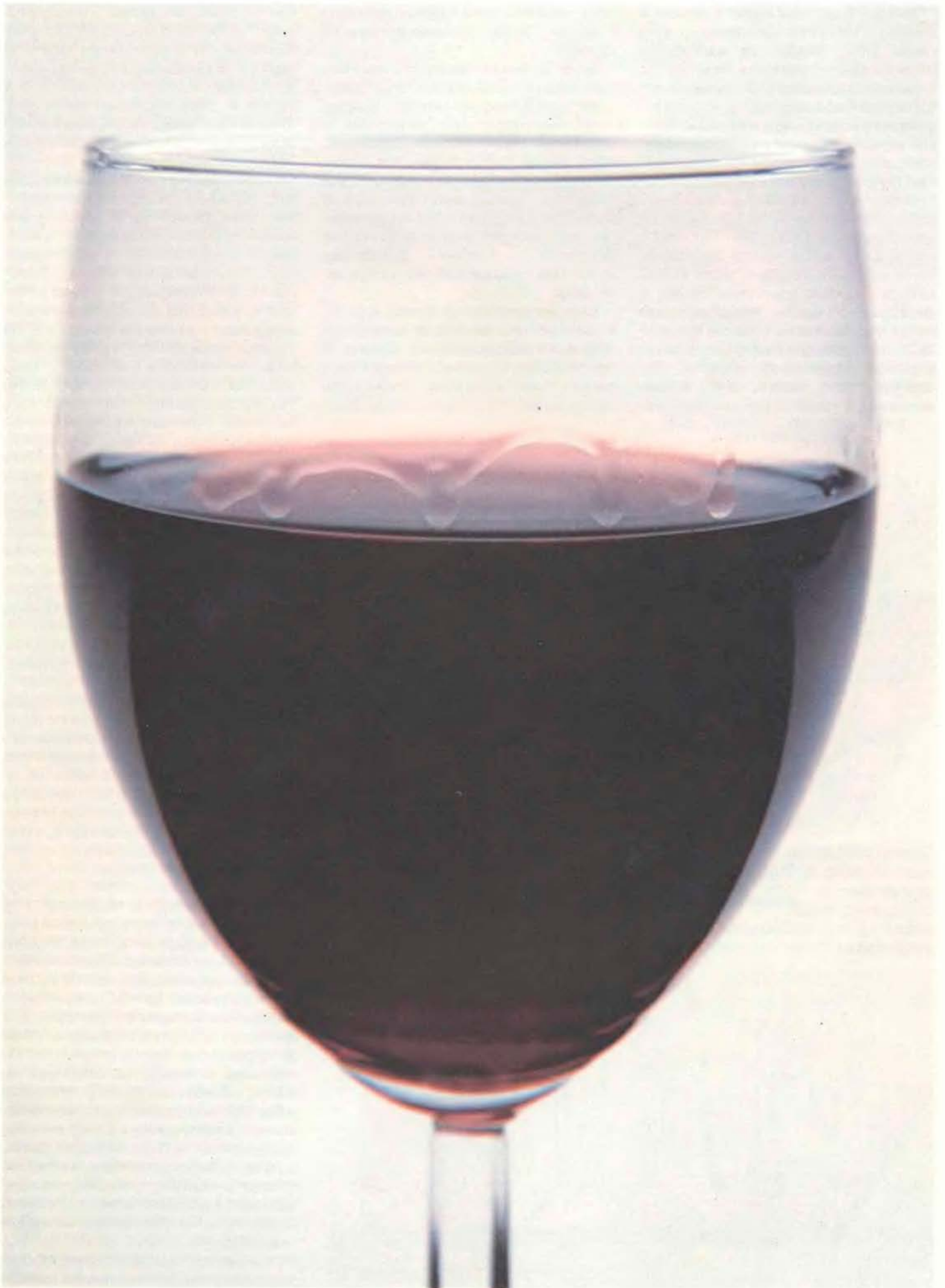
разования «слез», экспериментируя с различными алкогольными напитками. Налив в часовое стекло небольшое количество 47,3%-ного джина, я вскоре заметил, что почти на краю стекла образовались 4 капли. На поверхности стекла между каплей и налитым джином было заметно движение жидкости. Конечно, я не мог наблюдать движение самого джина по поверхности часового стекла, так как он бесцветен. Скорее всего его движение стало заметным благодаря пылинкам, попавшим в жидкость. Чтобы лучше видеть движение жидкости, я насыпал на ее поверхность немного ликоподия, микроскопические частицы которого остаются на поверхности. Вместо ликоподия можно взять тальк или другие имеющиеся под рукой порошки, которые плохо смачиваются водой и спиртом.

С помощью порошка оказалось возможным наблюдать за движением джина по поверхности часового стекла. В целом движение это было беспорядочным, однако ниже того места, где образовалась капля, жидкость перемещалась в основном вверх. (Беспорядочность движения жидкости объясняется тем, что поверхностное натяжение испаряющейся пленки меняется от участка к участку.)

В конце концов капля либо резко соскальзывала вниз, либо медленно сползала по стенке часового стекла, пока не касалась поверхности жидкости. В последнем случае капля, коснувшись этой поверхности, как бы отскакивала от нее немного вверх по стеклу. Это объясняется тем, что в момент соприкосновения капля теряет некоторое количество жидкости, в результате ее вес уменьшается настолько, что поверхностное натяжение увлекает ее вверх. Резкому движению капли вверх способствует также различие в поверхностном натяжении на границе раздела между каплей и джином.

Соприкоснувшись с джином, капля как бы впрыскивает в него струйку жидкости. Эту струйку можно видеть, так как она имеет иной показатель преломления. Разница в показателях преломления, по-видимому, объясняется двумя причинами: струйка содержит больше спирта и имеет большую плотность. Большая плотность обусловлена охлаждением жидкости при испарении, вызывающим образование «слез».

После этого был проделан эксперимент с 40%-ным ромом. Налив этот напиток в фарфоровую чашку, я насыпал на его поверхность, у стенки чашки, немного шоколадных крошек. В жидкости появились красивые пурпурные узоры. Причудливые цветные линии казались живыми. Такая картина, по-видимому, объясняется сильным изменением поверхностного натяжения и циркуляцией внутри жидкости.



«Слезы» на стенках бокала с ромом (перемещение жидкости становится хорошо заметным после добавления в нее шоколада)

Затем я поместил чашку с ромом в духовку, нагретую до температуры около 93°C. Вскоре на внутренних стенках чашки появились «слезы». С помощью карманного фонарика и лупы можно было наблюдать, что происходило на поверхности жидкости. Мелкие нерастворившиеся частички шоколада делали заметным ее движение. Они перемещались на поверхности то к стенкам чашки, то от них, обнаруживая сложный и интенсивный характер циркуляции жидкости.

Еще легче проследить за движением жидкости, если добавить в нее какой-нибудь пищевой краситель. Налив в фарфоровую чашку изопропиловый спирт и добавив в него каплю красителя, я стал наблюдать за движением небольшой окрашенной области. Достигнув стенки чашки, спирт поднимался вверх по почти невидимой тон-

кой пленке из спирта и воды и проникал в каплю, ранее образовавшуюся на стенке.

Затем я решил проверить гипотезу Томсона, который считал, что образование капель связано только с изменением поверхностного натяжения в пленке на стенке сосуда. Предположим, что в спирте совсем нет воды; тогда при его испарении поверхностное натяжение вряд ли будет меняться. И действительно, оно остается практически постоянным, если не считать тех изменений, которые происходят вследствие охлаждения спирта при испарении.

Взяв две одинаковые чашки, я налил в одну из них некоторое количество 70%-ного изопропилового спирта. В другую налил спирта в 2 раза меньше, а затем добавил в нее воды, чтобы количество жидкости в обеих чашках было

одинаковым. Встряхнув содержимое чашек, чтобы смочить стенки, я стал наблюдать за образованием капель. В чашке с разбавленным спиртом быстро появилось множество капель, а в другой — лишь несколько маленьких. Томсон был прав: чтобы поверхностное натяжение менялось, смесь должна содержать воду.

Любой фактор, ускоряющий испарение, например тепло, прямой солнечный свет, способствует образованию «слез». Быстрее происходит испарение, а следовательно, и образование «слез», если жидкость налита в широкий и неглубокий сосуд. В этом я убедился, наблюдая интенсивное образование капель на стенках сервировочной тарелки. Если же налить небольшое количество жидкости в высокий стакан, капли на стенках почти не образуются, так как испарение в этом случае идет медленно. Правда, если стенки стакана предварительно смочить, а затем налить в него спирт, то пленка жидкости быстро поднимется вверх по стенкам вплоть до того места, где они не были смочены. Появление капель на стенке сосуда в нескольких сантиметрах от поверхности жидкости, содержащей спирт, кажется настоящим чудом. Наблюдая это явление, можно предположить, что образование «слез» вызвано конденсацией. Однако это не так: если окрасить жидкость на дне стакана, то капли, появившиеся на его стенках, будут тоже окрашены.

Возможно, у вас появится желание изучить это явление на других алкогольных напитках. Хочу заметить, что американское пиво не подходит для проведения эксперимента, вероятно из-за малого содержания в нем спирта. Во всяком случае, я не добился успеха. Быть может, вам удастся найти другие жидкости, у которых можно наблюдать образование «слез».

ОДНОВРЕМЕННО с исследованиями явления «слез крепкого вина» я писал статью о кофе по-турецки, которая была напечатана в предыдущем номере этого журнала. Для приготовления кофе по-турецки нужны вода, сахар и хорошо смолотые кофейные зерна. Кофе подается непроцеженным, с гущей. Я готовил так много этого напитка, что часто оставлял его недопитым в чашках. Однажды утром, производя уборку, я обнаружил на стенках оставленной с вечера чашки с кофе интересный рисунок: чуть ниже уровня жидкости были хорошо заметны темные дорожки кофейной гущи. Ширина этих дорожек и перемежающихся с ними чистых участков составляла несколько миллиметров.

Увиденное озадачило меня. Сотни раз я оставлял на столе чашки с недопитым кофе, но ничего подобного не обнаруживал. Быть может, кофе по-



Механизм образования капель на стенках бокала с вином

турецки отличается особыми свойствами? Приготовив еще немного кофе, я оставил его в такой же фарфоровой чашке. Во время быстрого испарения горячей жидкости ничего интересного не наблюдалось, однако через несколько часов на стенке чашки стал появляться знакомый рисунок. Хотя я терпеливо наблюдал за происходящим, вооружившись карманным фонариком и лупой, мне так и не удалось установить, как образуются эти дорожки. Поскольку в то время я изучал причины появления «слез крепкого вина», у меня возникла мысль, не связаны ли эти два явления. Увы, заметного движения жидкости вверх по стенке чашки не произошло.

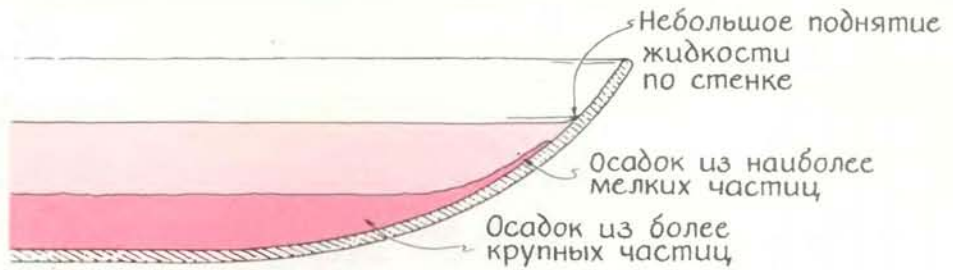
Возможно, образование подобного рисунка уже было кем-то описано, но я нигде не встречал упоминания об этом. Интересно, что без сахара явление это не наблюдается. В приготовленном мною кофе рисунок образовывался лишь в тех чашках, куда был добавлен сахар.

Другое необходимое условие образования рисунка — испарение. В чашке с кофе, помещенной в теплую духовку, очень быстро появлялся знакомый рисунок. Слегка встряхнув эту чашку, чтобы удалить образовавшийся рисунок, я завернул ее в прозрачную пленку для упаковки пищевых продуктов. Через несколько минут я увидел в чашке такой же рисунок. После того как я встряхнул ее еще раз, рисунок больше не появлялся.

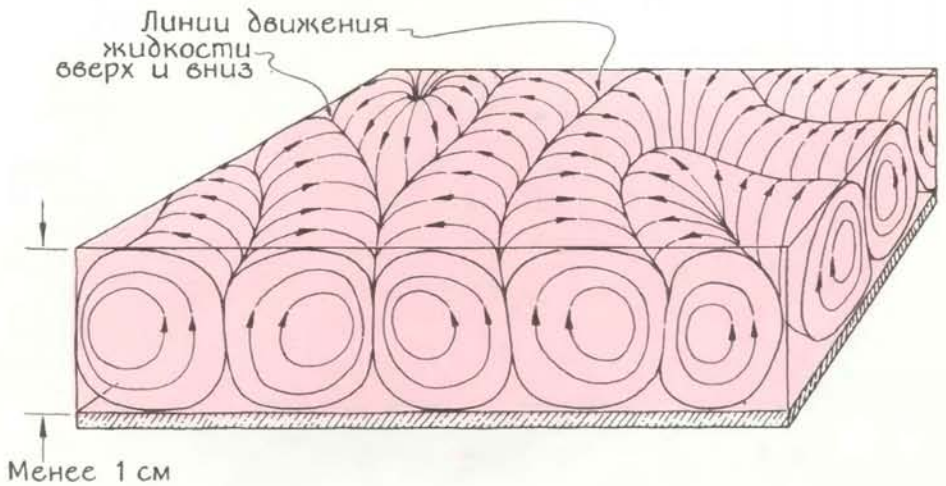
Появление рисунка на стенках чашки объясняется, по-видимому, первоначальным испарением воды из чашки под пленкой. Затем воздух внутри обертки стал настолько насыщен водяными парами, что испарение прекратилось. Когда я открыл дверцу духовки, чтобы взглянуть, образовался ли рисунок, холодный воздух кухни вызвал быструю конденсацию влаги на внутренней поверхности пленки, что указывает на большое скопление водяных паров внутри обертки.

Затем я приготовился к тщательному изучению процесса образования подобного рисунка, взяв вместо фарфоровых чашек широкий лабораторный стакан и набор часовых стекол. Сквозь вертикальные стенки стакана можно было наблюдать с помощью фонарика образование кофейного осадка. Никакого рисунка в стакане я так и не заметил. К моему удивлению, на стенках часовых стекол рисунок также не появился. Тогда я налил кофе в пластмассовые колпачки, по форме напоминающие часовые стекла, — и опять никакого результата. Исследования мои зашли в тупик.

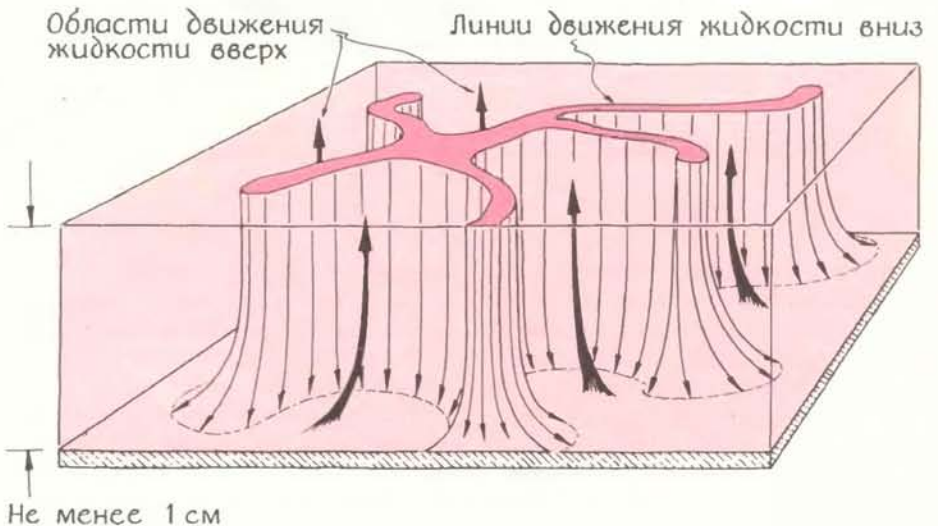
Вновь налив кофе в две фарфоровые чашки, я с помощью различных добавок попытался обнаружить циркуляцию у их стенок. В одну чашку я доба-



Зубчатый рисунок в кофейной гуще



Циркуляция в небольшом количестве жидкости



Циркуляция в испаряющейся жидкости

вил с помощью медицинского шприца небольшое количество пищевого красителя чуть ниже уровня жидкости, а на поверхность кофе во второй чашке насыпал немного ликоподия. Никакой циркуляции жидкости не наблюдалось. Кофе всю ночь простоял в этих чашках при комнатной температуре; наутро на их стенках я обнаружил знакомый рисунок.

Решив проверить, образуется ли подобный рисунок в других смесях, я добавлял в подслащенную воду вместо молотого кофе чай или песок. Никакой рисунок на стенках чашек не появлялся. По-видимому, для его образования необходим осадок из очень мелких частиц, мельче чаинок и песчинок.

Взяв чашку с отстоявшимся кофе по-турецки, я очистил от осадка небольшой участок ее стенки и стал ждать,

когда образуется рисунок. Появился он, однако, в другом месте на стенке чашки. Это дало мне ключ к разгадке природы наблюдаемого явления. Вероятно, осадок должен находиться на стенке вблизи поверхности жидкости. Механизм, который вызывает образование рисунка, не может переместить осадок на значительное расстояние вверх по стенке чашки к поверхности жидкости.

Я приготовил кофе по-турецки и, после того как он немного остыл, медленно влил в него джин. В полученную смесь затем добавил небольшое количество красного пищевого красителя. Вскоре почти на краю чашки образовались «слезы», а обычный рисунок на ее стенках так и не появился.

Результаты этого опыта дали мне еще один ключ к разгадке происхожде-

ния рисунка. Когда капля соскальзывала по стенке вниз, как раз ниже того места, где она попадала в жидкость, образовывалась чистая от осадка дорожка. Вскоре эти капли рождали рисунок, похожий на тот, который я наблюдал ранее в кофе. Правда, расстояние между дорожками было раз в десять больше, и рисунок все время менялся, поскольку капли скатывались в жидкость в разных местах.

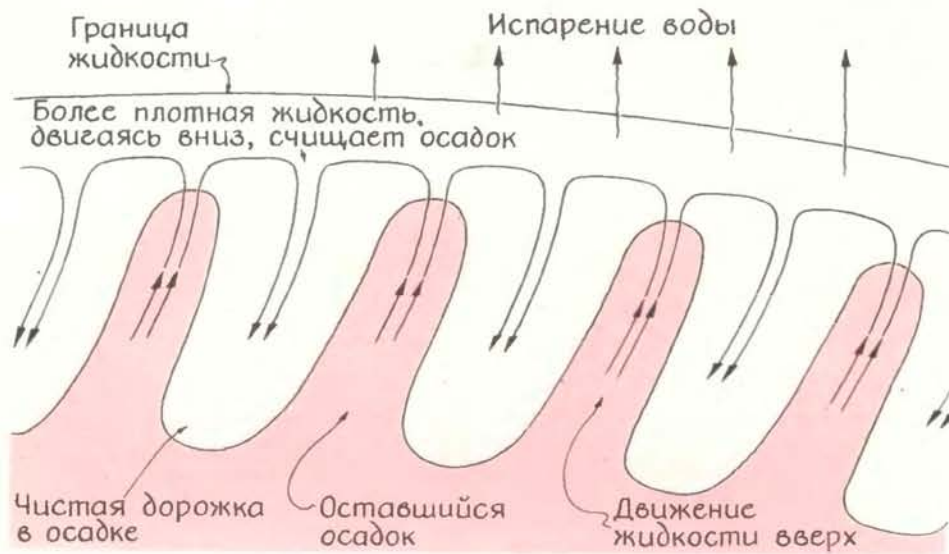
Возможно, образование рисунка на стенках чашки с кофе по-турецки связано с циркулирующей жидкостью у стенок чашки. Циркуляция в жидкости, испаряющейся естественным образом, может быть вызвана двумя причинами. (Естественное испарение происходит без дополнительного источника тепла, способствующего парообразованию.) Этими причинами являются неравномерное поверхностное натяжение и то, что жидкость в верхних слоях становится плотнее, чем в нижних. Циркуляция возникает, когда новые порции жидкости поднимаются со дна сосуда, что приводит к изменению поверхностного натяжения и плотности жидкости в верхних слоях.

В чашке с горячим кофе можно наблюдать циркуляционные ячейки. Горячая жидкость со дна чашки поднимается вверх, где при перемещении вдоль поверхности охлаждается за счет испарения, а затем тонкими изогнутыми струйками устремляется на дно сосуда. Процесс продолжается до тех пор, пока жидкость не остынет настолько, что циркуляция прекращается. Циркуляционные ячейки в горячем кофе не имеют определенной формы и постоянно меняются, однако в некоторых жидкостях они иногда имеют своеобразную форму и выглядят очень красиво.

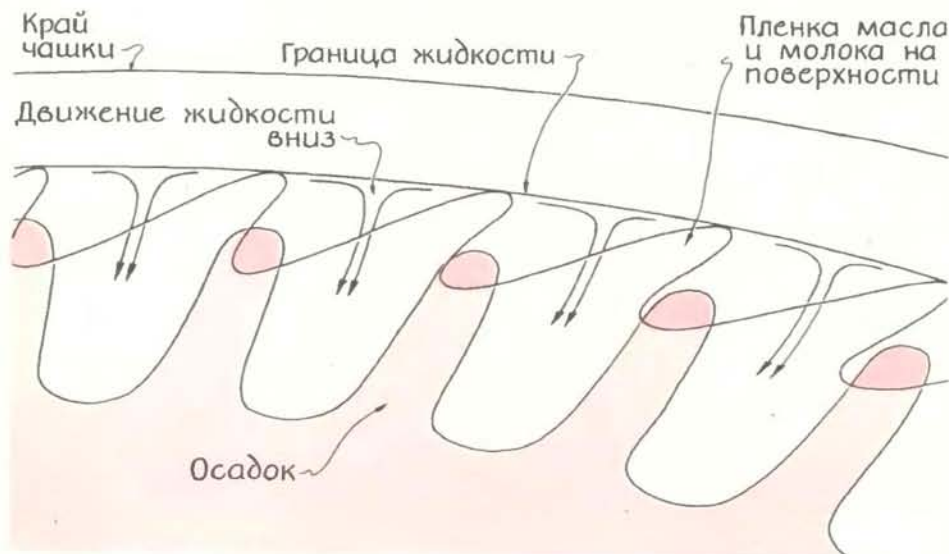
Естественное испарение в жидкостях вызывает перемещение циркуляционных ячеек, так как при испарении жидкость охлаждается и ее плотность и поверхностное натяжение возрастают. При этом либо возросшее поверхностное натяжение вызывает приток новой жидкости со дна сосуда, либо более плотная жидкость устремляется вниз, а на ее место поступает новая. Обычно трудно установить, какой из этих механизмов преобладает.

В 1966 г. были опубликованы результаты исследований Дж. Берга и М. Будара из Калифорнийского университета в Беркли и А. Акривоса из Станфордского университета, согласно которым оба этих механизма действуют лишь в том случае, если жидкость имеет достаточную глубину. Для воды глубина должна составлять не менее 1 см. При меньшей глубине циркуляция жидкости не возникает, при большей можно наблюдать крупные циркуляционные ячейки, подобные ячейкам в горячем кофе.

Берг, Будар и Акривос исследовали



Механизм образования рисунка в кофейной гуще



Образование рисунка в пленке на поверхности жидкости

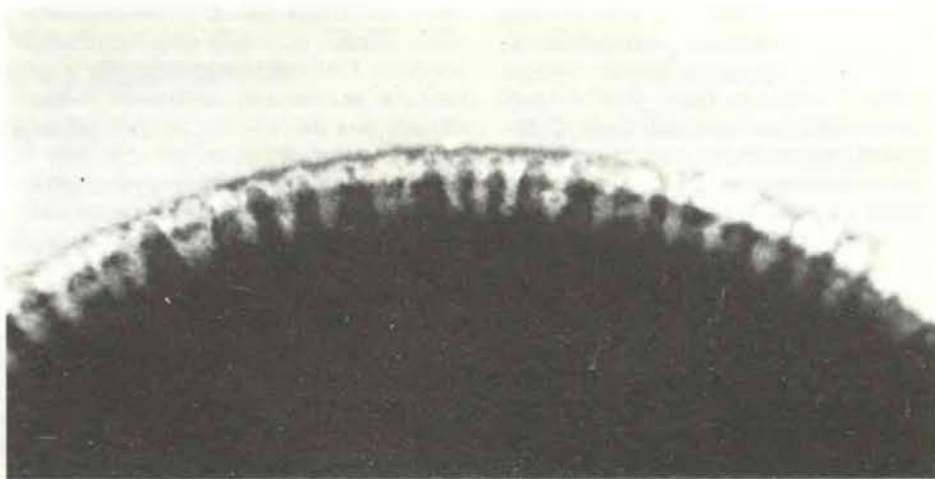
ряд других жидкостей и обнаружили, что в них циркуляция происходит даже при небольшой глубине. Во всех жидкостях, за исключением воды, циркуляция возникала при глубине около 2 мм. Циркуляционные ячейки были двумерны и имели червеобразную форму. При увеличении глубины до 1 см ячейки становились шире, и струйки движущейся вниз жидкости были видны более отчетливо. При глубине 1 см циркуляционные ячейки напоминали ячейки в горячем кофе. При этом трудно было различить, в каких местах жидкость поднималась к поверхности.

Почему вода ведет себя иначе? Мельчайшие посторонние частицы, попавшие из воздуха или даже с одежды экспериментатора, оседая на поверхности воды, образуют монослой (слой толщиной в 1 молекулу) и тем самым препятствуют циркуляции, возникающей при изменении поверхностного натяжения. В таком случае возможна лишь циркуляция за счет изменения плотности жидкости. По-видимому, монослой из посторонних частиц стабилизирует воду, если ее глубина меньше 1 см.

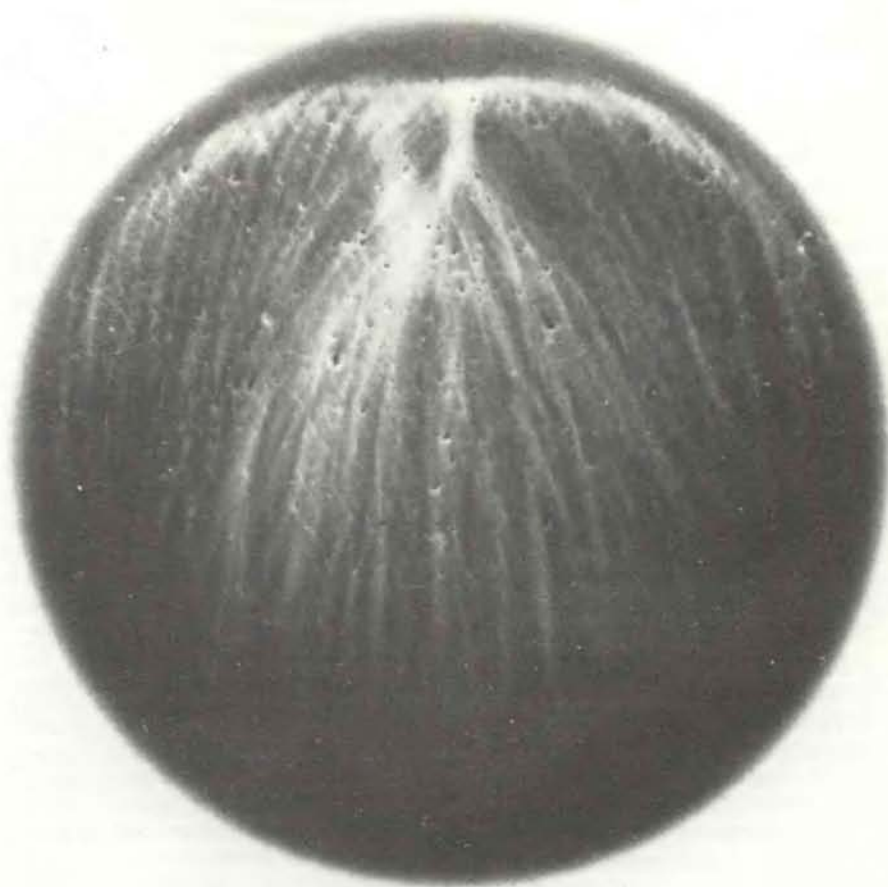
Все это весьма озадачило меня. Ведь если кофе в чашке мало, то в нем при испарении не должно происходить никакой циркуляции. Тем не менее на стенках чашки с кофе появлялся рисунок, форма которого была настолько правильной, что казалось, будто его вывели от руки. Конечно, в кофе кроме воды есть и другие компоненты, такие, как сахар и масло. Более того, чашка с кофе часами стояла на открытом воздухе, и на поверхности жидкости наверняка образовался монослой из посторонних частиц. В некоторых местах я также заметил небольшие пятна масла.

В конце концов мне стали понятны условия образования рисунка. Одно из таких условий — испарение, однако из-за загрязнения поверхности рисунок не может появиться только лишь за счет изменения поверхностного натяжения. Рисунок появляется в кофейном осадке чуть ниже уровня жидкости. В осадке, отложившемся намного ниже уровня жидкости, никакой рисунок не образуется. Наклон стенок сосуда также имеет значение. Он должен быть средним. На вертикальных стенках лабораторного стакана и на пологих стенках часового стекла рисунок появиться не мог.

Посторонние частицы на поверхности кофе несомненно препятствуют естественному испарению воды, однако они не могут уменьшить испарение воды у стенок чашки. При испарении воды у стенок чашки жидкость в этой области становится более плотной за счет увеличения в ней концентрации сахара и масла. Она опускается на дно, прокладывая чистую дорожку в кофейной гуще. На смену этой жидкости



Фотография рисунка в кофейной гуще



Фотография рисунка в чашке с быстрорастворимым кофе с молоком

вверх устремляется новая. Поскольку циркуляция жидкости зависит от испарения, обычно она происходит очень медленно. Часть жидкости может двигаться вверх вдоль дорожки, проложенной в кофейной гуще. Если на поверхности жидкости еще не успел образоваться достаточно толстый слой посторонних частиц, то жидкость может перемещаться и вдоль поверхности.

По мере испарения воды все больше

чистых дорожек образуется в кофейной гуще. Под действием механизма циркуляции дорожки кофейной гущи, перемежающиеся с чистыми участками, тянутся к поверхности жидкости, но рассеянный поток не дает осадку подняться высоко. Образованию рисунка способствует сахар, за счет которого жидкость у стенок чашки при испарении становится тяжелее. Рисунок появляется только на стенках, имеющих средний наклон. Если стенки слишком кру-

тые, движение жидкости вниз не может проложить дорожки в кофейной гуще. Если же они пологие, то глубина жидкости слишком мала, чтобы в ней могла происходить циркуляция. В последнем случае слой загрязняющих веществ находится в непосредственной близости от осадка, поэтому постоянное движение жидкости невозможно. Кроме того, более тяжелая жидкость опускается у стенки слишком медленно, чтобы вызвать образование на ней рисунка.

Я проделал последний опыт, добавив чайную ложку молока в кофе турецки. На поверхности жидкости образовалась пленка из масла, которое содержалось как в молоке, так и в кофе. По мере того как в кофейной гуще появлялся знакомый рисунок, соответствующий ему рисунок стал появляться и в пленке на поверхности жидкости. Над дорожками из кофейной гущи была масляная пленка, доходящая до стенок чашки. Над чистыми же дорожками в кофейной гуще масляной пленки не было. Такая картина полностью соответствует механизму циркуляции вдоль стенок чашки, о котором я говорил ранее.

Правильность сделанных мною выводов подтверждает еще одно наблюдение. Как-то я оставил в чашке недопитый быстрорастворимый кофе с молоком. Наутро я увидел на поверхности жидкости рисунок из белых линий. Другой рисунок из радиальных линий был на поверхности жидкости, оставшейся в ложке, которой я мешал кофе. Глубина жидкости в этом случае, по-видимому, роли не играла: в чашке она составляла около сантиметра, а в ложке — всего несколько миллиметров.

Для изучения подобных рисунков я приготовил кофе с молоком и налил его в несколько часовых стекол и одну металлическую ложку. Поверхность жидкости в одном из стекол я посыпал ликоподием. С помощью лупы и фонарика я в течение 10 часов время от времени обследовал содержимое стекол и ложки. Через несколько часов испарения появились отчетливо различимые рисунки из белых линий, однако никакого движения частиц ликоподия заметно не было. В одном часовом стекле рисунок напоминал сеть жилок у листа растения. В другом он был образован параллельными линиями, пересекающими поверхность. Поверхность жидкости в третьем часовом стекле казалась вздутой за счет белых линий, которые, подобно лучам, расходились из одной точки. Если я кончиком ложки осторожно нарушал один из этих рисунков, он появлялся вновь примерно через час.

В часовом стекле у стенок появился мелкий рисунок. Линии толщиной в волос, образованные высохшим

молоком, были почти перпендикулярны стенкам. В ложке был подобный рисунок. Однако, когда глубина жидкости в результате испарения уменьшилась до 1 мм, рисунок в ложке исчез. Иногда радиальные линии рисунка в ложке становились более четкими и расстояния между ними увеличивались. По-видимому, присутствие кофе в смеси совсем не обязательно, но с его помощью легче проводить наблюдения. Если налить немного молока в часовое стекло, то в нем появится подобный рисунок.

Я считаю, что оба типа рисунков связаны с действием механизма циркуляции при испарении. Крупный рисунок на стенках чашки с кофе напоминает червеобразные ячейки. Когда струи жидкости протекают вдоль поверхности, а затем опускаются на дно, частицы молока скапливаются над линиями их спуска. Затвердевая в том месте, они указывают, где жидкость спускалась

вниз. Кроме того, эти частицы как бы фиксируют положение циркуляционных ячеек, делая рисунок более устойчивым по сравнению с рисунком в горячем кофе. На характер циркуляционных ячеек, по-видимому, также влияет циркуляция воздуха над поверхностью жидкости. Если чашку кофе с молоком оставить у открытого окна, то холодный воздух вызовет появление в ней точно такого же «молочного» рисунка.

Мелкий рисунок у стенок часового стекла напоминал рисунок в кофейной гуще и, возможно, образовался в результате действия одного и того же механизма циркуляции. Белые линии стабилизировали циркуляцию жидкости. По мере испарения воды эти линии застыли на стекле. После того как кофе полностью испарился, на поверхности часового стекла можно было видеть красивый рисунок из радиальных линий.

Издательство МИР предлагает:

М. Дж. Адамс ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ

Перевод с английского

Монография учебного характера содержит вводный курс в теорию оптических волноводов, применяемых в волоконно-оптических линиях связи и интегральной оптике. Излагается теория волноводов с проводящими границами и диэлектрических волноводов различных конфигураций. Большое внимание уделяется градиентным световодам и приближенным методам расчета полей в них. Эффективность изложенных теоретических методов иллюстрируется на таких примерах, как гетероструктурные лазеры с полосковой геометрией, различные волноводные структуры для интегральной оптики, полые диэлектрические резонаторы для волноводных лазеров, дисперсия в одномодовых и многомодовых волокнах и т.д.

Для научных работников, инженеров, аспирантов и студентов, специализирующихся в области квантовой электроники и оптической связи.

1984, 34 л. Цена 2 р. 90 к.

А. Лихтенберг, М. А. Либерман РЕГУЛЯРНАЯ СТОХАСТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА

Перевод с английского

Обширная монография известных американских физиков, профессоров Калифорнийского университета (Беркли) посвящена новой быстро развивающейся области исследований, пограничной между нелинейной механикой и статистической физикой. Основное внимание уделено выяснению физической сущности и механизма открытого сравнительно недавно феномена динамической стохастичности, т.е. случайного движения полностью детерминированных систем классической механики. Рассмотрены многочисленные примеры и приложения. Приведены практические методы расчета стохастических процессов.

Для специалистов — механиков, физиков, инженеров и, отчасти химиков и биологов, а также студентов старших курсов и аспирантов соответствующих специальностей.

1984, 30 л. Цена 4 р. 80 к.



Книги

Преобразование изображений
в цифровую форму;
эволюция неорганических структур
и происхождение жизни; современные
представления о строении
органов чувств человека

ФИЛИП MORRISON

Вильям Б. Грин. ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД DIGITAL IMAGE PROCESSING: A SYSTEMS APPROACH, by William B. Green. Van Nostrand Reinhold Company Inc. (\$34.50)

ИЗВЕСТНО, что изображение может быть преобразовано в цифровую форму. Такое преобразование изображения и его цифровая обработка возможны с помощью специальных систем, о которых и рассказывается в этой книге. Материал книги изложен в форме, доступной широкому читателю; автор лишь изредка прибегает к языку формул.

Изображение служило своего рода «исходным материалом» сначала для художников, затем для картографов и фотографов, а в настоящее время также и для специалистов в области вычислительной техники. Человеческий мозг постоянно, хотя и незаметно для нас, осуществляет обработку видимого нами изображения, однако механизм зрительного восприятия стал более понятен нам лишь с появлением ЭВМ и систем цифровой обработки изображения.

На одной из страниц книги помещены два изображения серпа Марса, полученные с помощью передающих телевизионных камер, установленных на борту космического аппарата Viking Orbiter 2. Построение этих изображений производилось с помощью ЭВМ. По мере приближения космического аппарата к планете, через определенные промежутки времени были получены три последовательных ее изображения, отличающиеся ракурсом и размерами деталей. Производные изображения строились с точностью почти до одного элемента изображения, т.е. с точностью, близкой к максимально возможной. Несколько мелких характерных деталей, присутствующих на всех изображениях, выбиралось в качестве опорных точек, затем вычислялась статистическая корреляция между изображениями в числовой форме для

каждого пробного согласования особенностей в окрестности характерной детали. После этого устанавливалась наиболее точная корреляция. Повторяя процедуру для нескольких точек привязки, можно численно найти преобразование, позволяющее регистрировать различные изображения с точностью, иногда достигающей менее одного пиксела*.

Каждое из трех полученных изображений отличалось по цвету от остальных, поскольку съемка производилась через фильтры различного цвета. Для устранения искажений, вносимых камерой, последняя предварительно калибровалась по однородному полю яркости при различных интенсивностях. В каждое изображение затем были введены поправки для получения набора из трех одноцветных изображений. Наконец, на их основе были получены красное, зеленое и синее изображения с полосами частот, необходимыми для воспроизведения цветного фильма.

До сих пор речь шла о построении изображения. Посмотрим теперь, как удалось получить близкое к реальному цветное изображение планеты. Передача изображений осуществлялась с помощью видиконной камеры, преобразующей одно изображение в набор почти из миллиона чисел, каждое из которых представляется 8-разрядным числом в двоичном коде (что соответствует градациям яркости от 1 до 256). Компьютер выполняет «перепись» пикселей, классифицируя их в зависимости от значения интенсивности. Результаты «переписи» для каждого из трех цветов графически воспроизводятся с края изображения. Это так называемые гистограммы изображений, весьма облегчающие дальнейшие действия, основанные на теории построения цветного изображения с использованием трех основных цветов. Три значения интенсивности, относящиеся к

* Пиксел — дискретный элемент изображения, соответствующий максимально возможному разрешению. — *Прим. перев.*

красному, зеленому и синему цветам, для каждого пиксела определяют вектор в «трехмерном пространстве цвета», а также суммарную интенсивность.

Пространство цвета может быть представлено и в других переменных: в качестве первой координаты можно взять число, обозначающее интенсивность цвета, в качестве второй — цветовой тон и в качестве третьей — насыщенность, увеличивающуюся с расстоянием от «белой» точки. Эти три величины вычисляются для каждого пиксела, а затем снова проводится статистический подсчет. Если распределение интенсивностей «растянуть» в соответствии с простым линейным законом, то широтный диапазон реализуется полностью. Распределения по тону и насыщенности при этом остаются неизменными.

В результате было получено «самое близкое к реальному цветное изображение планеты, какое только можно получить с помощью данной системы». Кажется, что бежевый диск Марса оживлен кистью художника красными и зелеными тонами, хотя, разумеется, художник здесь ни при чем. Автор «картины» — вычислительная машина. Диапазон изменения по тону увеличен в 7 раз, а по насыщенности в 3 раза при средних значениях, остающихся неизменными.

В отличие от большинства книг, относящихся к этой области, в которых основное внимание уделяется вопросам разработки оптимальных алгоритмов цифровой обработки изображения, в книге В. Грина дается подробное описание систем, в которых эти алгоритмы реализуются. Автор объясняет читателю назначение каждой операции и описывает последовательность их выполнения, приводит блок-схемы систем обработки изображения, останавливается на достоинствах и недостатках этих систем. В книге также рассказывается о множестве применений устройств цифровой обработки изображений, о разработке новых дисплеев, а также файлов для хранения изображений в цифровой форме. Для поиска в файлах необходимого изображения, цифровая форма которого так непохожа на оригинал, необходимо применение специальных регистрационных форм — своего рода «досье» на каждое изображение.

В книге описывается ряд других приемов получения высококачественного цветного изображения, например увеличение диапазона контрастности и перемена цветов, достаточно широко освещавшиеся, в частности, на страницах журнала Scientific American. Рассказывается также о новых методах построения тематических карт, на которых, например, различные области обозначаются определенным цветом, а каж-

дый пиксел кодируется цветом в соответствии с его положением в цветовом пространстве. В результате получается карта с цветным обозначением различных областей, которая гораздо нагляднее обычных карт, полученных фотометодами. Мы понимаем, что карта — это условное изображение, построенное по определенным правилам. Однако нам по-прежнему кажется невероятным, что любое изображение также является условным.

Автор приводит не только ссылки на множество книг и научных журналов, но также и ссылки, указывающие, когда и кем были получены помещенные в книге изображения Земли и других планет. В качестве источника использовалось и описание программного обеспечения для цифровой обработки изображений, называемого COSMIC, которое разработано в Университете шт. Джорджия под руководством НАСА. В. Грину, крупному специалисту в данной области, «посчастливилось» работать в течение десяти лет в лаборатории Jet Propulsion Laboratory, располагающей наиболее совершенным оборудованием для обработки изображений».

А. Дж. Кернс-Смит. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ ИЗ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СТРУКТУР GENETIC TAKEOVER AND THE MINERAL ORIGINS OF LIFE, by A. G. Cairns-Smith. Cambridge University Press (\$29.95)

БЫЛО ВРЕМЯ, когда казалось невозможным объяснить происхождение самореплицирующихся систем. Нетрудно вообразить себе машину, которая может создать простое устройство, например ножницы. Для того чтобы сконструировать более совершенный механизм, машина должна быть устроена сложнее, чем то, что она создает. По такой логике машина, способная создать саму себя, невозможна.

В 1948 г. Дж. фон Нейман блестяще опроверг это пессимистическое утверждение. Суть его доводов заключается в следующем. Можно представить себе машину, способную правильно собрать механизм, взяв некоторое определенное число деталей из большого их набора. Сама машина сложнее, но состоит из таких же деталей. Машина работает, подчиняясь последовательно записанным на ленте инструкциям — «командам». Назовем ее универсальной оперирующей машиной, и пусть возможны различные ее варианты. Теперь закодируем на ленте информацию для создания самой оперирующей машины-автомата. Тогда машина и кодирующая лента смогут самовоспроизводиться. Запись на ленте будет содержать всю сложнейшую программу и получится весьма длинной, но маши-

на достигнет предела собственной сложности, как только станет способной выполнять произвольную последовательность записанных команд. Единственное, что от нее требуется, — это работать достаточно долго.

Нам теперь понятен глубокий смысл логического примера Неймана. Он описывает жизнь. Что такое живая клетка, как не машина-автомат, работа которой закодирована информацией в ленте ДНК? Все в клетке состоит из довольно простых мономеров, соединенных в длинные последовательности, которые сами складываются в структурные и функциональные элементы жизненных процессов. Репликация ДНК происходит точно так же, как и воспроизведение информационной ленты в примере Неймана: лента создает себе подобную, и новая машина-автомат возникает из предыдущей, «прочитывая» закодированную наследственную информацию.

Одна из самых острых проблем молекулярной биологии — происхождение самореплицирующихся систем. Вопрос пока что остается открытым. Несомненно, исходно должна была существовать какая-то короткая первичная информационная последовательность, которая создала первую оперирующую машину-автомат и следующий участок последовательности. Как раз здесь и лежит основная трудность. Логика Неймана предполагает, что функции между ДНК и белками разделены. Как же произошло объединение этих структур? Система генетического кода и адапторных РНК хороша в уже сложившемся единстве белка и нуклеиновой кислоты, однако маловероятно, что с них все и началось.

Предлагаемая читателю новая книга развивает идею, впервые высказанную ее автором, химиком из Глазго, еще в 1966 г. Хотя в книге (которая, как отмечается в предисловии, будет интересна для тех, кто читает, например, "Scientific American") и не упоминается рассуждение Неймана, она успешно развивает и дополняет его. Универсальная оперирующая машина-автомат — это хорошая модель, которая позволяет проследить эволюцию удивительно разнообразных форм жизни на Земле. Конечно, нельзя считать, что все это многообразие имело с самого начала. Достаточно предположить, что существовал некий примитивный самореплиikator, удовлетворяющий схеме Неймана, с постоянно совершенствующимися инструкциями, в которых было заложено разделение функций между химически различными элементами. Вначале же и план и орудия его исполнения могли быть, так сказать, из одного теста.

Первичные организмы, вероятно, были устроены очень примитивно. У современных живых существ наследст-

венная информация закодирована в молекулах ДНК, состоящих из сотен атомов, ДНК уложена в клетках очень компактно. На начальных этапах эволюции такая «миниатюризация» была, наверное, существенно менее развита. Органические мономеры, свойственные живой материи, за пределами биосферы не обнаружены. Первоначально роль материальных носителей информации для репликации могли сыграть структуры неорганической природы. ДНК современных организмов одномерна, но информация могла запасаться и в двумерной системе, например в виде дефекта, распространяющегося по слою в кристалле и способного к самовоспроизведению, пусть и неточному.

Эти идеи Кернс-Смит излагает в первых главах книги. В увлекательной и доступной форме он дает определения основным понятиям, обсуждает общие вопросы. Автор признается в том, что многие его коллеги критически относятся к его гипотезам, которым, по их мнению, свойственны характерные черты всех плохих теорий — они интригуют и понятны неспециалистам. Около половины книги посвящено малоизвестным сведениям о природе глины, о микрокристаллических материалах, которые образуются при выветривании горных пород в присутствии воды. Иллюстрации в этой части книги не менее познавательны, чем текст: сложные волокнистые структуры многослойных микрокристаллов силикатов дают новое представление о росте кристаллов. Автор подчеркивает, что дефекты структуры и даже случайные сцепления мелких кристаллов очень существенны, так как создают условия для преимущественного роста кристалла в таких местах. Представьте себе, что какие-то особые глины «поднимаются вверх по течению и откладывают икру» — звучит странно, но не так уж абсурдно. Допустим, для роста некоторой формы кристаллов в трещине увлажненного песчаника сложились особенно благоприятные условия. Выросшие кристаллы образовывали хлопья и с током воды перемещались, как семена. В новом месте условия для их роста могли быть хуже. Если, например, хлопья глины образуются при понижении концентрации ионов натрия, то эти формы «произрастали» бы в соленых местах, а «путешествовали» там, где вода более пресная. Если при этом такие структуры были способны к самовоспроизведению, то получался естественный отбор на уровне коллоидов.

Изобретательные гипотезы автора о том, как сворачивание, соединение и контакт поверхностей могли привести к образованию характерной наследуемой поверхности у микрокристаллов, завершаются описанием истинно революционных процессов. Атомы угле-

рода «одерживают верх», отрываются от силикатного субстрата и становятся основой образующихся клеток. Эта часть книги еще более спорна; здесь необходимы конкретные биохимические данные (однако кое-какие наблюдения подтверждают наблюдения автора: например, известно, что мембраны клетки гораздо устойчивее, когда они связаны со слоем глины, а не с флотирующей петлей ДНК).

Многое в этой смелой книге вызывает желание поспорить. Собственно, она бросает вызов экспериментаторам: ведь, чтобы ответить на поставленные автором вопросы, надо искусственно создать простейшие первичные живые организмы. Сделать это пока не удалось, однако стоит ожидать успеха: первые указания на воспроизведение поверхности глин, пожалуй, уже есть. Вспомним, как много лет назад была показана репликация ДНК в пробирке. Впрочем, здесь можно усмотреть и предостережение: перед нами не любопытная головоломка, а проблема потруднее загадок сфинкса.

ОРГАНЫ ЧУВСТВ. Под редакцией Г. Б. Барлоу и Дж. Д. Моллона THE SENSES, edited by H. B. Barlow and J. D. Mollon. Cambridge University Press (\$59.50)

ОРГАНЫ ЧУВСТВ человека сравнивают с физическими приборами давно. С этой аналогии и начинается книга. Написана она сжато, на самом современном уровне. Но одно дело проводить параллель между органами чувств и камерой-обскурой, как это делали философы семнадцатого столетия, и совсем другое — сравнивать их с современным цифровым компьютером, располагающим системой ввода изображения. Во многих главах книги говорится о синтезе Фурье и отношении сигнал-шум, но в основном на языке графиков, без привлечения сложного математического аппарата. В этом контексте особый интерес представляет следующий эксперимент. Гистограмма показывает число нервных импульсов, зарегистрированных в синапсах спинного мозга, но возникших в одном из рецепторов кожи. Даже в отсутствие внешнего раздражителя в нервном волокне возникали импульсы — в среднем около 60 импульсов в секунду. При относительно слабом раздражении частота сигналов удваивалась. В обоих случаях флуктуации частоты были примерно одинаковы и того же порядка: ± 30 импульсов в секунду. Таким образом, во втором случае не только вдвое усилился сам сигнал, но и в два раза увеличилось отношение сигнал-шум. Частота появления ошибки при наличии раздражителя составляет в среднем 1 на 6 импульсов; чтобы

обнаружить воздействие с вероятностью ошибки 1%, необходим в два раза более мощный сигнал. Такого типа эксперимент можно назвать нейроинженерией.

В другом эксперименте была зарегистрирована реакция на одиночные фотоны в палочке сетчатки жабы (у жабы палочки примерно в 10 раз крупнее, чем у млекопитающих). Регистрировались электрические токи, возникшие вследствие поглощения света родопсином. Свет подавали 40 раз слабыми вспышками. Во время вспышки, за исключением отдельных случаев, в клетке наблюдалась ответная реакция. Поскольку процессы можно считать однофотонными, к ним применима статистика Пуассона. Колбочки сетчатки человека, которые различают цвета, менее чувствительны, чем не реагирующие на цвет палочки; чтобы в них возник ток, превышающий фоновый шум, они должны поглотить относительно много фотонов. Кроме того, спектр чувствительности колбочек смещен примерно на 10% в «красную» сторону по сравнению с палочками. Не исключено (правда, никаких доказательств тому нет), что небольшая чувствительность колбочек — приспособление к высокому уровню теплового шума в них, который обусловлен низким энергетическим барьером. Таким образом, палочки позволяют различать объекты, слабо освещенные, а колбочки — подробно рассматривать хорошо освещенные.

Глаз — классическая оптическая система. **Необходимость коррекции** его линзы, т.е. хрусталика, чаще всего служит поводом для обращения к окулисту. В книге приводится оптическая схема глаза и дается характеристика его разрешающей способности. Ширина изображения яркой линии ненамного превышает минимально возможное значение, вычисленное с учетом дифракции для данных размеров зрачка и длины световой волны. Глаз — это комбинация чувствительной, медленно реагирующей монохроматической системы с длинной выдержкой (палочки) и менее чувствительной, но быстро реагирующей **цветной системы с короткой выдержкой** (колбочки); обе системы автоматически приспособляются к изменению уровня освещенности. Однако глаз не просто фотоаппарат, пусть даже с особой, так сказать двухслойной пленкой. Глаз постоянно сканирует видимое. Центральная ямка желтого пятна обеспечивает в пять раз лучшее разрешение, чем периферия сетчатки, однако лишь в центральном секторе поля зрения с угловыми размерами всего в несколько градусов. Мы успеваем рассмотреть все, что находится в поле зрения, меняя «настройку» глаза каждую пятую долю секунды, даже не

осознавая, что глаз постоянно движется, и не испытывая неудобств от такой фрагментарности зрительного восприятия.

Все это, равно как и стереоскопичность зрения, способность различать детали и границы, а также восприятие цветов, не зависящее от изменений естественного освещения, осуществляется благодаря деятельности высших отделов нервной системы. Многие аспекты восприятия реализуются на уровне сетчатки, однако наиболее сложные невозможны без участия коры головного мозга. В нас постоянно работает компьютер; собственно, его исследование началось только тогда, когда само понятие «компьютер» применительно к биологическому объекту вошло в жизнь, т.е. совсем недавно.

Около половины этой великолепной книги посвящено зрению. Примерно четвертая часть — слуху. Давно известные факты здесь соседствуют с результатами новейших исследований. Авторы не дают определенного ответа на вопрос о возможном существовании системы обратной связи в улитке внутреннего уха, хотя их внимание и привлекла неожиданно «острая настройка» этой системы. В последнем разделе обсуждаются самые новые данные по таким вопросам, как чувствительность кожи и внутренних органов, вестибулярный аппарат внутреннего уха, обонятельные и вкусовые рецепторы. Эксперименты показывают, что существует нисходящий управляющий путь от мозга вдоль тех же путей, по которым обычно в центральную нервную систему передаются сигналы боли. Биохимические методы позволяют идентифицировать специфические медиаторы и антагонисты, участвующие в работе этой сложной системы тревоги.

Лет десять назад было обнаружено, что у человека, выпившего тяжелой воды, возникает головокружение. Это объясняют тем, что увеличивается плотность жидкости, заполняющей полукружные каналы.

Возможно, сходное действие алкоголя связано как раз с уменьшением плотности жидкости в полукружных каналах. Такое объяснение может показаться слишком простым, но ведь сложный эффект в данном случае имеет довольно простое вещество — этиловый спирт.

В наше время для исследования органов чувств все чаще используют осциллографы и генераторы электрических импульсов. Проблемы врожденного и приобретенного, восприятия и познания почти в такой же мере принадлежат кибернетике, как и биологии. Словом, тематика этой весьма актуальной и охватывающей широкий круг вопросов книги выходит далеко за рамки медицины.

Издательство
МИР
предлагает:

М. Ногради
СТЕРЕОХИМИЯ

Перевод с английского

Книга состоит из трех глав, посвященных соответственно статической, динамической и прикладной стереохимии. В гл. 1 рассматривается строение стереоизомерных органических и элементоорганических соединений на основе принципов молекулярной симметрии и хиральности. В гл. 2 на большом числе примеров разбираются основные закономерности динамической стереохимии. В гл. 3 рассматриваются различные практические приложения принципов стереоселективности и стереоконтроля для понимания разнообразных химических превращений.

Книга полезна для самых разных категорий читателей. Студенты химических специальностей найдут для себя в ней новые теоретические подходы и новые примеры из области практической стереохимии, дополняющие основной курс преподавания этой науки. Научные сотрудники всех химических профилей смогут с ее помощью существенно повысить свою теоретическую подготовку и создать полное представление о реальных возможностях стереохимических подходов и методов для решения целого ряда актуальных научных задач. Специалисты по физическим методам исследования смогут по этой книге ознакомиться со многими актуальными научными направлениями, в развитие которых важный вклад может внести использование современных приборов и новых методик эксперимента. И наконец, научные сотрудники, для которых стереохимия является основной специальностью, смогут воспользоваться этой книгой как удобным современным справочником, содержащим интереснейшие сведения из ряда зарубежных обзоров, монографий и периодических изданий.

1984, 22 л. Цена 3 р. 60 к.



**SCIENTIFIC
AMERICAN**

МАЙ 1933 г. Единица объема воды, как считается с давних пор, имеет определенный вес. Однако сотрудник Национального бюро стандартов Е. Вашбёрн наглядно доказал, что вода может быть такой тяжелой, какой вы ее делаете. Два сосуда с чистой водой равного объема взвешивали на чувствительных весах. Во всех случаях вода д-ра Вашбёрна весила больше. Это явление объясняется тем, что тяжелую воду получили из тяжелого водорода, или, говоря языком химиков, из изотопа водорода, атомная масса которого вдвое выше, чем у обычного водорода. В природе один атом такого изотопа приходится на 30 000 атомов водорода. Если через воду пропустить электрический ток, она разлагается на водород и кислород. Выделяющийся при этом водород по сравнению с обычным содержит большее количество атомов нормального, более легкого водорода. Когда этот легкий водород сгорает, образуется вода с меньшим удельным весом. По мере продолжения процесса электролиза количество тяжелого водорода в воде, остающейся в электролитической ванне, будет увеличиваться. Таким образом и была получена вода, в которой на 1000 частей приходится одна часть с большим удельным весом.

Весной, когда на вечернем небе нет ни луны, ни облаков и сгущаются сумерки, небо на западе в одном месте всегда ярче. От той точки, куда заходит солнце, вверх поднимается сужающийся клином слабый свет. Этот «зодиакальный свет» был известен людям еще в древние времена. Если небо чистое, этот вечерний свет можно видеть достаточно долго, пока на востоке не появится такой же утренний светящийся клин и они не сольются воедино, образуя «зодиакальную полосу». В области, противоположной солнцу, на зодиакальный свет накладывается противосияние, образуя область более яркого свечения. Яркость этого свечения почти никто не измерял. Этот пробел в наших познаниях был недавно восполнен С. Т. Эли из Йеркской астрономической обсерватории, который применил для этих целей очень чувствительный фотоэлектрический фотометр. Суммарная яркость противосияния оказалась удивительно большой. Среднее значение яркости противосияния по результатам измерения в течение трех ночей оказалось равным яркости свечения звезды Арктур. Только

потому, что свет этот представляет собой малоконтрастное диффузное пятно без четких границ, его трудно наблюдать на ночном небе. Объяснить явление противосияния, зодиакальной полосы и зодиакального света можно довольно просто, если допустить наличие околосолнечного пылевого облака, имеющего форму линзы и выходящего за пределы земной орбиты, но не очень далеко.

По поводу полета Линдберга в Японию некоторые газеты писали, что его путь в эту страну с Западного побережья не был кратчайшим. Маршрут пролегал через Канаду, Аляску и Алеутские острова. И все же Линдберг выбрал правильный путь. Наши представления о расстояниях часто основаны на географических картах, истинные относительные удаленности на которых искажены. Если посмотреть на земной шар сверху, со стороны Северного полюса, видно, что кратчайший путь из Соединенных Штатов в Китай лежит через Арктику. Самый короткий путь из Сан-Франциско в Англию вовсе не через Нью-Йорк и Северную Атлантику, а через Канаду, Гренландию, Исландию и Фарерские острова. Наши представления о кратчайших путях на другие континенты следует пересмотреть. Когда Соединенные Штаты налаживают регулярные авиарейсы в Китай, Японию, Сибирь и Европу, очень может быть, что эти авиатрассы пройдут вблизи Северного полюса. Человечество никогда не отступало перед трудностями, если цель оправдывала средства. Создатели самолетов, изобретатели, летчики и штурманы в конце концов сумеют подчинить себе просторы дикого севера и поставить их на службу воздушному флоту.

SCIENTIFIC AMERICAN

ИЮНЬ 1883 г. Сжижение кислорода и азота, а также замораживание спирта и сероуглерода — последние достижения химической науки. Сообщение об этих новых успехах мы получили из Польши, из лаборатории М. Вроблевского в Кракове. С помощью сжиженного этилена М. Вроблевский и К. Олжевский получили исключительно низкую температуру: -136°C ($-212,8^{\circ}\text{F}$). Газообразный кислород охлаждали почти до этой температуры под давлением около 25 атмосфер, или 375 фунтов на квадратный дюйм. При этих условиях газ в стеклянных колбах быстро превращался в бесцветную, прозрачную жидкость, обладающую большой текучестью и похожую на

углекислоту. Азот при сжижении также превращался в бесцветную жидкость. Спирт при температуре $-130,5^{\circ}\text{C}$ ($-202,9^{\circ}\text{F}$) становился твердым и белым. Сероуглерод становился твердым при температуре около -116°C ($-176,8^{\circ}\text{F}$). Трудности, с которыми раньше приходилось сталкиваться при попытке получить жидкий кислород и азот, были связаны с достижением достаточно низких температур при одновременном сжатии газов. Теперь, по-видимому, эта трудность преодолена и можно ожидать, что вскоре появятся новые данные о природе газообразных веществ.

По решению английского парламента у северного окончания Нортумберленд-авеню в Лондоне напротив Гранд-отеля будет проложена подземная электрическая железная дорога. Она пройдет под этой улицей, под набережной Виктории, по туннелю под Темзой, оттуда вдоль Колледж-стрит и Вайн-стрит до вокзала Ватерлоо. Там она соединится со станциями железной дороги Лондон — Юго-Запад. От станции Йорк-Роуд к вокзалу Ватерлоо будет построена дополнительная ветка. Эту двойную линию будет обслуживать постоянный поезд от Ватерлоо. Движение будет односторонним, причем поезда будут отправляться без задержки по мере наполнения, как на автобусных остановках. Дорога от Йорк-Роуд до вокзала Ватерлоо займет около трех с половиной минут. С фирмой Siemens Brothers заключен контракт на сооружение электроподстанции, а также соглашение о завершении в течение полутора лет постоянной трассы для этой электродороги.

Существует несколько видов торпед. Военно-морской флот Франции в основном вооружен так называемыми подводными торпедами (*torpille portée*). Они названы так потому, что торпедные катера буквально подводят их под борта вражеских кораблей. В такой торпедке имеется отсек, вмещающий около 20 кг пироксилина и расположенный в самой передней части железного снаряда длиной 12 м. Снаряд выступает вниз под носом торпедного катера. Взрывчатое вещество воспламеняется электрической искрой при помощи специального аппарата в отсеке для наблюдателя. Столб воды, образуемый взрывом, иногда полностью покрывает торпедный катер, и он мог бы сам затонуть, если бы не был герметичным. Поэтому атаковать какой-нибудь броненосец — операция весьма опасная, ее могут выполнить только хладнокровные, храбрые и опытные люди.

В наш век, как никогда прежде, большое внимание уделяется правам чело-

века. Во всех конституциях и законодательствах отражено благородное стремление защитить слабых от возможных посягательств сильных. Что касается душевнобольных, то сама их слабость стоит на их защите. Закон дает каждому право до судебного разбирательства пройти медицинское обследование, решающее вопрос о вменяемости человека. Если обвиняемый душевнобольной, его помещают не в тюрьму, а в психиатрическую лечебницу и устанавливают над ним опеку. Обследование должно быть непредвзятым и тщательным, чтобы с его помощью можно было раскрыть приро-

ду заболевания и определить способы лечения. Необходимое условие — компетентность и опытность экспертов. Душевнобольным должно быть обеспечено право на специальное обучение, чтобы они могли трудиться в меру своих возможностей. Преподавателей для этой цели следует готовить в медицинских учебных заведениях. Как нам кажется, медицинский колледж вообще не может иметь официального статуса, если в нем нет кафедры психиатрии. Врач — это друг больного; этим и должны руководствоваться все, кто имеет отношение к психиатрии и к медицинской профессии в целом.

Издательство МИР предлагает:

К. Бургер СОЛЬВАТАЦИЯ, ИОННЫЕ РЕАКЦИИ И КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ В НЕВОДНЫХ СРЕДАХ.

Перевод с английского

Книга известного венгерского ученого К. Бургера, неоднократно издававшегося в нашей стране, позволяет читателю ориентироваться в обширной литературе по катализу органических реакций, протекающих под влиянием металлов в неводных средах.

Содержание: Введение. Общая характеристика растворителя. Взаимодействие растворитель — растворенное вещество. Донорно-акцепторное взаимодействие. Донорная и акцепторная способности растворителя. Экспериментальные методы, используемые при изучении неводных растворов сложных систем. Влияние растворителя на структуру и устойчивость металлокомплексов в растворах. Влияние растворителя на кинетику и механизм реакции координации. Взаимодействия в смесях растворителей и их исследование. Общие положения при описании неводных систем. Перспективы области.

Для научных работников — специалистов в области катализа, аналитической химии, неорганической химии.

1984, 22 л. Цена 3 р. 60 к.

Л. Герфорт, Х. Кох ПРАКТИКУМ ПО РАДИОХИМИИ И РАДИОАКТИВНОСТИ

Перевод с немецкого

Лабораторное руководство, написанное известными специалистами в области радиоактивности, ведущими также большую преподавательскую работу. В книге не только ставятся и решаются задачи обучения, но и на многочисленных примерах демонстрируются возможности и преимущества использования радиоизотопных методов в различных областях знания.

Книга представляет собой совершенно новое и оригинальное издание, сохранившее от «Практикума по радиохимии» тех же авторов (М.: ИЛ, 1963) его достоинства — логичность построения и изложения, типичность материала. В книге отражены успехи мировой, в том числе и советской науки в развитии научных основ радиоактивности, измерительной техники и радиохимии.

Для преподавателей, аспирантов и студентов химических вузов. Ряд разделов, связанных с новыми методиками и аппаратурой, будет полезен для специалистов, работающих в области атомной энергетики, охраны окружающей среды и других отраслях народного хозяйства.

1984, 36 л. Цена 2 р. 20 к.



Наука и общество

Новая программа научных исследований для сельского хозяйства

САМАЯ большая программа научных исследований для сельского хозяйства в США осуществляется министерством сельского хозяйства. Часть работ по этой программе выполняется научными сотрудниками министерства, другая часть — сторонними организациями на средства министерства. Наибольший объем научных исследований, проводимых министерством, выполняет Управление научных исследований для сельского хозяйства Agricultural Research Service (ARS), ежегодно расходуемое на эти цели более 400 млн. долл. В последнее время деятельность ARS стала предметом резкой критики как со стороны федерального правительства, так и неправительственных организаций. В ответ на критику ARS выдвинуло новую программу работ, которая предусматривает существенное расширение масштабов фундаментальных исследований, особенно в тех областях, которые связаны с достижениями в биологии. В то же время программа планирует снижение объемов работ, направленных на повышение урожайности растений и продуктивности животных — области, в которой ARS в течение долгого времени проводило самые интенсивные исследования.

Некоторые из наиболее острых критических замечаний были высказаны в адрес ARS на конференции в г. Уинроке (шт. Арканзас), состоявшейся в прошлом году. Конференция была организована Д. Прэйджером, заместителем директора Управления научно-технической политики. В ее работе приняли участие представители правительственных органов, университетов, финансирующих организаций и частного сектора промышленности. В докладе «Наука — сельскому хозяйству» отмечалось, что уровень исследовательской работы, проводимой министерством сельского хозяйства, в последние десятилетия постоянно снижается. Согласно данным, приведенным в докладе, научные работники министерства до 30-х годов проводили большую работу в тех научных областях, которые имеют отношение к сельскому хозяйству. Благодаря исключительно высокому профессиональному уровню, которым отличались ученые министерства, они могли формально и неформально определять приоритетность направлений научных исследований для сельского хозяйства в масштабах всей страны.

За последние 50 лет, однако, работы, проводимые ARS, все больше сужа-

лись по своим масштабам, склонялись к решению задач местного характера и в научном смысле становились менее фундаментальными. Большинство проводимых сейчас работ направлено на решение специфических локальных проблем в земледелии и животноводстве, таких, как борьба с вредителями, распространенными в пределах небольшой географической зоны. При этих условиях министерство уже не в состоянии определять первоочередные задачи.

Имеются по меньшей мере два объективных обстоятельства, которые содействовали снижению уровня научных исследований, проводимых ARS. Одно из них — политика конгресса. В основном с 50-х годов конгрессмены, стремясь иметь в своих штатах научную материальную базу за счет государственных средств, настойчиво добивались создания на местах подведомственных ARS исследовательских станций. В результате сейчас в США имеется 148 таких экспериментальных станций — от крупных, какой является Сельскохозяйственная исследовательская станция в Белтсвилле (шт. Мэриленд) с 450 научными сотрудниками, до мелких, на которых работают по 2-3 человека. Понятно, что создание такой нерациональной и неэффективной структуры ARS способствовало снижению его научного уровня. Попытки ликвидировать мелкие научные подразделения натолкнулись на серьезные преграды.

Вторая причина заключается в резком снижении финансирования администрации штатов научных исследований для сельского хозяйства из средств, отпускаемых федеральным правительством. В соответствии с законом Хатча от 1887 г. правительство выделяет каждому штату фонды на научные исследования для сельского хозяйства. Сумма выделяемых средств зависит от численности сельского населения и фермеров в штате. Большая часть этих денег расходуется на содержание местных сельскохозяйственных экспериментальных станций. Администрация штатов обязана выделять на эти цели примерно такую же сумму денег, какую тратит министерство сельского хозяйства, а его ежегодные затраты в настоящее время составляют около 140 млн. долл. В последние годы, однако, расходы администрации штатов на содержание экспериментальных станций значительно превосходили ассигнования министерства и составляли 700 млн. долл. в год.

В результате двух указанных причин научные исследования для сельского хозяйства в стране свелись к изучению возможности использования хорошо

известных научно-технических достижений для решения местных проблем. Проведение фундаментальных научных исследований и разработка новых способов производства в основном осуществлялись силами университетов и частных промышленных организаций. Новая программа научных исследований, подготовленная ARS, рассчитана на период 1984—1990 гг. Она направлена на изменение сложившейся ситуации. Причем предполагается, что ежегодные расходы на научные цели будут составлять, как и теперь, 413 млн. долл. до 1990 г. (с учетом влияния инфляции). Предусматривается также, что никакие основные работы, уже проводимые ARS, не будут приостановлены, но структура ассигнований будет пересмотрена. Расходы на работы по повышению урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животноводства, на которые сейчас выделяется 60% бюджета ARS, будут сокращены, и в 1990 г. они составят 52%. За счет этого будут увеличены расходы на решение проблем рационального питания, сохранения земельных и водных ресурсов, изменения структуры производства сельскохозяйственной продукции и ее доставки.

Перераспределение фондов произойдет также и внутри основных направлений. Например, в области исследований по повышению урожайности сельскохозяйственных культур ассигнования на работы по борьбе с вредителями, нематодой и болезнями садовых растений будут снижены с 27 до 14 млн. долл. В той же области расходы на работы по сохранению генетического разнообразия зерновых культур увеличатся с 10 до 12 млн. долл. Структура затрат на другие работы, которые уже проводятся, на общую сумму 75 млн. долл. тоже будет изменена.

Участники конференции в г. Уинроке по-разному оценили новую программу ARS. Дж. Пино, директор отделения научных исследований для сельского хозяйства фонда Рокфеллера, назвал новую программу как «верный шаг, [который] позволит сосредоточить усилия на самых важных направлениях научных исследований для сельского хозяйства». По его мнению, ARS ответственно за работы, которые помогут «понять некоторые из фундаментальных процессов ... в сфере взаимного влияния растений и животных».

Дж. Боннен, профессор экономики сельского хозяйства в Мичиганском университете, напротив, сомневается, что проблемы, стоящие перед ARS, можно будет решить увеличением объема фундаментальных исследований. По его словам, «некоторые критики деятельности ARS считают, что оно должно вести исследования только фундаментального характера. Если это так, то как можно рассчитывать на вы-

полнение новой программы, включающей важные для всей страны прикладные исследования? Если правительственные организации не подключатся к этой программе, она не будет выполнена». **Первая обязанность ARS**, как отметил Боннен, должна сводиться к решению практических задач государственного масштаба.

Ученые против ядерной войны *

В МОСКВЕ 17—19 мая 1983 года проходила Всесоюзная конференция ученых за избавление человечества от угрозы ядерной войны, за разоружение и мир. В этой первой подобной научной конференции, созданной по инициативе Академии наук СССР и вызвавшей большой и вполне понятный интерес научной общественности в СССР и за рубежом, приняли участие более 500 видных советских и зарубежных ученых.

Для сохранения мира на земле нужно, чтобы самые широкие народные массы глубоко осознали характер и размеры существующей военной угрозы, ясно представляли, откуда она исходит. Кандидат в члены Политбюро, секретарь ЦК КПСС, академик Б.Н. Пономарев, открывая конференцию, сказал, что для достижения важнейшей цели человечества — мира и разоружения — необходимо мобилизовать и объединить усилия всех миролюбивых сил планеты, среди которых особо важная роль отводится деятелям науки. Так, Ф. Жолио-Кюри говорил еще в начале 50-х годов: «Ученые должны быть пионерами новой великой армии мира, так как они лучше, чем кто-либо другой, понимают, что такое современная война».

Оценивая значение и перспективы дальнейшего развития международного сотрудничества ученых в борьбе за мир, вице-президент АН СССР, академик Е.П. Велихов особо отметил растущее стремление к консолидации национальных движений научной общественности разных стран, которые, несмотря на отдельные различия, едины в главном — не существует никаких научно обоснованных аргументов приемлемости ядерного оружия, любая ядерная война была бы преступлением против человечества.

Незадолго до начала Всесоюзной конференции свыше 250 ведущих советских ученых, членов Академии наук СССР, выступили с «Обращением ко всем ученым мира», в котором подтвердили основные выводы и положе-

ния Римской декларации о предотвращении ядерной войны, а также выразили авторитетное мнение по поводу попыток создания так называемого «оборонительного оружия», в частности широкомасштабной системы противоракетной обороны, размещаемой не только на земле, но и в космосе. «Основываясь на знаниях, которыми мы как ученые располагаем, и исходя из понимания самой природы ядерного оружия, мы со всей ответственностью заявляем, что в ядерной войне эффективных оборонительных средств нет и создание их практически невозможно», — говорится в Обращении. На основе строго научного анализа всех аспектов этой проблемы авторы Обращения выразили твердое убеждение в том, что единственным путем, на котором государства и народы могут обрести подлинную безопасность, является ограничение гонки вооружений и последующее разоружение.

Выступая на Всесоюзной конференции, и советские и зарубежные ученые приводили все новые и новые веские доказательства непреложности и неоспоримости утверждения о том, что ядерная война явилась бы преступлением против человечества. А это важно именно сейчас, поскольку в последнее время появляются необоснованные и безответственные заявления или предположения о приемлемости ядерной войны.

В своем докладе академики А.А. Бавев и Н.П. Бочков указали, что последствия ядерного конфликта не ограничиваются лишь прямыми потерями. Отдаленные последствия ядерных взрывов вызовут глубокие изменения в биосфере и самом человеке. Концентрация токсических химических соединений в трех средах вызовет резкий рост заболеваемости, глобальные эпидемии, подобных которым по масштабам еще не было в истории человечества. «Память» о ядерных взрывах будет передаваться из поколения в поколение в виде повышенной частоты неблагоприятных исходов беременностей, рождения детей с врожденными пороками развития или наследственными болезнями. Отдаленные последствия ядерной войны создадут тяжелейшие условия для оставшихся в живых и поставят под сомнение существование человека как биологического вида.

В докладе академика А.М. Обухова и чл.-корр. АН СССР Г.С. Голицына приводятся данные о влиянии ядерных взрывов на состояние земной атмосферы. Ядерный взрыв в 1 мегатонну образует 5 тыс. тонн окиси азота, что в свою очередь вызовет разрушение от 5 до 10 миллионов тонн озона в озоновом слое атмосферы. Поскольку во всей атмосфере содержится около 4 миллиардов тонн озона, ядерного заряда в 10 000 мегатонн хватит в принципе для

многократного разрушения всего озонового слоя. Существует еще одно обстоятельство, задерживающее восстановление озонового слоя, на которое до сих пор обращали недостаточно внимания. При ядерных взрывах вблизи земли в стратосферу будет выброшено огромное количество аэрозолей — продуктов сгорания, в частности от обширных лесных пожаров, частицы почвы и т.п. В результате даже те 10% озона в нижних слоях атмосферы (10—15 км), которые всегда остаются, так сказать, про запас, также будут разрушаться. Об этом свидетельствуют наблюдения за крупными извержениями вулканов: в слоях, где располагается стратосферный аэрозоль вулканического происхождения, обнаруживается резкое уменьшение содержания озона. Поскольку атмосфера всего за несколько недель перемешивается в зональном направлении и за несколько месяцев — в меридиональном, фактически нивелируется разница между локальным и глобальным ядерными конфликтами. В любом случае ядерная война будет и войной с окружающей средой, которой уже после первого ядерного удара будет нанесен непоправимый ущерб.

Очевидно, сказал чл.-корр. АН СССР Л.П. Феокистов, что применяющий ядерное оружие будет стремиться к нанесению максимального ущерба противнику. Разрушение же в случае ядерной атаки хотя бы одной атомной электростанции (а их число в развитых странах все время возрастает) делает непригодной для обитания примыкающую к ней территорию площадью в десятки тысяч квадратных километров. Разрушение только объектов атомной промышленности в развитых странах привело бы к ситуации, когда человеку в буквальном смысле слова некуда будет ступить. То же рассуждение можно распространить и на другие объекты — крупные предприятия химической, медицинской, биологической промышленности, которые в своих технологических цепочках всегда могут содержать опасные для человека яды или бактерии, которые неизбежно вызовут отравление окружающей среды. Вторичные, отдаленные эффекты ядерного взрыва — не говоря уж о прямых факторах уничтожения и поражения — уже сами по себе достаточны для разрушения естественной экосистемы, от которой зависит существование человека. Ученый приводит пример ситуации, кажущейся на первый взгляд относительно безобидной: бомба мощностью «всего лишь» в мегатонну взрывается над лесным массивом. Световое излучение вызовет немедленный пожар на площади 1000 кв. километров. При этом тепловыделение от горения леса превзойдет собственную энергию самого взрыва в десятки раз!

Можно ли вообще говорить о какой-

* Материал подготовлен редакцией журнала «В мире науки».

то «ограниченной» войне в той же Европе, если взрывы всего лишь 400 боезарядов мощностью от 5 до 50 кило тонн каждый создали бы в «ограниченной» зоне боевых действий разрушения в 6 раз большие, чем за всю вторую мировую войну? На 1/3 этой площади было бы уничтожено все живое, а на остальной территории все было бы полностью разрушено и заражено. Абсурдно ожидать, что тот, кто возьмет на себя груз ответственности за применение самого варварского оружия, вдруг начнет заботиться о том, чтобы свести эффект разрушения к минимуму.

«Проблемой номер один современной медицины», «последней эпидемией человечества» назвал ядерную войну профессор Медицинской школы Гарвардского университета Бернард Лаун. Доза облучения в 100 рад при одновременных ожогах увеличивает вероятность смертельного исхода в восемь раз. Борьба с ожогами представляет чрезвычайную сложность. Докладчик привел реальный пример: недавно в Медицинский центр Гарвардского университета был доставлен 22-летний мужчина с ожогом, поразившим около 85% поверхности его тела. За 33 дня лечения этого пациента потребовалось: 281 единица свежзамороженной плазмы, 147 единиц консервированных красных кровяных телец, 36 единиц альбумина и т.д. При этом двум группам хирургов и анестезиологов потребовалось провести 6(!) операций, некоторые из них продолжались по 12 часов! Взрыв лишь одной мегатонной бомбы над миллионным городом вызовет столько жертв от ожогов, что для их лечения потребуется в 100 раз больше больничных коек, чем их имеется сейчас у СССР и США вместе взятых. В первые недели после ядерного взрыва «спасшиеся» погибнут от лучевой болезни, от инфекций, поражающих человека в результате значительного снижения сопротивляемости организма. «Трудно придумать более подходящий сценарий для вспышки эпидемий», — сказал Б. Лаун. Радиационные повреждения лимфатических узлов и костного мозга резко ухудшают действие защитных механизмов человека, а антисанитария, отсутствие необходимых продуктов питания, увеличение популяции насекомых (за счет их большей сопротивляемости к радиации и за счет уничтожения птиц) приведут к эпидемиям непредсказуемых масштабов, бороться с которыми будет просто некому.

Эти расчеты полностью подтверждаются данными, приведенными в докладе президента Академии медицинских наук СССР, академика Н. Н. Блохина: для оказания первой медицинской помощи пострадавшим от взрыва мощностью в мегатонну над миллион-

ным городом потребуется организовать вблизи (!) очага поражения около 300 медицинских пунктов, в которых будут заняты 3 тысячи врачей и свыше 10 тысяч медсестер и другого обслуживающего персонала. Простая экстраполяция на вариант тотальной ядерной катастрофы дает следующие цифры: 3 млн. медпунктов, 30 млн. врачей и 100 млн. обслуживающего персонала. Абсурдность надежды на организацию медицинской помощи таких масштабов можно понять, если учесть, что, по данным Всемирной организации здравоохранения, сейчас во всем мире имеется 3—3,5 млн. врачей и около 7—7,5 млн. среднего медицинского персонала. Выжившие, «уцелевшие» после ядерного нападения будут впоследствии погибать от злокачественных опухолей и генетических дефектов, число которых будет огромно.

Последствия реального ядерного конфликта по сравнению с теоретическими моделями, построенными на простом сложении единичных ядерных взрывов, несомненно, окажутся еще более катастрофическими. Более того, ряд эффектов сейчас просто невозможно даже прогнозировать. К их числу относится психологическое воздействие ядерной катастрофы. В результате бедствий, которые в основном обрушатся на мирное население, оно может потерять ориентацию в состоянии сильнейшего стресса. Но и сама жизнь в атмосфере продолжающейся и усиливающейся гонки вооружений, сознание возможности приближения ядерной катастрофы, заявила в своем докладе академик Н. П. Бехтерева, является сильнейшим эмоциогенным фактором, приводящим к серьезным нарушениям психологического характера. Это особенно сильно влияет на мозг, серьезно нарушая его адаптационные возможности, оптимальное функционирование. Сдвиги в психике человека неизбежны, если он не встал на активную позицию борьбы, если он укрылся в раковину эмоциональной тупости или продолжает жить со страхом в душе. Перестройки, которые развиваются в мозгу человека в этих случаях, нарушают не только нормальное течение психологических процессов, но и контроль за деятельностью внутренних органов, что вызывает устойчивые патологии.

План США по милитаризации космического пространства и разработка программы вывода на орбиту систем лазерного и другого лучевого оружия, сказал академик Р. З. Сагдеев, приведут к серьезной дестабилизации существующего равновесия стратегических потенциалов. Совершенно очевидно, что в таких планах делается расчет на психологию рядового обывателя, который устал от висящей над ним ядерной опасности и которому может показаться спасительной перспектива пере-

носа ядерного конфликта в космос. Но победителей в космической войне не будет: любое военное столкновение в космосе распространится и на поверхность земли.

Чрезвычайно важно сохранить созданную международную систему политических, организационно-правовых и технических мер, известную как «режим нераспространения» ядерного оружия. Об этом говорил на конференции академик В. А. Легасов. Особая роль здесь отводится различным международным учреждениям под эгидой ООН, в частности МАГАТЭ. Постоянно развивается и совершенствуется в техническом отношении процедура контроля и система гарантий, принятая в МАГАТЭ. Риск распространения ядерного оружия связан прежде всего с так называемыми «околоядерными» странами, которые не приняли на себя политических обязательств отказаться от ядерного оружия и где гарантии МАГАТЭ применяются не ко всей ядерной деятельности. Отсюда логично следует, что дальнейшее укрепление «режима нераспространения» должно идти прежде всего по линии политических мер — договоров, соглашений, обязательств.

Говоря о возможностях ученых повлиять на определенные политические решения в современной международной обстановке, академик Е. П. Велихов отметил, что здесь есть несколько путей. Политические лидеры нередко просят представителей науки дать квалифицированный ответ на тот или иной трудный вопрос. Задача состоит в том, чтобы эта экспертиза была объективной и честной. Другой путь — деловые встречи, о чем недавно говорил Генеральный секретарь ЦК КПСС, Председатель Президиума Верховного Совета СССР Ю. В. Андропов, предложив советским и американским ученым встретиться и разобраться в последствиях планируемого в США создания систем ПРО в космосе.

Советские ученые заявили о поддержке этого предложения и выражают готовность обсудить со своими американскими коллегами жизненно важные вопросы современности. Созданный на Московской конференции Комитет советских ученых в защиту мира, против ядерной войны, который возглавил академик Е. П. Велихов, мог бы стать партнером американских ученых в такого рода переговорах.

На состоявшейся после конференции встрече с журналистами Президент Академии наук академик А. П. Александров подытожил смысл дискуссии о роли ученых в борьбе против ядерного оружия: «Ответ на это, — сказал ученый, — дали еще А. Эйнштейн и Б. Рассел: надо учиться думать по-новому, надо перестать искать военное решение проблем человечества. И

человечество созрело для этого. Я думаю, что такая конференция, как наша, и все другие конференции, ведущие борьбу против войны, принесут положительный результат, причем не за счет устрашения, а за счет реального уменьшения количества ядерного вооружения».

В итоговом документе, принятом на Конференции, содержится призыв советских ученых к ученым всего мира объединить усилия, чтобы оградить общечеловеческое достояние — всеобщий мир — от угрозы ядерного уничтожения и обеспечить прочный мир для всех народов земли.

Издательство МИР предлагает:

И. Экланд, Р. Темам ВЫПУКЛЫЙ АНАЛИЗ И ВАРИАЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Перевод с английского

Книга молодых и активно работающих французских математиков — первая монография по данной тематике. Авторами рассмотрены два круга вопросов. С одной стороны, они применяют методы двойственности к многомерным вариационным задачам, обсуждают численные методы, доказывают теоремы существования решений многомерных задач, с другой — обсуждают проблемы квазирегуляризации, связанные с выпуклыми расширениями многомерных вариационных задач.

Книга представит несомненный интерес для математиков широкого профиля, интересующихся вопросами оптимизации, вариационного исчисления и оптимального управления.

Содержание: I. Основы выпуклого анализа. II. Двойственность и выпуклые вариационные задачи. III. Невыпуклые вариационные задачи и релаксация.

1979, 20 л.
Цена 1 р. 80 к.



УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ В АТМОСФЕРЕ И КЛИМАТ ПЛАНЕТЫ

ENERGY AND CLIMATE. Geophysics Study Committee, Geophysics Research Board, Assembly of Mathematical and Physical Sciences. National Research Council, National Academy of Sciences, 1977.

ON THE DISTRIBUTION OF CLIMATE CHANGE RESULTING FROM AN INCREASE IN CO₂ CONTENT OF THE ATMOSPHERE. Syukuro Manabe and Richard T. Wetherald in *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 37, No. 1, pages 99 — 118; January, 1980.

MAJOR CLIMATIC EVENTS ASSOCIATED WITH A PROLONGED CO₂-INDUCED WARMING. Hermann Flohn. Institute for Energy Analysis, Oak Ridge Associated Universities, October, 1981.

Кондратьев К. Я. КОСМИЧЕСКИЕ ГОРИЗОНТЫ КЛИМАТОЛОГИИ. — Природа, 1983, № 4, с. 23 — 33.

КОЛЕБАНИЯ АТОМНЫХ ЯДЕР

NUCLEAR SPECTROSCOPY. Aage Bohr and Ben R. Mottelson in *Nuclear Structure*, W. A. Benjamin, Inc., 1975.

NUCLEAR VIBRATIONS. G. F. Bertsch in *Nature*, Vol. 280, No. 5724, pages 639 — 644; August 23, 1979.

GIANT RESONANCES IN NUCLEI. J. Speth and A. van der Woude in *Reports on Progress in Physics*, Vol. 44, Part 3, pages 719 — 786; 1981.

DAMPING OF NUCLEAR EXCITATIONS. G. F. Bertsch, P. F. Bortignon and R. A. Broglia in *Reviews of Modern Physics*, Vol. 55, No. 1, pages 287 — 314; January, 1983.

МИКРОТЕЛЬЦА ЖИВОЙ КЛЕТКИ

PEROXISOMES (MICROBODIES AND RELATED PARTICLES). Christian de Duve and Pierre Baudhuin in *Physiological Reviews*, Vol. 46, No. 2, pages 323 — 357; April, 1966.

LOCALISATION OF NINE GLYCOLYTIC ENZYMES IN A MICROBODY-LIKE ORGANELLE IN TRYPANOSOMA BRUCEI: THE GLYCOSOME. Fred R. Opperdoes and Piet Borst in *FEBS Letters*, Vol. 80, No. 2, pages 360 — 364; August, 1977.

THE HYDROGENOSOME. Miklós Müller in *Symposia of the Society for General Microbiology*, Vol. 30, pages 127 — 142; 1980.

METABOLIC PATHWAYS IN PEROXISOMES AND GLYOXYSOMES. N. Edward Tolbert in *Annual Review of Biochemistry*, Vol. 50, pages 133 — 157; 1981.

PEROXISOMES AND GLYOXYSOMES. Edited by Helmut Kindl and Paul B. Lazarow in *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 386, pages 1 — 550; 1982.

ПРОИЗВОДСТВО СВИНИНЫ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

SWINE SCIENCE. M. E. Ensminger. Interstate Printers and Publishers, Danville, Ill., 1970.

SWINE PRODUCTION IN TEMPERATE AND TROPICAL ENVIRONMENTS. Wilson G. Pond and Jerome H. Maner. W. H. Freeman and Co., 1974.

SWINE PRODUCTION. Jake L. Krider and William E. Carroll. McGraw-Hill Book Company, 1975.

SILENT PARTNERS: FARMERS, THEIR ANIMALS AND CONSUMERS. W. G. Pond, Lacuna Books, Interlaken, N. Y., 1978.

НОВЫЕ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

STRONG SOLIDS. Anthony Kelly. Oxford University Press, 1973.

INORGANIC POLYMERS. N. H. Ray. Academic Press, 1978.

MAKING THE MOST OF MATERIALS: MATERIALS AND ENERGY CONSERVATION IN THE MATERIALS PROCESSING INDUSTRIES. Science Research Council, 1979.

FLEXURAL STRENGTH AND POROSITY OF CEMENTS. J. D. Birchall, A. J. Howard and K. Kendall in *Nature*, Vol. 289, No. 5792, pages 388 — 389; January 29, 1981.

FLEXIBLE INORGANIC FILMS AND COATINGS. D. G. H. Ballard and G. R. Rideal in *Journal of Materials Science*, Vol. 18, No. 2, pages 545 — 561; February, 1983.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ С ИНТЕНСИВНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

MULTIVARIATE ANALYSIS. K. V. Mardia, J. T. Kent and J. M. Bibby. Academic Press, 1979.

COMPUTERS AND THE THEORY OF STATISTICS: THINKING THE UNTHINKABLE. Bradley Efron in *SIAM Review*, Vol. 21, No. 4, pages 460 — 480; October, 1979.

Издательство МИР предлагает:

ФИЗИКА ЗА РУБЕЖОМ 1983

Перевод с английского

Сборник является продолжением серии ежегодников, выпускаемых издательством «Мир» для широкого круга читателей — физиков — от студентов и аспирантов до преподавателей и исследователей. Первый выпуск серии вышел в свет в 1982 г. Включенные в сборники статьи представляют собой обзоры по актуальным проблемам современной физики, написанные ведущими специалистами для коллег в смежных областях. В оригинальном виде они опубликованы в журнале «Физикс тудей», издаваемом в США. Содержащиеся в сборнике статьи-обзоры знакомят физиков с достижениями в смежных областях и способствуют преодолению отрицательных последствий чрезмерной специализации современной науки. Прочитав такой обзор, физик может представить себе, какие результаты, методы и идеи его коллег применимы в избранной им области.

Основу данного сборника составляет тематическая подборка статей по жидким кристаллам: Литстер и Биржано «Фазы и фазовые переходы», Першан «Лиотронные жидкие кристаллы», Самульский «Полимерные жидкие кристаллы», Бринкман и Кладис «Дефекты в жидких кристаллах», Пиндак и Монктон «Двумерные кристаллы». Помимо указанных в сборнике содержатся статьи: Волф «Термодинамика экситонов в полупроводниках», Филлипс «Физика стекла», Шлютер и Лю Жушам «Распределение плотности электронов и физика твердого тела», Ньюкирк и Фрззер «Солнечный цикл». В него же включены и более короткие сообщения: «Солитоны с дробным зарядом», «Сколько живет t -лептон?», «Компромисс между ферромагнетизмом и сверхпроводимостью» и другие.

1983 г., 12 л. Цена 70 к.



BOOTSTRAPPING A REGRESSION EQUATION: SOME EMPIRICAL RESULTS. D. Freedman and S. Peters. Technical Report No. 10, Department of Statistics, University of California, Berkeley, 1982.

THE JACKKNIFE, THE BOOTSTRAP AND OTHER RESAMPLING PLANS. Bradley Efron. SIAM Monograph No. 38, *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 1982.

THE VARIABILITY OF ACID RAINFALL. B. Eynon and P. Switzer. Technical Report No. 58, Department of Statistics, Stanford University, 1982.

СОЦИАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ СРЕДНЕВЕКОВЫХ УКРЕПЛЕНИЙ МОТТ И БЕЙЛИ

MANUEL D'ARCHEOLOGIE MEDIEVALE. M. de Bouard. Sedes, 1975.

ENGLISH CASTLES. R. Allen Brown. Batsford, Ltd., 1976.

LE CHATEAU DANS LA FRANCE MEDIEVALE: ESSAI DE SOCIOLOGIE MONUMENTALE. Gabriel Fournier. Aubier Montaigne, 1978.

ВНЕЗАПНАЯ СЕРДЕЧНАЯ СМЕРТЬ: ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРОБЛЕМЫ

PHASE RESETTING AND ANNIHILATION OF PACEMAKER ACTIVITY IN CARDIAC TISSUE. Jose Jalife and Chazles Antzelevitch in *Science*, Vol. 206, No. 4419, pages 695 — 697; November 9, 1979.

SUDDEN CARDIAC DEATH — 1978. Bernard Lown in *Circulation*, Vol. 60, No. 7, pages 1593 — 1599; December, 1979.

THE GEOMETRY OF BIOLOGICAL TIME. Arthur T. Winfree. Springer-Verlag, 1980.

COMPUTER SIMULATION OF ARRHYTHMIAS IN A NETWORK OF COUPLED EXCITABLE ELEMENTS. Frans J. L. van Capelle and Dirk Durrer in *Circulation Research*, Vol. 47, No. 3, pages 454 — 466; September, 1980.

FIBRILLATION AS A CONSEQUENCE OF PACEMAKER PHASE-RESETTING. A. T. Winfree in *Cardiac Rate and Rhythm*, edited by L. N. Bouman and H. J. Jongasma. Martinus Nijhoff, 1982.

Иваницкий Г. Р., Кринский В. И., Сельков Е. Е. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БИОФИЗИКА КЛЕТКИ. — М.: Наука, 1978. Гл. 6 — 8.

НАУКА ВОКРУГ НАС

THE MARANGONI EFFECTS. L. E. Scriven and C. V. Sternling in *Nature*, Vol. 187, No. 4733, pages 186 — 188; July 16, 1960.

INTERFACIAL PHENOMENA. J. T. Davies and E. K. Rideal. Academic Press, 1963.

NATURAL CONVECTION IN POOLS OF EVAPORATING LIQUIDS. J. C. Berg, M. Boudart and Andreas Acrivos in *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 14, pages 721 — 735; 1966.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 17.06.83.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90%.

Гарнитуры таймс, гелиос

Офсетная печать.

Объем 7,00 бум. л.

Усл.-печ. л. 14,00,

Печ. л. 7,00, Уч.-изд. л. 17,96

Усл. кр.-отт. 41,36

Изд. № 36/2667. Заказ 327-83

Тираж 20000 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик»

Типография В/О Внешторгиздат
Главиздатэкспорта Госкомиздата СССР
127349, Москва, И-349,
Илимская, 7

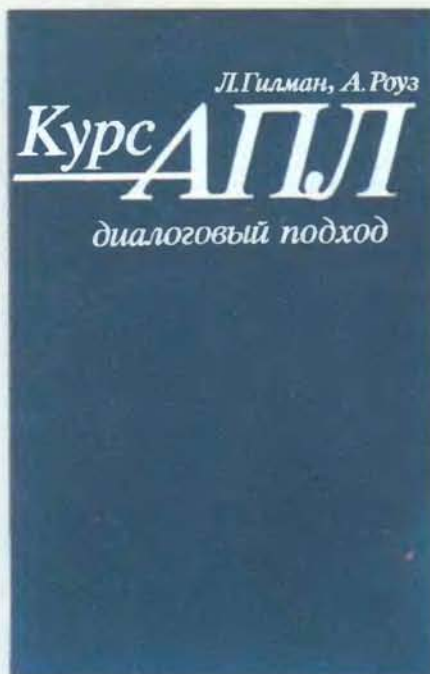


Издательство МИР предлагает:

Л. Гилман, А. Роуз

**КУРС АПЛ:
Диалоговый подход**

Перевод с английского



Книга посвящена описанию АПЛ — универсального языка программирования высокого уровня. В ней излагаются основные понятия языка, дается их обобщение, рассматриваются «особые» случаи. Она знакомит с реализацией АПЛ на машинах IBM серий 360 и 370, организацией файловых систем и особенностями различных версий языка. Все понятия иллюстрируются

примерами программ, часто встречающихся на практике. В конце каждой главы приводятся задачи. Книгу удобно использовать для изучения языка в диалоговом режиме — каждая глава соответствует одному сеансу работы с ЭВМ.

Для разработчиков математического обеспечения ЭВМ и программистов различной квалификации.

1979, 26, 26 л.

Цена 2 р. 10 к.



В следующем номере:



**ЗАСТЕЖКА «МОЛНИЯ»: ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ,
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

**ПЕРСОНАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ: УСТРОЙСТВО,
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**

**НЕВИДИМОЕ ВЕЩЕСТВО
В СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИКАХ**

**ПЕРЕНОС НОВЫХ ГЕНОВ
В КЛЕТКИ РАСТЕНИЙ**

ГИГАНТСКИЕ ВУЛКАНИЧЕСКИЕ КАЛЬДЕРЫ

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ
КИТОВ И ДЕЛЬФИНОВ**

**ГЕОРГ КАНТОР — ОСНОВОПОЛОЖНИК
ТЕОРИИ ТРАНСФИНИТНЫХ МНОЖЕСТВ**

**ПЕКИНСКИЙ ЧЕЛОВЕК: ФИЗИЧЕСКИЙ ОБЛИК,
УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ И ОБРАЗ ЖИЗНИ**

**АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ
В ДЕФОРМИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛАХ**